



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL**

TEMA:

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO
COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO
DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).

AUTOR:

JÉSSICA TATIANA FIALLOS CONDO

TUTOR:

ING. MG. GALO NÚÑEZ

Ambato – Ecuador

2016

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Mg. Galo Núñez certifico que el presente Informe Final Experimental **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)”** realizado por la señorita Jéssica Tatiana Fiallos Condo egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédito.

Ing. Mg. Galo Núñez

TUTOR

AUTORÍA

Yo, Jéssica Tatiana Fiallos Condo, con CI. 180408407-5 Egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema:

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)” es de mi completa autoría.

Jéssica Tatiana Fiallos Condo

AUTOR

APROBACIÓN DE PROFESORES CALIFICADORES

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)”** de la egresada Jéssica Tatiana Fiallos Condo, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman

Ing. M.Sc. Lorena Pérez

Ing. Mg. Víctor Hugo Paredes

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación bajo la modalidad Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo de Titulación dentro de las regulaciones de la Universidad siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 24 de Octubre 2016

AUTOR

Jéssica Tatiana Fiallos Condo

DEDICATORIA

Al Señor de los Milagros, por guiar mi camino y brindarme la sabiduría para alcanzar con amor, dedicación y esfuerzo mi meta.

A mis padres Mario y María que a través de su apoyo y amor supieron guiarme por el camino adecuado, he hicieron de mí una mujer perseverante.

A Juan, que siempre estuvo conmigo en cada recorrido de mi carrera.

A mi hermano Mario y mi cuñada Andrea por brindarme su apoyo incondicional y regalarme tantos momentos de alegría.

A mis sobrinos Sarita, David y Mario Josué por ser una inspiración diaria para el cumplimiento de mi meta.

AGRADECIMIENTO

A Dios por regalarme la oportunidad de estudiar y tener una familia espectacular.

A mi Madre por ser el motor que me impulsa cada día, ser la guía y mi ejemplo a seguir.

A mi padre porque a pesar de la distancia ha sido mi apoyo y mi fortaleza para mi
carrera.

A mi Sarita que es mi alegría y mi vida entera.

A esa persona especial que llego a mi vida para llenarme de felicidad.

A la Universidad Técnica de Ambato y a mi querida carrera de Ingeniería Civil por
brindarme los conocimientos para ser una gran profesional.

Al Ing. Mg. Galo Núñez por su apoyo en el desarrollo del tema experimental planteado.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA.....	III
APROBACIÓN DE PROFESORES CALIFICADORES	IV
DERECHOS DE AUTOR.....	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN EJECUTIVO	XVI

b. TEXTO

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 TEMA	2
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1.1 LA MASA DEL SUELO Y SUS PROPIEDADES	5
2.1.2 PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO.....	6
2.1.2.1 Relación de Vacíos	6
2.1.2.2 Porosidad.....	6
2.1.2.3 Grado de Saturación del Agua.....	7

2.1.2.4 Grado de Saturación de Aire	7
2.1.2.5 Contenido de Humedad.....	7
2.1.2.6 Gravedad Específica	8
2.1.2.7 Peso volumétrico	8
2.1.2.8 Peso volumétrico seco	8
2.1.3 PLASTICIDAD DE LOS SUELOS FINOS	9
2.1.3.1 Plasticidad	9
2.1.3.2 Estados de Consistencia	9
2.1.3.3 Límite Líquido.....	10
2.1.3.4 Límite Plástico.....	10
2.1.3.5 Índice Plástico	10
2.1.3.6 Límite de Contracción	11
2.1.3.7 Importancia de los Límites de Plasticidad	11
2.1.4. PROPIEDADES TÉCNICAS DEL SUELOS.....	11
2.1.4.1 Compactación de los Suelos.....	11
2.1.4.2 Relación de soporte de california (CBR).....	12
2.1.5 INVESTIGACIÓN DEL SUELO EN EL CAMPO	12
2.1.5.1 Muestreo.....	12
2.1.5.2 Muestras Alteradas	12
2.1.5.3 Muestras Inalteradas	13
2.1.5.4 Muestras Integrales	13
2.1.5.5 Muestreo versus Ensayos	13
2.1.6 TIPOS DE SONDEO	13
2.1.6.2 Método de penetración cónica.....	14
2.1.7 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	14
2.1.7.1 Estabilización Química	16
2.1.7.2 Estabilización con cal	16
2.1.7.3 Estabilización con yeso.....	16
2.1.7.4 Estabilización con cloruro de calcio	16

2.1.8 MATERIALES UTILIZADOS EN LA ESTABILIZACIÓN.....	17
2.1.8.2 Cal.....	17
2.1.8.3 Cloruro de Calcio.....	17
2.2 Hipótesis	18
2.3 Señalamiento de variables de la Hipótesis.....	18
2.3.1. Variable Independiente:	18
2.3.2 Variable Dependiente:.....	18

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	19
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	19
3.3 OPERACIÓN DE VARIABLES	20
3.3.1 Variable independiente.....	20
3.1.2 Variable Dependiente.....	21
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	21
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	22
3.5.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	22
3.5.2. PLAN DE ANÁLISIS	22

CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Recolección de datos	23
4.1.1 Ensayos de Campo	23
4.1.2 Ensayos de Laboratorio	29
4.1.3 Representación de propiedades índice	62
4.1.3.1 Estabilización Arcilla- Cal.....	62
4.1.3.2 Estabilización Arcilla- Yeso.....	66
4.1.3.3 Estabilización Arcilla – Cloruro de Calcio	70
4.1.3.4 Carga Máxima y Admisible	74

4.2. Análisis de Resultados	80
4.3. Verificación de Hipótesis	83

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES	86
5.2. RECOMENDACIONES	89

C.- MATERIALES DE REFERENCIA

1 BIBLIOGRAFÍA	90
2. ANEXOS	92
2.1. LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA	92
2.2 CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE	94
2.2. ANEXO FOTOGRÁFICO	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Cono y Arena de Ottawa	24
Tabla N° 2 Penetración de Cono Estático	26
Tabla N° 3 Penetración de Cono Dinámico.....	27
Tabla N° 4 CBR-Muestras Inalteradas.....	28
Tabla N° 5 Próctor Modificado “D”	30
Tabla N° 6 Compactación (CBR)	31
Tabla N° 7 C.B.R.	32
Tabla N° 8 Resistencia a Corte Muestra 1.....	33
Tabla N° 9 Resistencia a Corte Muestra 2.....	34
Tabla N° 10 Límite Líquido	36
Tabla N° 11 Límite Plástico	37
Tabla N° 12 Gravedad Específica de la Arcilla	39
Tabla N° 13 Gravedad Específica de la Cal	40
Tabla N° 14 Gravedad Específica del Yeso	41
Tabla N° 15 Gravedad Específica del Cloruro de Calcio.....	42
Tabla N° 16 Contenido de Humedad	43
Tabla N° 17 Contenido de Humedad de Conjunto de Arcilla-Cal.....	44
Tabla N° 18 Contenido de Humedad del Conjunto de Arcilla-Yeso	45
Tabla N° 19 Contenido de Humedad del Conjunto Arcilla-Cloruro de Calcio	45
Tabla N° 20 Arcilla-Cal 5% (7días).....	47
Tabla N° 21 Arcilla-Cal 10% (7días).....	48
Tabla N° 22 Arcilla-Cal 15% (7días).....	48
Tabla N° 23 Arcilla-Cal 5% (14días).....	49
Tabla N° 24 Arcilla-Cal 10% (14días).....	49
Tabla N° 25 Arcilla-Cal 15% (14días).....	50
Tabla N° 26 Arcilla-Cal 5% (21días).....	50
Tabla N° 27 Arcilla-Cal 10% (21días).....	51
Tabla N° 28 Arcilla-Cal 15% (21días).....	51
Tabla N° 29 Arcilla-Yeso 5% (7días)	52
Tabla N° 30 Arcilla-Yeso 10% (7días)	52
Tabla N° 31 Arcilla-Yeso 15%(7días)	53
Tabla N° 32 Arcilla-Yeso 5%(14 días)	53
Tabla N° 33 Arcilla-Yeso 10%(14 días)	54
Tabla N° 34 Arcilla-Yeso 15%(14 días)	54
Tabla N° 35 Arcilla-Yeso 5%(21 días)	55
Tabla N° 36 Arcilla-Yeso 10%(21 días)	55
Tabla N° 37 Arcilla-Yeso 15%(21 días)	56

Tabla N° 38 Arcilla-Cloruro de Calcio 5%(7 días).....	57
Tabla N° 39 Arcilla-Cloruro de Calcio 10%(7 días).....	57
Tabla N° 40 Arcilla-Cloruro de Calcio 15%(7 días).....	58
Tabla N° 41 Arcilla-Cloruro de Calcio 5%(14días).....	58
Tabla N° 42 Arcilla-Cloruro de Calcio 10%(14días).....	59
Tabla N° 43 Arcilla-Cloruro de Calcio 15%(14días).....	59
Tabla N° 44 Arcilla-Cloruro de Calcio 5%(21 días).....	60
Tabla N° 45 Arcilla-Cloruro de Calcio 10%(21 días).....	60
Tabla N° 46 Arcilla-Cloruro de Calcio 15%(21 días).....	61
Tabla N° 47 Primera variable para la correlación (arcilla – cal).....	80
Tabla N° 48 Segunda variable para la correlación (arcilla – yeso).	80
Tabla N° 49 Tercera variable para la correlación (arcilla – cloruro de calcio).	81
Tabla N° 50 Coeficiente de correlación de la primera y segunda variable.	81
Tabla N° 51 Coeficiente de correlación de la primera y tercera variable.	82
Tabla N° 52 Interpretación de coeficiente de correlación (variable 1 y 2).	82
Tabla N° 53 Interpretación de coeficiente de correlación (variable 1 y 3).	83

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1 Fases del Suelo y Nomenclatura	5
Gráfico N° 2 Estados de Consistencia	9
Gráfico N° 3 Curva de Escurrimiento	10
Gráfico N° 4 Curva de Compactación.....	11
Gráfico N° 5 Ensayo de Cono y Arena de Ottawa.....	24
Gráfico N° 6 Penetración de Cono Estático	25
Gráfico N° 7 Penetración de Cono Dinámico.....	27
Gráfico N° 8 Ensayo de Próctor Modificado.....	29
Gráfico N° 9 Materiales del ensayo de Límites de Atterberg.....	35
Gráfico N° 10 Ensayo de Límite Líquido.....	35
Gráfico N° 11 Rollo de Muestra	37
Gráfico N° 12 Picnómetro más cal	38
Gráfico N° 13 Llenado hasta la marca de aforo.....	38
Gráfico N° 14 Muestra para contenido de humedad	43
Gráfico N° 15 Mezcla de los materiales.....	46
Gráfico N° 16 Compactación de la mezcla.....	46
Gráfico N° 17 Compactación de la mezcla	47
Gráfico N° 18 Bloques en curado	47
Gráfico N° 19 Contenido de Humedad vs % Cal.....	62
Gráfico N° 20 Densidad de la Masa vs % Cal.....	63
Gráfico N° 21 Densidad Seca vs % Cal	63
Gráfico N° 22 Relación de Vacíos vs % Cal	64
Gráfico N° 23 Porosidad vs % Cal.....	64
Gráfico N° 24 Grado de Saturación de Agua vs % Cal.....	65
Gráfico N° 25 Grado de Saturación de Aire vs % Cal	65
Gráfico N° 26 Contenido de Humedad vs % Yeso	66
Gráfico N° 27 Densidad de la Masa vs % Yeso	67
Gráfico N° 28 Densidad Seca vs % Yeso.....	67
Gráfico N° 29 Relación de Vacíos vs % Yeso.....	68
Gráfico N° 30 Porosidad vs % Yeso	68
Gráfico N° 31 Grado de Saturación de Agua vs % Yeso	69
Gráfico N° 32 Grado de Saturación de Aire vs % Yeso.....	69
Gráfico N° 33 Contenido de Humedad vs % Cloruro de Calcio.....	70
Gráfico N° 34 Densidad de la Masa vs % CaCl_2	71
Gráfico N° 35 Densidad Seca vs % CaCl_2	71
Gráfico N° 36 Relación de Vacíos vs % CaCl_2	72
Gráfico N° 37 Porosidad vs % CaCl_2	72

Gráfico N° 38 Grado de Saturación de Agua vs % CaCl_2	73
Gráfico N° 39 Grado de Saturación de Aire vs % CaCl_2	73
Gráfico N° 40 Carga Máxima vs % Cal	74
Gráfico N° 41 Carga Máxima vs % Yeso	75
Gráfico N° 42 Carga Máxima vs % Cloruro de Calcio	76
Gráfico N° 43 Carga Admisible vs % Cal	77
Gráfico N° 44 Carga Admisible vs % Yeso	78
Gráfico N° 45 Carga Admisible vs % Cloruro de Calcio	79

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)”.

AUTOR: Jéssica Tatiana Fiallos Condo

TUTOR: Ing. Mg. Galo Núñez

FECHA: Octubre 2016

El presente trabajo experimental tiene como finalidad manifestar los resultados obtenidos de un estudio de estabilización de un suelo cohesivo (arcilla), por tres métodos químicos: cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso).

Se obtuvo la muestra de arcilla de la ciudad del Puyo, para determinar las propiedades índice y técnicas del suelo, se realizó el sondeo por medio de una calicata, de la cual se extrajo tres muestras inalteradas de arcilla; así como el ensayo de cono y arena de Ottawa bajo la norma AASHTO T-205, ASTM D- 2167 y los ensayos de penetración de cono estático y dinámico con la norma AASHTO-T49-93.

Fueron ejecutados los ensayos de laboratorio posterior a la pulverización de la muestra, se desarrolló los ensayos de Límites de Atterberg para la identificación del suelo, bajo el sistema unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Se analizó el valor de CBR que se obtuvo después de realizar el ensayo de próctor modificado donde se determinó el contenido óptimo y la densidad máxima con la norma AASHTO T180.

Se procede a ejecutar bloques con las mezclas del suelo más el componente químico a diferentes porcentajes 5% ,10% y 15%, es decir arcilla-cal, arcilla cloruro de calcio y arcilla-sulfato de calcio (yeso). Los bloques (muestras) se dejan en curado 7, 14 y 21 días respectivamente, para luego proceder con el ensayo a compresión, donde se determina la resistencia máxima de cada estabilización. Alcanzado así los resultados del trabajo experimental los cuales se detallan en tablas y gráficas.

EXECUTIVE SUMMARY

THEME: “COMPARATIVE ANALYSIS OF THE COHESIVE SOIL STABILIZATION (CLAYISH) BY THREE CHEMICAL METHODS LIME, CALCIUM CHLORIDE AND CALCIUM SULFATE (PLASTER)”.

AUTHOR: Jéssica Tatiana Fiallos Condo

TUTOR: Ing. Mg. Galo Núñez

DATE: October 2016

This experimental project takes as a purpose to show the obtained results of a study of stabilization of a cohesive soil (clay), by three chemical methods lime, calcium chloride and calcium sulfate (plaster).

There was obtained the sample of clay of the Puyo city, to determine the index properties and skills of the soil, the probe was realized by means of a hole, from which three unaltered clay samples were extracted; as well as the cone essay and Ottawa's sand under the norm AASHTO T-205, ASTM D - 2167 and the penetration essays of static and dynamic cone by norm AASHTO-T49-93.

There were executed the laboratory essays later to the pulverization of the sample, one developed the Limits of Atterberg's essays for the identification of the soil, under the unified system of Classification of Soils (SUCS). There was analyzed the CBR's outcome that was obtained after realizing the proctor test modified where there decided the ideal content and the maximum density by norm AASHTO T180.

One proceeds to execute blocks with the miscellanies of the soil and the chemical component to different percentages 5 %, 10 % and 15 %, that is to say clay - lime, clay calcium chloride and clay – calcium sulfate (plaster). The blocks (samples) are left in treated 7, 14 and 21 days respectively, then to proceed with the compression essay to, where the maximum resistance of each stabilization decides. Reached as like that the results of the experimental project which are detailed in excel table and graphs.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)

1.2 ANTECEDENTES

La infraestructura vial forma un rol importante en la sociedad debido al uso que presenta como soporte de comunicación de un lugar a otro, tanto para la movilización de personas y bienes, por ende genera el desarrollo de una ciudad, región y de un país en lo económico, político y cultural. Por consiguiente, el estado de las vías es un aspecto importante con relación al crecimiento de la productividad y de calidad de vida de los habitantes del sitio.

Ecuador en la actualidad vive un gran avance en la parte vial, por lo que ha evolucionado para el progreso dinámico del país; el conjunto de carreteras y caminos se le conoce como la Red Vial Nacional y está conformada por la red vial estatal, provincial y cantonal; las cuales son de uso importante para los pobladores y por ello el mantenimiento de las mismas se lo debe realizar de forma periódica, ya que debido a la ausencia de materiales adecuados para la construcción de estructuras de pavimento se deterioran o desgastan con el uso continuo. Por ello se ha incrementado la importancia de realizar un mejoramiento en las vías mediante procesos químicos, es decir, a través de estabilización de suelos. Las bases, subrasantes deben tener una mejor condición tanto en la duración y en el soporte así como en favorables costos de mantención.

Este proyecto se presenta con el fin de generar alternativas de estabilización de suelos para la subrasante mediante el uso de métodos químicos, el cual trata adicionar

pequeños porcentajes de compuestos químicos que forman reacciones físico-químicas desarrollando resultados favorables.

1.3 JUSTIFICACIÓN

A través de los años se ha venido realizando estabilización de suelos alrededor del mundo con el objetivo de lograr una mayor durabilidad de los materiales que componen la estructura del pavimento, para así lograr mayor capacidad de soporte y más resistencia a los agentes atmosféricos en cada una de las capas correspondientes. [1]

La cal se ha venido usando como un agente estabilizador químico a lo largo de la historia, pero los estudios científicos que se han realizado sobre su empleo muestran que al utilizar como estabilizador de suelos genera resistencia y estabilidad a largo plazo. Mediante la cal se puede obtener una capa de mayor valor estructural así como estabilizar un suelo fino permanente para una subrasante. [2]

El cloruro de calcio se usaba como paliativo de polvo al inicio del siglo actual; sin embargo se observó que beneficia la estabilidad en la carretera y aumenta la densidad al compactar con la adición del mismo. En Estados Unidos existe un número incalculable de carreteras y calles usando cloruro de calcio como estabilizador de suelos debido a sus beneficios.[3]

El sulfato de calcio conocido como yeso se encuentra en grandes cantidades en algunos países, ya sea como yeso natural o como un subproducto industrial, por ende este es más económico que el cemento o la cal. El yeso se ha usado para acelerar el fraguado en mezclas de suelo-cemento como aditivo [4]. Al estabilizar con yeso se obtienen ventajas como: poca contracción, apariencia lisa y alta resistencia mecánica. Además, el yeso se aglomera bien con las fibras. [5]

En nuestro país existe una gran cantidad de carreteras, las cuales con el uso continuo se van deteriorando, por consiguiente, el mantenimiento de las mismas es importante debido al soporte de comunicación que éstas brindan; por ende es indispensable efectuar una estabilización de suelos de la subrasante, para así mejorar su resistencia. En el país ciertas regiones poseen suelos arcillosos, los cuales se han venido estabilizando con cal,

debido a que es la estabilización química más común puesto que puede disminuir su permeabilidad y aumentar su capacidad de soporte; pero en vista de que existen otros métodos químicos de estabilización que no se han realizado en el país, se plantea otras alternativas como: estabilización con cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso).

Lo esencial del tema planteado es efectuar un análisis comparativo de los resultados de los tres métodos químicos de estabilización de suelo arcilloso.

Este proyecto es factible, ya que se cuenta con las herramientas necesarias y con fuentes bibliográficas para realizar la investigación de los tres métodos químicos de estabilización.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Analizar y comparar el comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado con tres componentes químicos: Cal, Cloruro de Calcio y Sulfato de Calcio (Yeso)

1.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Conocer las propiedades índice del suelo natural (contenido de humedad, gravedad específica, peso específico, límites plásticos)
- ✓ Conocer las propiedades técnicas del suelo natural, con cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso).
- ✓ Buscar un porcentaje óptimo de cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso) a utilizar en la estabilización de cada mezcla de bloque.
- ✓ Analizar comparativamente los resultados de las propiedades y resistencia del suelo con los tres métodos químicos de estabilización.

CAPÍTULO II

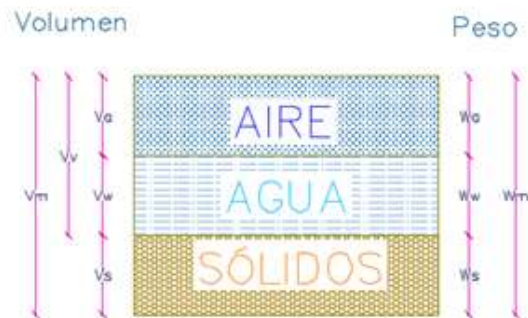
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 LA MASA DEL SUELO Y SUS PROPIEDADES

Los suelos están compuestos de tres fases, sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida contiene partículas, mientras que la líquida la presencia de agua y la gaseosa de aire. Las tres fases presentan un volumen, por ende tiene un determinado peso, con relación al total de una muestra. Por consiguiente las relaciones volumétricas se dan por el peso de las tres fases del suelo y por el volumen que éstas ocupan.

Estas relaciones son de gran uso en la mecánica de suelos, debido a que mediante éstas se determinan ciertas propiedades del suelo con la aplicación adecuada de sus teorías.

Gráfico N° 1 Fases del Suelo y Nomenclatura



Nomenclatura	
Vm: volumen de la masa	Wm: Peso de la masa
Vs: volumen de sólidos	Wa: Peso del aire
Vv: volumen de vacíos	W ω : Peso del agua
Va: volumen de aire	Ws: Peso de sólidos
Vω: volumen de agua	

Fuente.- F. Mantilla, Mecánica de Suelos I.

2.1.2 PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO

2.1.2.1 Relación de Vacíos

Es la relación que existe entre el volumen de vacíos con referente al volumen de los sólidos, cuando la relación de vacíos da valores altos quiere decir que el suelo esta suelto, y si genera valores bajos quiere decir que el suelo está muy compactado.

Ecuación N°1: Relación de Vacíos

$$e = \frac{Vv}{Vs}$$

Fuente.- F. Mantilla, Mecánica de Suelos I.

2.1.2.2 Porosidad

Son espacios de diferente tamaño que se presenta entre los granos del suelo. Cuando existe un bajo porcentaje de porosidad, es debido a que el suelo se encuentra consolidado o densificado y si tiene un alto porcentaje de porosidad, el suelo es altamente compresible.

Ecuación N°2: Porosidad

$$n\% = \frac{Vv}{Vm} * 100$$

Fuente.- F. Mantilla, Mecánica de Suelos I.

2.1.2.3 Grado de Saturación del Agua

La saturación no es más que los vacíos del suelo, que se encuentren completamente llenos de agua, la sobresaturación es el exceso de agua en el suelo, es decir que las partículas se hallan en suspensión. En grado de saturación del agua se lo expresa en porcentaje, cuando es 0% significa que el suelo se encuentra seco y 100% el suelo está totalmente saturado. Es la relación del volumen de agua con respecto al volumen de vacíos.

Ecuación N°3: Grado de Saturación del Agua

$$G\omega\% = \frac{V\omega}{Vv} * 100$$

Fuente.- F. Mantilla, Mecánica de Suelos I

2.1.2.4 Grado de Saturación de Aire

Es la relación que existe entre el volumen de aire con respecto al volumen de vacíos, se lo expresa en porcentaje. En el suelo saturado, los vacíos se encuentran llenos por agua, por ende el grado de saturación de aire es cero, mientras que en el suelo seco se halla un porcentaje de cien por ciento de aire.

Ecuación N°4: Grado de Saturación del Agua

$$Ga\% = \frac{Va}{Vv} * 100$$

Fuente.- F. Mantilla, Mecánica de Suelos I

2.1.2.5 Contenido de Humedad

Es la cantidad de agua que se presenta en el suelo, la cual puede determinar si un suelo se encuentra saturado o seco. Se expresa en porcentaje, la relación del peso del agua contenida y el peso de su fase sólida. Éste puede variar dependiendo de las condiciones de humedad del sitio de donde se obtenga la muestra.

Ecuación N°5: Grado de Saturación del Agua

$$\Omega\% = \frac{W\omega}{W_s} * 100$$

Fuente.- F. Mantilla, Mecánica de Suelos I

2.1.2.6 Gravedad Específica

La gravedad específica es la relación que está entre, el peso unitario del material con el peso unitario de agua destilada a 4 grados centígrados; es adimensional y coincide con la densidad.

Ecuación N°6: Gravedad Específica

$$G_s\% = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Fuente.- F. Mantilla, Mecánica de Suelos I

2.1.2.7 Peso volumétrico

El peso específico de la masa de suelo, es la relación que existe entre el peso de la masa de suelo con el volumen que ocupa.

Ecuación N°7: Gravedad Específica

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

Fuente.- F. Mantilla, Mecánica de Suelos I

2.1.2.8 Peso volumétrico seco

Conocida como densidad seca, se obtiene al introducir la muestra de suelo en el horno.

Ecuación N°8: Gravedad Específica

$$\gamma_d = W_s$$

$$\gamma_d = W_m - W_w$$

Fuente.- F. Mantilla, Mecánica de Suelos I

Para obtener los valores de las relaciones fundamentales o propiedades índice, la densidad de campo se determina a través del ensayo de Cono y Arena de Ottawa bajo las normas AASHTO T-205, ASTM D- 2167.

2.1.3 PLASTICIDAD DE LOS SUELOS FINOS

2.1.3.1 Plasticidad

Se entiende como plasticidad a la propiedad que tiene un material de soportar deformaciones rápidas sin agrietarse. Las arcillas poseen esta propiedad en grado variado. Para medir la plasticidad en un suelo se utilizan los Límites de Atterberg quien separa en cuatro estados de consistencia.

2.1.3.2 Estados de Consistencia

Es la cantidad de humedad que presenta en una masa de suelo, si la humedad se incrementa, el suelo tiende ablandarse hasta ser líquido y por el contrario al no existir agua el suelo se endurece.

Según la variedad de humedad de un suelo puede ser plástico y se encontrará en cualquiera de los siguientes estados de consistencia.

Gráfico N° 2 Estados de Consistencia



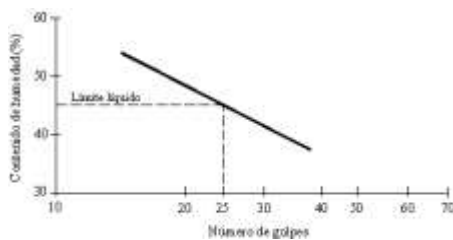
Fuente.- F. Mantilla, Mecánica de Suelos I.

Se establece que por el cambio de humedad se alteran las propiedades mecánicas de las arcillas.

2.1.3.3 Límite Líquido

Se define como el contenido de humedad del suelo expresado en porcentaje, en relación al peso seco de la muestra en el horno. Se indica como la frontera entre el estado semilíquido y plástico. El límite líquido se lo determina en el laboratorio para así obtener la curva de escurrimiento.

Gráfico N° 3 Curva de Escurrimiento



Fuente.- F. Mantilla, Mecánica de Suelos I.

La curva de escurrimiento es la relación del contenido de humedad y el número de golpes, la escala logarítmica expresa el número de golpes y la aritmética el contenido de humedad.

2.1.3.4 Límite Plástico

Se establece como el contenido de humedad expresado en porcentaje, con respecto a la muestra secada en el horno, cuando los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

2.1.3.5 Índice Plástico

El índice plástico de un suelo cohesivo, se determina con la diferencia del límite líquido y el límite plástico.

Ecuación N°9: Índice Plástico

$$I_p = \omega_l\% - \omega_p\%$$

$$I_p = LL - LP$$

Fuente.- F. Mantilla, Mecánica de Suelos I.

Para determinar los límites de Alterberg, se utiliza el ensayo de límites de plasticidad y líquido; que está bajo las normas: AASHTO T-90-70, ASTM D-424-59-74, INEN 691-692.

2.1.3.6 Límite de Contracción

Se lo define como el porcentaje de humedad por debajo del cual no se genera reducción adicional del volumen de la muestra. Se encuentra entre la frontera del estado semisólido y sólido. Para suelos finos, el cambio de volumen se producirá por encima de la humedad correspondiente al límite de contracción.

2.1.3.7 Importancia de los Límites de Plasticidad

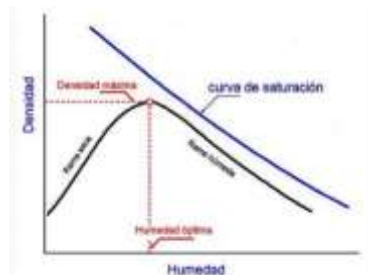
El dato del límite líquido e índice plástico es indispensable obtenerlo, debido a que éste permite diferenciar los suelos limosos de los arcillosos, como el de identificar si son suelos de alta o baja plasticidad, por ende si son de alta o baja compresibilidad.

2.1.4. PROPIEDADES TÉCNICAS DEL SUELOS

2.1.4.1 Compactación de los Suelos

Es la densificación del suelo por remoción de aire, por lo que necesita energía mecánica. Se establece que la compactación, es un proceso que al aplicar energía a un suelo se logra eliminar los espacios vacíos, por ende aumenta su densidad y capacidad portante como el mejoramiento artificial de las propiedades índice y mecánicas del suelo.

Gráfico N° 4 Curva de Compactación



Fuente.- UNH, Mecánica de Suelos I.

Se lo representa en una gráfica de la densidad con relación a la humedad óptima de la muestra. Para el ensayo de compactación se utiliza el PRÓCTOR MODIFICADO con la norma AASHTO – 180.

2.1.4.2 Relación de soporte de california (CBR)

El CBR consiste en medir la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, este ensayo permite conocer un porcentaje de capacidad de soporte.

Ecuación N°10. Relación d soporte de california

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria del patrón}} * 100$$

Fuente: J. Sanz, Mecánica de Suelos

2.1.5 INVESTIGACIÓN DEL SUELO EN EL CAMPO

En la recolección de muestras es importante el conocimiento de los materiales y suelos, así como el criterio para la selección del sitio de donde se extraerá el suelo, y la facilidad del transporte de las mismas. Las muestras se caracterizan por ser representativas para los correspondientes ensayos, con el fin de obtener resultados satisfactorios. Existen tres tipos de muestras la cuales son: Alteradas, Inalteradas e Integrales.

2.1.5.1 Muestreo

Es la obtención de una porción del material, que se va utilizar en la construcción o como material parte de la misma, de tal forma que las características sean las adecuadas y representativas para su correspondiente uso.

2.1.5.2 Muestras Alteradas

Se consideran muestras alteradas, al suelo extraído que conserva su mineralogía pero no conserva su estructura original del terreno. Son muestras representativas que se las utilizan para la construcción de terraplenes así como para estabilizaciones.

2.1.5.3 Muestras Inalteradas

Son muestras que al ser extraídas conservan su estructura original, así como su mineralogía y condiciones de humedad. Son muestras representativas las cuales se las utilizan para conocer la estabilidad del terreno como la capacidad de soporte del terreno.

2.1.5.4 Muestras Integrales

Son muestras que se deben obtener obligatoriamente para los estudios de suelos en un diseño de una súper estructura.

2.1.5.5 Muestreo versus Ensayos

Tanto el muestreo como los ensayos son actividades que están ligadas ya que el muestreo está regido por los requerimiento impuestos por las pruebas del laboratorio, así como los ensayos están definidos según la naturaleza de los problemas, que se puedan dar en el material para la construcción. Por ende son necesarios los dos tipos de sondeos Preliminares y Definitivos.

2.1.6 TIPOS DE SONDEO

2.1.6.1 Métodos exploratorios - Pozos a cielo abierto (PCA)

Este método consiste en realizar una excavación de un pozo de dimensiones suficientes, para que un técnico pueda bajar a examinar detalladamente los diferentes estratos del suelo en su estado natural, así como las condiciones precisas sobre la orientación de las partículas, el nivel freático, contenido natural de humedad y para la extracción de muestras alteras e inalteradas.

Para la toma de **muestras alteradas**, se debe proteger contra la pérdida de humedad que esta muestra pueda obtener al momento de ser extraída, se la debe colocar en frascos o bolsas emparafinadas.

Para la toma de **muestras inalteradas**, se debe tomar las precauciones necesarias para que esta muestra conserve las condiciones del sitio, se debe tallar un bloque que sobresalga del fondo, en lugar de extraer del propio fondo o de las paredes del pozo, ya que estos lugares se encuentran con suelo alterado de la excavación. Bajo la norma INEN-687.

La muestra se la debe tallar con la herramienta cortante de manera que forme una figura geométrica del tamaño adecuado, al usar muestreadores metálicos, se debe tallar menos que el muestreador para que este se introduzca con su propio peso. Para el transporte de las muestras se lo debe realizar en cajas de madera para que permanezcan con las condiciones del sitio extraído.

2.1.6.2 Método de penetración cónica

Este método consiste en penetrar una punta cónica en el suelo, para poder medir la resistencia que ofrece dicho suelo. Dependiendo del procedimiento para hincar los conos en el terreno existen dos métodos; penetrómetro estático y dinámico.

Penetración de Cono Estático

Se puede considerar como método Americano, consiste en hincar a presión una herramienta con punta cónica, plasmando la energía con la que se hinca, por medio de gatos hidráulicos los cuales generan la fuerza necesaria para profundizar en el terreno. Se lo utiliza para suelos blandos como granulares y cohesivos.

Penetración de Cono Dinámico

El método consiste en hincar el penetrómetro mediante un peso determinado que cae de una altura ya establecida contar el número de golpes requerido. INEN-689

2.1.7 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La estabilización de un suelo se da, cuando éste no presenta las condiciones para ser considerado como un suelo estable. Es un proceso en el cual se pretende el mejoramiento de las características y propiedades del suelo natural seleccionado, realizando un tratamiento de modo que se logre que el suelo sea estable y capaz de soportar los agentes climáticos y los efectos del tránsito.

Para la realización de una estabilización de suelos se debe realizar un diagnóstico de las propiedades del suelo natural para analizar la efectividad al ser estabilizado, así como la variable económica para la construcción.

Para conseguir el mejoramiento de un suelo se debe incrementar los siguientes aspectos:

La resistencia a corte

La capacidad de carga

La capacidad de soporte

Se debe disminuir los siguientes parámetros

La compresibilidad

La absorción de agua

El objetivo de una estabilización, es el de mejorar la calidad del suelo, así como evitar hundimientos o asentamientos; y optimizar las siguientes propiedades:

- La humedad cuando está en relación directa con el suelo fino, genera pérdida de estabilidad y cohesión en el suelo, por ende se debe lograr la humedad óptima ya que es el punto donde se balancea la estabilidad con la inestabilidad.
- Mediante la compactación se logra mejorar la calidad de suelo, debido al incremento de energía, que se da en el ensayo, así como se logra la densidad máxima y la humedad óptima.
- La permeabilidad deberá ser la mínima, si existe una graduación correcta permitirá que el suelo permanezca impermeable en las capas de soporte de un pavimento.
- En la resistencia a corte se modificará el ángulo de fricción interna en las partículas finas y la cohesión del suelo lo que permite la se mejore la resistencia a corte.
- Mediante la compactación y la energía que se emplea en ella los suelos puede volverse indeformables o deformarse menos.

Tipos de Estabilización

- ❖ Estabilización mecánica
- ❖ Estabilización física
- ❖ *Estabilización química*

❖ Estabilización por adición de aglutinantes

2.1.7.1 Estabilización Química

Consiste en la aplicación de un producto químico denominado estabilizador químico, que se debe mezclar con el suelo natural de una manera homogénea, de acuerdo a las normas establecidas. El objetivo del estabilizador químico de mejorar las propiedades y condiciones del suelo tanto en la etapa de construcción como de servicio.

2.1.7.2 Estabilización con cal

La estabilización con cal es usada para suelos arcillosos, ya que transforma los suelos inestables en materiales que se pueden utilizar, generando estabilidad a largo plazo y resistencia de una manera permanente, en especial sobre la acción del agua.

En una subrasante o subbase, la cal puede estabilizar a un suelo fino de una manera intacta, para establecer una capa con un valor estructural significativo.

2.1.7.3 Estabilización con yeso

La estabilización con yeso ayuda a que exista poca contracción, así como a lograr una resistencia alta, al realizar la mezcla con el suelo no necesita periodos largos de curado, porque se endurece rápidamente con el agua el yeso. También sirve como apoyo de aditivo para acelerar el fraguado en las mezclas de suelo-cemento, es un estabilizador químico económico en el área de la construcción.

2.1.7.4 Estabilización con cloruro de calcio

La estabilización con cloruro de calcio abarca una serie de beneficios tanto en construcción de las capas de subbase y base de carreteras y autopistas, es usado comúnmente en Estados Unidos en diversos lugares, debido a que es económico. Al estabilizar con cloruro de calcio se originan cambios que suelen ser a veces intangibles pero es de gran ayuda en los pavimentos.

Al usar el cloruro de calcio como un agente estabilizador se aumenta la densidad máxima en el momento de la compactación, así como el mantener una humedad acorde.

2.1.8 MATERIALES UTILIZADOS EN LA ESTABILIZACIÓN

2.1.8.1 Arcilla

Es un material cuyas partículas tienen un diámetro menor a 0,002 mm y se originan por la agregación de silicatos de aluminio, procedidos por la descomposición o alteración química y física de minerales y rocas. Al estar en contacto con agua tiene la propiedad de volverse plástica y con el calor se deshidrata y se endurece.

2.1.8.2 Cal

Es una sustancia de color blanco originada debido a la calcinación de las rocas calizas; cuando está sin contacto con el agua se conoce como cal viva (óxido de calcio) y con presencia de agua cal apagada (hidróxido de calcio).

Composición Química:

Cal viva: CaO

Cal apagada: $\text{Ca}(\text{OH})_2$

2.1.8.3 Cloruro de Calcio

Es una sustancia de color blanco se presenta en gránulos y se le considera inodora ya que ésta se disuelve fácilmente en el agua. Químicamente es una sal que está compuesta por una molécula de calcio y dos moléculas de cloruro.

Composición Química:

Cloruro de calcio: CaCl_2

2.1.8.4 Yeso

Es un material utilizado en la construcción de color blanco que se obtiene de una piedra llamada aljez, se presenta como una sustancia terrosa y es conocido químicamente como sulfato de calcio; éste se deshidrata con la presencia de fuego y se endurece con el contacto de agua

Composición Química:

Yeso: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

2.2 Hipótesis

La estabilización del suelo arcilloso con cal, yeso y cloruro de calcio y su incidencia en su comportamiento y resistencia.

2.3 Señalamiento de variables de la Hipótesis

2.3.1. Variable Independiente:

La estabilización del suelo arcilloso con cal, yeso y cloruro de calcio.

2.3.2 Variable Dependiente:

El comportamiento y su resistencia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Se establece que la investigación es exploratoria, ya que estabilizaciones de suelos con los productos mencionados anteriormente no se han usado en nuestro medio, la finalidad es alcanzar una resistencia máxima mediante el uso de estos componentes químicos.

INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO

Se considera que la investigación es de laboratorio debido a que, se requieren elaborar bloques (muestras) del suelo natural con cada uno de los componentes químicos los cuales son: cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso), para luego ser ensayados.

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

La investigación es experimental ya que se van a realizar bloques (muestras) por los tres métodos químicos, en el laboratorio utilizando diferentes porcentajes con el fin de lograr la resistencia máxima de la muestra, con los resultados obtenidos se concluirá el uso del trabajo realizado.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Este trabajo experimental tiene como objeto realizar bloques de suelo arcilloso con cada uno de sus componentes químicos, por consiguiente, la población está delimitada por el suelo a analizarse el cual se extrajo de la ciudad del Puyo (168161,00m E, 9834096,00m S), capital de la provincia de Pastaza. La muestra se basará en la especificaciones generales del MTOP; con el propósito que se obtengan los resultados requeridos los ensayos estarán bajo las normas ASTM, AASHTO e INEN, se realizarán bloques de

suelo arcilloso por los tres métodos químicos con diferentes porcentajes (5%,10%,15%), los cuales serán ensayados a los 7, 14, 21 días respectivamente. A través de esto se conocerá la reacción de los estabilizadores químicos al ensayar la muestra, y obtener la resistencia máxima.

3.3 OPERACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable independiente

La estabilización del suelo arcilloso con cal, yeso y cloruro de calcio

Concepto	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
La estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) con tres estabilizadores químicos: cal, cloruro de calcio y yeso; es la mezcla del suelo natural, agua y el componente, con el fin de analizar y comparar su comportamiento y resistencia alcanzada.	Arcilla	-Por sus propiedades -Según sus características	¿Qué ensayos se debe realizar? ¿Qué normas reglamentan los ensayos?	-Laboratorio -Normas: AASHTO ASTM INEM
	Cal	-Según su uso - Cantidad - Por su calidad	¿Cuál es su aplicación ingenieril?	-Investigación bibliográfica
	Cloruro de Calcio		¿Cuáles son las características en una estabilización de suelos?	-Investigación Experimental -Ensayos de laboratorio
	Sulfato de Calcio		¿Cuál es el porcentaje óptimo en una estabilización de suelos?	-Interpretación de resultados -Normas: AASHTO ASTM INEM

Cuadro 1: Operación de Variable Independiente.

3.1.2 Variable Dependiente

El comportamiento y su resistencia

Concepto	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentación
Se realiza bloques (muestras) estandarizados de arcilla más el componente químico correspondiente, se determina la resistencia máxima a compresión ; que es la carga axial de compresión alcanzada por la sección del bloque (muestra) antes de la falla.	Calidad del Bloque más su estabilizador químico	Calidad de la mezcla	-¿Cuál es la calidad del bloque?	-Laboratorio - Bibliografía -Normas. AASHTO ASTM INEN
	Ensayo de compresión	Resistencia a compresión (máxima)	¿Qué normas reglamentan los ensayos? ¿Qué equipos se utiliza para realizar los bloques?	-Laboratorio - Bibliografía

Cuadro 2: Operación de Variable Dependiente.

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Preguntas Básicas	Explicación
1.- ¿Para qué?	Para determinar el comportamiento de la estabilización del suelo arcilloso incorporado cal, sulfato de calcio (yeso) y cloruro de calcio.
2.- ¿De qué personas u objetos?	De bloques de arcilla-cal, arcilla-yeso- arcilla-cloruro de calcio elaboradas con diferentes porcentajes de sus componentes químicos.
3.- ¿Sobre qué aspectos?	Influencia de los componentes químicos en la resistencia a compresión (máxima) de cada bloque.
4.- ¿Quién?	Jessica Tatiana Fiallos Condo
5.- ¿Dónde?	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato
6.- ¿Cómo?	Mediante ensayos de campo y laboratorio. A través de investigación bibliográfica y normas.

Cuadro 3: Recolección de Información.

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

- Examinar la información recolectada detalladamente haciendo referencia con normas y bibliografía.
- Tabular los datos de ensayos tanto de campo como de laboratorio.
- Ejecutar tablas y gráficas correspondientes de la información obtenida.

3.5.2. PLAN DE ANÁLISIS

- Interpretar los resultados obtenidos en la investigación realizada, tomando como referencia la hipótesis planteada.
- Confirmación de la hipótesis planteada.
- Planteamiento de recomendaciones y conclusiones de la investigación.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Recolección de datos

Se realizó ensayos con la muestra conseguida de la ciudad del Puyo en la localización de 168161,00m E, 9834096,00m S; para obtener una análisis comparativo de la estabilización, se procedió a ejecutar bloques de suelo cohesivo más el estabilizador químico con diferentes porcentajes los cuales fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días respectivamente. Las propiedades índice y técnicas se las adquirió mediante los ensayos de campo y ensayos de laboratorio bajos las normas ASTM, AASHTO e INEN.

4.1.1 Ensayos de Campo

Se ejecutaron varios ensayos de campo para obtener resultados de las propiedades del suelo en su estado natural lo cuales son; la extracción de muestras inalteradas así como el ensayo del cono y arena de Ottawa, penetrómetro dinámico y estático.

Ensayo N° 1. Cono y Arena de Ottawa

El ensayo de Cono y Arena de Ottawa IN SITU permite determinar la densidad del terreno así como se puede observar la calidad del suelo en su estado natural y el contenido de humedad que éste presenta.



Se utiliza arena uniforme estandarizada con granos redondos y consiste en realizar una perforación aproximadamente de 4 pulgadas de diámetro de hoyo, con una profundidad de 15 cm de la superficie de material compactado. Al realizar la extracción de la muestra se divide el peso de la misma, por el volumen del hueco cilíndrico para así obtener la densidad humedad.

Gráfico N° 5 Ensayo de Cono y Arena de Ottawa



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 1 Cono y Arena de Ottawa

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (PESO)		
CONO Y ARENA DE OTTAWA		
Origen:	Puyo	
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo	
Fecha:	Lunes, 6 de Junio del 2016	
Norma:	AASHTO T-205, ASTM D- 2167.	
1.- DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO		
PESO MASA DE SUELO + RECIPIENTE (gr.)	2138,8	
PESO RECIPIENTE (FUNDA PLÁSTICA) (gr)	4,8	
PESO DE LA MASA DE SUELO (gr) W_m	2134	
2.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO		
LECTURA INICIAL DE FRASCO + CONO + ARENA DE OTTAWA	6874	
LECTURA FINAL DE FRASCO + CONO + ARENA DE OTTAWA	2259,9	
PESO DE LA ARENA EN EL CONO	1629	
PESO DE LA ARENA EN EL HUECO	2985,1	
CALIBRACIÓN DE LA ARENA DE OTTAWA (gr/cm^3) y $sand$	2,7	
VOLUMEN DEL HUECO (DE LA MASA) V_m (cm^3)	1105,59	
3.- DETERMINACIÓN W%		
	1	2
PESO MUESTRA HUMEDA + RECIPIENTE	163,9	128
MUESTRA SECA + RECIPIENTE	72,65	60,1
PESO RECIPIENTE	25,5	24,1
PESO AGUA	91,25	67,9
PESO SUELO SECO	47,15	36
W%	193,53	188,61
PROMEDIO W%	191,07	
4.- DETERMINACIÓN PESO VOLUMÉTRICO DE LA MASA (gr/cm^3)	1,131	
5.- DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO (gr/cm^3)	0,389	
6.- DETERMINACIÓN RELACIÓN DE VACÍOS e	2,97	
7.- DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD n %	74,82	
8.- DETERMINACIÓN DE GRADO DE SATURACIÓN G_w %	60,62	
9.- DETERMINACIÓN DE GRADO DE SATURACIÓN EN AIRE G_a %	39,38	

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Ensayo N° 2. Penetración de Cono Estático



El ensayo de penetración de cono estático, consiste en introducir una varilla cilíndrica con un cono en la base a una velocidad que es constante, a través de un aparato transmisor. Se determina la resistencia que ofrece el suelo mediante este ensayo, con la norma AASHTO-T49-93.


Gráfico N° 6 Penetración de Cono Estático



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 2 Penetración de Cono Estático

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).		
PENETRACIÓN DE CONO ESTÁTICO		
Origen:	Puyo	
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo	
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016	
Norma:	AASHTO-T49-93	
PUNTOS	LECTURA	RESITENCIA kg/ccm2
1	256	21,9108
2	116	9,9268
3	197	16,8604
4	177	15,1484
5	219	18,7436
6	181	15,4908
7	275	23,5372
8	168	14,378
9	107	9,1564
10	184	15,7476
11	117	10,0124
12	199	17,0316



Interpretación.- Realizado el ensayo de penetrómetro de cono estático se procede a realizar la gráfica en la cual se puede observar al esfuerzo versus la lectura obtenida del terreno la cual determina el valor máximo de resistencia que se genera en la lectura de 275 del suelo a prueba.

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Ensayo N°3. Penetración de Cono Dinámico



El ensayo de penetración de cono dinámico, consiste en hincar mediante golpes con pesos y altura de caída variable a la superficie del suelo. A través de este ensayo se mide la resistencia a la penetración e indirectamente la fuerza con la que entra a la capa de prueba. Bajo la norma ASTM D 6951-03.

Gráfico N° 7 Penetración de Cono Dinámico



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 3 Penetración de Cono Dinámico



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).		
PENETRACIÓN DE CONO DINÁMICO		
Origen:	Puyo	
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo	
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016	
Norma:	ASTM D 6951-03	
PUNTOS	PDC	CBR
1	1	2
2	1	2
3	1	2
4	1	2
5	1	2
6	1	2
7	1	2
8	1	2
9	1	2
10	1	2
11	1	2
12	1	2

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Ensayo N°4. CBR-Muestras Inalteradas

Se realizó una calicata de la cual se obtuvieron tres muestras inalteradas para ser ensayadas en el laboratorio y determinar la carga última, que éstas presentan en estado natural. Bajo la norma ASTM D 1883.

Tabla N° 4 CBR-Muestras Inalteradas

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).			
CBR-MUESTRAS INALTERADAS			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM D1883		
PENET.	Q Carga	Q Carga	Q Carga
plg *10-3	Lb	Lb	lb
0	0	0	0
25	42,6	8,6	77,2
50	74,8	13,2	148,1
75	122,6	18,1	186,2
100	160,4	23,8	229,2
150	232,4	28,6	254,2
200	256,1	33,9	289,3
250	278,6	39,6	310,9
300	294,5	44,8	330,1
400	321,9	53,7	363,7
500	347,7	61,1	388,4

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

4.1.2 Ensayos de Laboratorio

Los bloques (muestras) se los realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ensayo N° 5. Próctor Modificado “D”

Consiste en colocar una muestra de partículas menores a 2 mm en un molde de dimensiones estandarizadas, a través de un martillo cilíndrico de 10 lb se deja caer a presión con una altura de 18 pulgadas, con un número de 56 golpes en cada capa en total 5 capas, se toma dos muestras para contenido de humedad.

Gráfico N° 8 Ensayo de Próctor Modificado





Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 5 Próctor Modificado “D”

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).								
PRÓCTOR MODIFICADO "D"								
Origen:	Puyo							
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo							
Fecha:	Viernes, 3 de Junio de 2016							
Norma:	AASHTO T-180							
ESPECIFICACIONES								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	14601 gr			
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2184,76 cm ³			
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000			
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	4	8	12	16				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	18169	18243	18520	18317				
Peso suelo humedo Wm (gr)	3568	3642	3919	3716				
Peso unitario humedo γ_m (gr/cm ³)	1,633	1,667	1,794	1,701				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Recipiente numero	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente W _r	23,4	24,8	26	26,7	26,2	26,5	26,6	24,1
Rec+suelo humedo W _r +W _m	144,8	127,6	129,4	116,1	115,7	108,1	114,6	104,9
Rec+suelo seco W _s + W _m	125,8	111,6	109,6	99,2	96,5	90,6	93,5	86,2
Peso solidos W _s	102,4	86,8	83,6	72,5	70,3	64,1	66,9	62,1
Peso del agua W _w	19	16	19,8	16,9	19,2	17,5	21,1	18,7
Cont. Humedad $\omega\%$	18,55	18,43	23,68	23,31	27,31	27,30	31,54	30,11
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	18,49		23,50		27,31		30,83	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1,378		1,350		1,409		1,300	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 6 Compactación (CBR)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).									
COMPACTACIÓN (CBR)									
Origen:		Puyo							
Ensayado por:		Jéssica Tatiana Fiallos Condo							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO									
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:		10 lb				
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAÍDA:		18"				
PESO MUESTRA:	6000 gr		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO		22,50				
ENSAYO DE COMPACTACIÓN C.B.R.									
MOLDE	1		2		3				
N° de Capas	5		5		5				
N° de Golpes	56		27		11				
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo			
P. Hum. + Molde	19918	20007,2	19785	19845	19524	19731			
Peso Molde	15848	15848	16340	16340	16174	16174			
P. Humedo	4070	4159,2	3445	3505	3350	3557			
Volumen Muestra	2279,12	2279,12	2300,81	2300,81	2316,56	2316,56			
Densidad Humedad	1,786	1,825	1,497	1,523	1,446	1,535			
Densidad Seca	1,454	1,441	1,220	1,202	1,178	1,216			
Den. Seca Prom.	1,447		1,211		1,197				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Recipiente N°	11	25	1A	14	18	2A	30	33	3A
P. Hum. + Recipiente	140	108,7	142,2	105	100,5	139,7	127,9	102,1	140,1
P. Seco + Recipiente	120	94,2	118,8	90,2	87,6	116,8	110,1	87,9	117,4
Peso Recipiente	31	31	31,1	24,1	31,3	31,1	31,1	25,9	31,1
Peso Agua	20,1	14,5	23,4	14,9	12,9	22,9	17,8	14,2	22,7
Peso de Sólidos	88,5	63,2	87,7	66,1	56,3	85,7	79	62	86,3
Contenido Humedad	22,71	22,94	26,68	22,54	22,91	26,72	22,53	22,90	26,30
Con. Hum. Prom. %	22,83		26,68	22,73		26,72	22,72		26,30

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 7 C.B.R.

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)		ÁREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)										
Molde Número		1			2			3								
TIEMPO		PENET.		Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR	
Min.	Seg.	mm	plg *10 ⁻³		Leída	Corregida			Leída	Corregida			Leída	Corregida		
				lb	lb/pulg ²	%	lb	lb/pulg ²	%	lb	lb/pulg ²	%				
		0	0	0	0		0	0,00		0	0					
0	30	0,64	25	123	40,97		100	33,33		57	19,00					
1	0	1,27	50	268	89,17		210	70,00		103	34,33					
1	30	1,91	75	436	145,20		335	111,67		129	43,00					
2	0	2,54	100	560	186,57	186,57	18,66	430	143,33	143,33	14,33	153	51,00	51,00	5,10	
3	0	3,81	150	750	249,87		585	195,00		174	58,00					
4	0	5,08	200	921	306,93		703	234,33		186	62,00					
5	0	6,35	250	1053	351,13		821	273,67		203	67,67					
6	0	7,62	300	1154	384,67		891	297,00		218	72,67					
8	0	10,16	400	1375	458,33		1060	353,33		246	82,00					
10	0	12,70	500	1621	540,33		1240	413,33		273	91,00					
CBR Corregido							18,66			14,33						5,10

DENSIDADES		RESISTENCIAS		DENSIDAD MAX		95% DE DM		CBR PUNTUAL	
1,447	gr/cm ³	18,66	%	1,386	gr/cm ³	1,317	gr/cm ³	14,70	%
1,211	gr/cm ³	14,33	%						
1,197	gr/cm ³	5,10	%						

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Ensayo N°6. Resistencia a Corte

Tabla N° 8 Resistencia a Corte Muestra 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE UNA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL , CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).						
RESISTENCIA A CORTE SUELOS COHESIVOS						
Origen:	Puyo					
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo					
Fecha:	Martes, 28 de Junio del 2017					
1 ESPECIFICACIONES GENERALES						
Constante k (Del anillo dinamométrico): Kp/mm de def			1,14		NORMAS:	
Dimensiones de la muestra:			AASHTO:		T-208-70	
Diámetro en cm:	13,50	Volumen en cm ³	4830,95	ASTM:	D-2166	
Sección en cm ² :	143,14	Peso en gramos	5567,00	w%	191,07	
Altura en cm:	33,75	ym gr/cm ³	1,152	yd gr/cm ³	0,3959	
2 EJECUCIÓN DEL ENSAYO						
Def Vert x 10 ⁻² d		P Carga		Deformación unitaria e	Área corregida Ac	Esfuerzo Normal q (Kg/cm ²) P/Ac
in	mm	lb	kg			
0	0,0000	0	0,00	0,0000	143,14	0,000
25	0,6350	8,6	3,91	0,0188	145,88	0,027
50	1,2700	13,2	6,00	0,0376	148,74	0,040
75	1,9050	18,1	8,23	0,0564	151,70	0,054
100	2,5400	23,8	10,82	0,0753	154,79	0,070
150	3,8100	28,6	13,00	0,1129	161,35	0,081
200	5,0800	33,9	15,41	0,1505	168,50	0,091
250	6,3500	39,6	18,00	0,1881	176,31	0,102
300	7,6200	44,8	20,36	0,2258	184,88	0,110
400	10,1600	53,7	24,41	0,3010	204,79	0,119
500	12,7000	52,7	23,95	0,3763	229,50	0,104
3 GRÁFICO DE LA RELACIÓN ESFUERZO DEFORMACIÓN						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL SUELO COHESIVO q _u			Determinación de la Cohesión en kg/cm ²			
4 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS RESISTENTES DEL SUELO						
SERIE X		SERIE Y	Resistencia del suelo	Kg/cm ²	Ton/m ²	
0		0,119	Compresión simple q _u	0,12	1,19	
400		0,119	Cohesión del suelo "c"	0,06	0,60	
Fs=	3		Compresión simple q _{adm}	0,04	0,40	

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 9 Resistencia a Corte Muestra 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE UNA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL , CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).						
RESISTENCIA A CORTE SUELOS COHESIVOS						
Origen:		Puyo				
Ensayado por:		Jéssica Tatiana Fiallos Condo				
Fecha:		Martes, 28 de Junio del 2017				
1 ESPECIFICACIONES GENERALES						
Constante k (Del anillo dinamométrico): Kp/mm de def		1,14		NORMAS:		
Dimensiones de la muestra:				AASHTO:	T-208-70	
Diámetro en cm:	15,50	Volumen en cm ³	7311,83	ASTM:	D-2166	
Sección en cm ² :	188,69	Peso en gramos	8324,00	w%	191,07	
Altura en cm:	38,75	γm gr/cm ³	1,138	γd gr/cm ³	0,3911	
2 EJECUCIÓN DEL ENSAYO						
Def Vert x 10 ⁻² d		P Carga		Deformación unitaria e	Área corregida Ac	Esfuerzo Normal q (Kg/cm ²) P/Ac
in	mm	lb	kg			
0	0,0000	0	0,00	0,0000	188,69	0,000
25	0,6350	20,54	9,34	0,0164	191,84	0,049
50	1,2700	26,73	12,15	0,0328	195,09	0,062
75	1,9050	31,67	14,40	0,0492	198,45	0,073
100	2,5400	37,87	17,21	0,0655	201,93	0,085
150	3,8100	43,47	19,76	0,0983	209,27	0,094
200	5,0800	48,53	22,06	0,1311	217,16	0,102
250	6,3500	53,73	24,42	0,1639	225,67	0,108
300	7,6200	57,23	26,01	0,1966	234,88	0,111
400	10,1600	60,32	27,42	0,2622	255,75	0,107
500	12,7000	60	27,27	0,3277	280,68	0,097
3 GRÁFICO DE LA RELACIÓN ESFUERZO DEFORMACIÓN						
<p style="text-align: center;">RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL SUELO COHESIVO q_u</p>			<p style="text-align: center;">Determinación de la Cohesión en kg/cm²</p>			
4 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS RESISTENTES DEL SUELO						
SERIE X		SERIE Y	Resistencia del suelo	Kg/cm2	Ton/m2	
0		0,11	Compresión simple q _u	0,11	1,07	
400		0,11	Cohesión del suelo "c"	0,05	0,54	
Fs=	3		Compresión simple q _{adm}	0,04	0,36	

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Ensayo N°7. Límites de Atterberg

Límite Líquido

El ensayo de límite líquido, consiste en determinar el contenido de humedad en porcentaje existente en la muestra de suelo, entre el estado plástico y el estado líquido. En el aparato mecánico Copa Casagrande se coloca una muestra, la cual se divide en dos mitades y se procede a dar golpes con una velocidad constante hasta que la muestra fluya y se logre unir, se contabiliza el número de golpes obtenidos. Bajo la norma INEN 691.

Gráfico N° 9 Materiales del ensayo de Límites de Atterberg





Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Gráfico N° 10 Ensayo de Límite Líquido

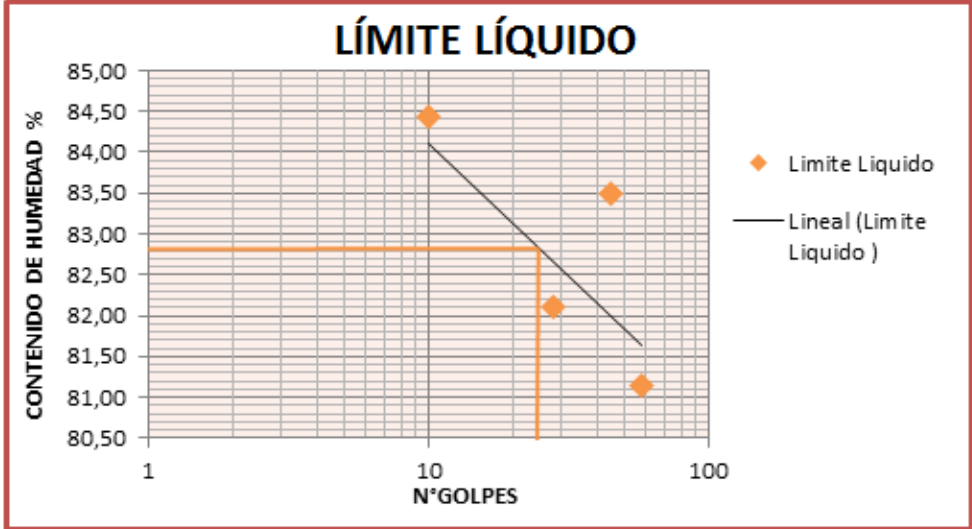


Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 10 Límite Líquido

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 								
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)								
LÍMITE LÍQUIDO								
Origen:	Puyo							
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo							
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016							
Norma:	INEN 691							
RECIPIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8
Golpes	0 – 15		15 -30		30 – 45		45 – 60	
Número de Golpes	10		28		45		58	
P. M. Húmeda + Recipiente	19,4	19,4	20,5	19,8	19,1	18,9	17	18,4
P.M. Seca + Recipiente (Gr)	15,7	15,5	16,4	15,8	15,9	15,3	14,3	15,1
Peso Recipiente (gr) WR	11,3	10,9	11,5	11	12,1	10,8	11	11
Peso del Agua (gr) WW	3,7	3,9	4,1	4	3,2	3,6	2,7	3,3
Peso Muestra Seca (gr) WS	4,4	4,6	4,9	4,8	3,8	4,5	3,3	4,1
Contenido de Humedad (WW / WS) *100	84,09	84,78	83,67	83,33	84,21	80,00	81,82	80,49
Promedio Contenido de Humedad	84,44		83,50		82,11		81,15	

LÍMITE LÍQUIDO



Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Ensayo N°8. Límite Plástico



El ensayo de límite plástico, consiste en determinar el contenido de humedad en porcentaje existente en la muestra de suelo, entre el estado plástico y el estado sólido. Se realiza una mezcla entre agua y suelo, se amasa hasta obtener un cilindro de 3mm de diámetro, con presencia de fisuras o del suelo quebradizo que se genera debido a la pérdida de humedad. Bajo la norma INEN 692.

Gráfico N° 11 Rollo de Muestra



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 11 Límite Plástico

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).					
LÍMITE PLÁSTICO					
Origen:	Puyo				
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo				
Fecha:	Lunes, 6 de Junio del 2016				
Norma:	INEN 692				
MUESTRA	1	2	3	4	5
Peso Muestra Húmeda + El Recipiente $w_m + w_r$	7,4	7,2	7,6	6,8	7,1
Peso Muestra Seca + el Recipiente (Gr) $w_s + w_r$	6,8	6,8	7	6,5	6,7
Peso Recipiente (gr) WR	6	6,2	6,1	6,1	6,1
Peso del Agua (gr) WW	0,6	0,4	0,6	0,3	0,4
Peso Muestra Seca (gr) WS	0,8	0,6	0,9	0,4	0,6
Contenido de Humedad (WW / WS) *100	75,00	66,67	66,67	75,00	66,67
Promedio Límite Plástico	70,00%				
Promedio Límite Líquido	82,8%				
ÍNDICE PLÁSTICO	12,80%				

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Ensayo N° 9 Gravedad Específica

El ensayo de gravedad específica para suelos menores al Tamiz N°4, consiste en colocar una muestra de suelo en estado seco, en un picnómetro; se procede a llenar con agua hasta la marca de aforo y a eliminar los residuos removiendo el picnómetro, esto durante un tiempo establecido; se toman los pesos respectivos para el cálculo.

Para obtener la gravedad específica de los estabilizadores químicos en este caso cal, yeso y cloruro de calcio; se realizó el mismo procedimiento a excepción del agua, se utilizó gasolina para la ejecución del ensayo. Bajo la norma ASTM D: 854-58.

Gráfico N° 12 Picnómetro más cal





Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Gráfico N° 13 Llenado hasta la marca de aforo





Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 12 Gravedad Específica de la Arcilla

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
<i>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).</i>	
GRAVEDAD ESPECÍFICA- ARCILLA	
Origen:	Puyo
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016
Norma:	ASTM D: 854-58
SUELOS MENORES AL TAMIZ N°4	
PARA OBTENER PESOS Y VOLUMENES	
Muestra	Arcilla
Picnómetro número (Pg)	ISO
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	669,9
Pg + agua + suelo (sumergido) Wbws	699,7
Desplazamiento agua Ws + Wbw – Wbws	17,5
Temperatura del agua y suelo en °C	22,5
Factor de Corrección por temperatura = K	0,9978
PARA OBTENER LOS SÓLIDOS	
Recipiente número	1
Recipiente + peso suelo seco	195,7
Peso del recipiente	148,4
Peso del suelo seco Ws	47,3
$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$	2,70



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 13 Gravedad Específica de la Cal

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
<i>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).</i>	
DENSIDAD REAL DE LA CAL	
Origen:	Puyo
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016
Norma:	ASTM D: 854-58
MUESTRA	CAL
Masa del frasco(m1)	163,1
Masa frasco + cal (m2)	210,5
Masa frasco + cal + gasolina(m3)	565,8
Masa gasolina añadida (m3 – m2) (M4)	355,3
Masa de frasco + 500cc de gasolina (m5)	533,6
Masa de 500cc de gasolina (m5 – m1) (M6)	370,5
Densidad de la gasolina (m6 / 500cc)	0,741
Masa de gasolina desalojada por el cal (m6 – m4)	15,2
Masa del cal(m2-m1)	47,4
Volumen de gasolina desalojada = volumen de cal añadido (m7 /dg)	20,51
DENSIDAD DEL CAL (mc /Vc)	2,31

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 14 Gravedad Específica del Yeso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
<i>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).</i>	
DENSIDAD REAL DEL YESO	
Origen:	Puyo
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016
Norma:	ASTM D: 854-58
PROCESO	MASA
Masa del frasco(m1)	153,9
Masa frasco + yeso (m2)	201,5
Masa frasco + yeso + gasolina(m3)	564,85
Masa gasolina 41ñadida (m3 – m2) (M4)	363,35
Masa de frasco + 500cc de gasolina (m5)	532,8
Masa de 500cc de gasolina (m5 – m1) (M6)	378,9
Densidad de la gasolina (m6 / 500cc)	0,7578
Masa de gasolina desalojada por el yeso (m6 – m4)	15,55
Masa del yeso(m2-m1)	47,6
Volumen de gasolina desalojada = volumen de cal añadido (m7 /dg)	20,52
DENSIDAD DEL YESO (mc /Vc)	2,32

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 15 Gravedad Específica del Cloruro de Calcio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
<i>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).</i>	
DENSIDAD REAL DEL CLORURO DE CALCIO	
Origen:	Puyo
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016
Norma:	ASTM D: 854-58
MUESTRA	CaCl ₂
Masa del frasco(m1)	174,2
Masa frasco + cloruro de calcio (m2)	224,2
Masa frasco + cloruro de calcio + gasolina(m3)	566,1
Masa gasolina añadida (m3 – m2) (M4)	341,9
Masa de frasco + 500cc de gasolina (m5)	532,8
Masa de 500cc de gasolina (m5 – m1) (M6)	358,6
Densidad de la gasolina (m6 / 500cc)	0,7172
Masa de gasolina desalojada por el cloruro de calcio(m6 – m4)	16,7
Masa del cal(m2-m1)	50
Volumen de gasolina desalojada = volumen de cal añadido (m7 /dg)	23,28
DENSIDAD DEL CLORURO DE CALCIO (mc /Vc)	2,15

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Ensayo N°10. Contenido de Humedad



El ensayo de contenido de humedad, consiste en determinar la cantidad de agua que posee la muestra a prueba, a través de un horno de secado. Se realizó el ensayo para cada uno de los porcentajes de estabilización.

Gráfico N° 14 Muestra para contenido de humedad




Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 16 Contenido de Humedad

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)	
CONTENIDO DE HUMEDAD SUELO NATURAL	
Origen:	Puyo
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016
Norma:	ASTM D 2216-10
TIPO DE SUELO	NATURAL
Recipiente número	1 2
Peso húmedo + recipiente Wm+rec	88,9 85,3
Peso seco + recipiente Ws+p.r	64,1 62,1
Peso recipiente p.r	26,2 25,2
Peso del agua W	24,8 23,2
Peso de los sólidos Ws	37,9 36,9
Contenido de humedad %	65,44 62,87
Contenido de humedad promedio %	64,15

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 17 Contenido de Humedad de Conjunto de Arcilla-Cal


		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).							
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CONJUTO (ARCILLA-CAL)							
Origen:	Puyo						
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo						
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016						
Norma:	ASTM D 2216-10						
ARCILLA – CAL		5%		10%		15%	
Recipiente número		1	2	3	4	5	6
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	85,9	81,1	93,4	94,9	103,1	103,4
Peso seco + recipiente	Ws+rec	57,3	54	60,2	61,5	65,8	66,5
Peso recipiente	rec	26,3	24,1	25,7	24,8	24,8	26,1
Peso del agua	W	28,6	27,1	33,2	33,4	37,3	36,9
Peso de los sólidos	Ws	31	29,9	34,5	36,7	41	40,4
Contenido de humedad %		92,26	90,64	96,23	91,01	90,98	91,34
Contenido de humedad promedio	%	91,45%		93,62%		91,16%	

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 18 Contenido de Humedad del Conjunto de Arcilla-Yeso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).						
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CONJUTO (ARCILLA-YESO)						
Origen:	Puyo					
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo					
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016					
Norma:	ASTM D 2216-10					
ARCILLA- YESO	5%		10%		15%	
Recipiente número	1	2	3	4	5	6
Peso húmedo + recipiente (Wm+rec)	99,3	100	93,6	102,1	94,2	94,6
Peso seco + recipiente (Ws+rec)	69,7	69,1	64,3	70,3	60,1	61,2
Peso recipiente rec	26,7	23,1	22,8	25,6	23,4	22,7
Peso del agua W	29,6	30,9	29,3	31,8	34,1	33,4
Peso de los sólidos Ws	43	46	41,5	44,7	36,7	38,5
Contenido de humedad %	68,84	67,17	70,60	71,14	92,92	86,75
Contenido de humedad promedio %	68,01%		70,87%		89,83%	

Tabla N° 19 Contenido de Humedad del Conjunto Arcilla-Cloruro de Calcio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).						
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CONJUTO (ARCILLA-CaCl ₂)						
Origen:	Puyo					
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo					
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016					
Norma:	ASTM D 2216-10					
ARCILLA-CLORURO DE CALCIO	5%		10%		15%	
Recipiente número	1	2	3	4	5	6
Peso húmedo + recipiente (Wm+rec)	97,5	91	88,3	88,4	85,6	87,6
Peso seco + recipiente (Ws+rec)	67,1	63,4	58,4	57,9	58,1	59,3
Peso recipiente rec	25,2	26,4	26,2	24,8	23,1	22,9
Peso del agua W	30,4	27,6	29,9	30,5	27,5	28,3
Peso de los sólidos Ws	41,9	37	32,2	33,1	35	36,4
Contenido de humedad %	72,55	74,59	92,86	92,15	78,57	77,75
Contenido de humedad promedio	73,57%		92,50%		78,16%	

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Ensayo N° 11. Método de Estabilización química

La estabilización de un suelo cambia las características de las propiedades del mismo, con el fin de alcanzar una mayor resistencia y estabilidad. El trabajo realizado es el de estabilizar un suelo cohesivo en este caso arcilla mediante el uso de cal, yeso y cloruro de calcio.

El ensayo consiste en seleccionar una muestra de suelo arcilloso ésta debe estar previamente seca, se mezcla la muestra más agua y un porcentaje definido de estabilizador químico (5% ,10% y 15%), luego se procede a colocar una tabla rotulada en la máquina Cymba-Ram, en la cual se añade la mezcla realizada para compactarla; se toman las dimensiones y peso del bloque para los cálculos respectivo; y finalmente se deja secar los bloques en un sitio seco durante 7, 14, y 21 días para luego ser ensayados.

Gráfico N° 15 Mezcla de los materiales



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Gráfico N° 16 Compactación de la mezcla



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Gráfico N° 17 Compactación de la mezcla



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Gráfico N° 18 Bloques en curado



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 20 Arcilla-Cal 5% (7días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).			
ARCILLA – CAL 5% (7DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes, 6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	5%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,157
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,604
Contenido de Humedad w%		%	91,45
Relación de Vacíos e		Natural	3,154
Porosidad n%		%	75,924
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	72,788
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	27,212
Carga Máxima q _{máx}		Kg/cm ²	4,840
Carga Admisible q _{adm}		Kg/cm ²	1,613

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 21 Arcilla-Cal 10% (7días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).			
ARCILLA – CAL 10% (7DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	5%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,309
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,676
Contenido de Humedad w%		%	93,62
Relación de Vacíos e		Natural	2,713
Porosidad n%		%	73,071
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	86,600
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	13,400
Carga Máxima q _{máx}		Kg/cm ²	3,994
Carga Admisible q _{adm}		Kg/cm ²	1,331

Tabla N° 22 Arcilla-Cal 15% (7días)



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).			
ARCILLA – CAL 15% (7DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES INDICE	15%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,267
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,663
Contenido de Humedad w%		%	91,16
Relación de Vacíos e		natural	2,787
Porosidad n%		%	73,592
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	82,108
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	17,892
Carga Máxima q _{máx}		Kg/cm ²	8,266
Carga Admisible q _{adm}		Kg/cm ²	2,755

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 23 Arcilla-Cal 5% (14días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)			
ARCILLA – CAL 5% (14DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	5%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,236
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,646
Contenido de Humedad w%		%	91,45
Relación de Vacíos e		natural	2,887
Porosidad n%		%	74,275
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	79,499
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	20,501
Carga Máxima q _{máx}		Kg/cm ²	5,420
Carga Admisible q _{adm}		Kg/cm ²	1,807

Tabla N° 24 Arcilla-Cal 10% (14días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).			
ARCILLA – CAL 10% (14DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	10%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,174
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,606
Contenido de Humedad w%		%	93,62
Relación de Vacíos e		Natural	3,140
Porosidad n%		%	75,843
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	74,845
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	25,155
Carga Máxima q _{máx}		Kg/cm ²	4,640
Carga Admisible q _{adm}		Kg/cm ²	1,547

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 25 Arcilla-Cal 15% (14días)



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
<i>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).</i>			
ARCILLA – CAL 15% (14DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	15%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,254
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,656
Contenido de Humedad w%		%	91,16
Relación de Vacíos e		Natural	2,825
Porosidad n%		%	73,856
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	80,997
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	19,003
Carga Máxima q _{máx}		Kg/cm ²	5,262
Carga Admisible q _{adm}		Kg/cm ²	1,754

Tabla N° 26 Arcilla-Cal 5% (21días)



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
<i>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).</i>			
ARCILLA – CAL 5% (21DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	5%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,332
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,696
Contenido de Humedad w%		%	91,45
Relación de Vacíos e		natural	2,608
Porosidad n%		%	72,282
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	88,023
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	11,977
Carga Máxima q _{máx}		Kg/cm ²	3,790
Carga Admisible q _{adm}		Kg/cm ²	1,263

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 27 Arcilla-Cal 10% (21días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)			
ARCILLA – CAL 10% (21DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	10%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,373
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,709
Contenido de Humedad w%		%	93,62
Relación de Vacíos e		Natural	2,541
Porosidad n%		%	71,756
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	92,494
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	7,506
Carga Máxima q _{máx}		Kg/cm ²	2,438
Carga Admisible q _{adm}		Kg/cm ²	0,812

Tabla N° 28 Arcilla-Cal 15% (21días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).			
ARCILLA – CAL 15% (21DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	15%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,391
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,727
Contenido de Humedad w%		%	91,16
Relación de Vacíos e		natural	2,451
Porosidad n%		%	71,019
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	93,372
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	6,628
Carga Máxima q _{máx}		Kg/cm ²	8,353
Carga Admisible q _{adm}		Kg/cm ²	2,784

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 29 Arcilla-Yeso 5% (7días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
<i>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)</i>		
ARCILLA – YESO 5% (7DÍAS)		
Origen:	Puyo	
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo	
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016	
Norma:	ASTM: D 2167	
PROPIEDADES ÍNDICE 5%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m	gr/cm ³	1,270
Densidad Seca γ_d	gr/cm ³	0,756
Contenido de Humedad w%	%	68,01
Relación de Vacíos e	natural	2,319
Porosidad n%	%	69,874
Grado de Saturación de Agua Gw%	%	73,599
Grado de Saturación de Aire Ga%	%	26,401
Carga Máxima $q_{m\acute{a}x}$	Kg/cm ²	6,158
Carga Admisible q_{adm}	Kg/cm ²	2,052

Tabla N° 30 Arcilla-Yeso 10% (7días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
<i>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).</i>		
ARCILLA – YESO 10% (7DÍAS)		
Origen:	Puyo	
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo	
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016	
Norma:	ASTM: D 2167	
PROPIEDADES ÍNDICE 10%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m	gr/cm ³	1,208
Densidad Seca γ_d	gr/cm ³	0,707
Contenido de Humedad w%	%	70,87
Relación de Vacíos e	natural	2,551
Porosidad n%	%	71,839
Grado de Saturación de Agua Gw%	%	69,730
Grado de Saturación de Aire Ga%	%	30,270
Carga Máxima $q_{m\acute{a}x}$	Kg/cm ²	4,079
Carga Admisible q_{adm}	Kg/cm ²	1,359

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 31 Arcilla-Yeso 15%(7días)


 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).			
ARCILLA – YESO 15% (5DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	15%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,432
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,755
Contenido de Humedad w%		%	89,83
Relación de Vacíos e		Natural	2,326
Porosidad n%		%	69,936
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	96,927
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	3,073
Carga Máxima q _{máx}		Kg/cm ²	7,287
Carga Admisible q _{adm}		Kg/cm ²	2,429

Tabla N° 32 Arcilla-Yeso 5%(14 días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).			
ARCILLA – YESO 5% (14DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	5%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,258
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,749
Contenido de Humedad w%		%	68,01
Relación de Vacíos e		natural	2,352
Porosidad n%		%	70,168
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	72,576
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	27,424
Carga Máxima q _{máx}		Kg/cm ²	4,814
Carga Admisible q _{adm}		Kg/cm ²	1,605

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 33 Arcilla-Yeso 10%(14 días)



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)		
ARCILLA – YESO 10% (14DÍAS)		
Origen:	Puyo	
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo	
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016	
Norma:	ASTM: D 2167	
PROPIEDADES ÍNDICE 10%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m	gr/cm ³	1,136
Densidad Seca γ_d	gr/cm ³	0,665
Contenido de Humedad w%	%	70,87
Relación de Vacíos e	Natural	2,774
Porosidad n%	%	73,503
Grado de Saturación de Agua Gw%	%	64,124
Grado de Saturación de Aire Ga%	%	35,876
Carga Máxima $q_{m\acute{a}x}$	Kg/cm ²	3,897
Carga Admisible q_{adm}	Kg/cm ²	1,299

Tabla N° 34 Arcilla-Yeso 15%(14 días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)		
ARCILLA – YESO 15% (14DÍAS)		
Origen:	Puyo	
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo	
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016	
Norma:	ASTM: D 2167	
PROPIEDADES ÍNDICE 15%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m	gr/cm ³	1,244
Densidad Seca γ_d	gr/cm ³	0,655
Contenido de Humedad w%	%	89,83
Relación de Vacíos e	natural	2,831
Porosidad n%	%	73,894
Grado de Saturación de Agua Gw%	%	79,658
Grado de Saturación de Aire Ga%	%	20,342
Carga Máxima $q_{m\acute{a}x}$	Kg/cm ²	8,605
Carga Admisible q_{adm}	Kg/cm ²	2,868

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 35 Arcilla-Yeso 5%(21 días)



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).				
ARCILLA – YESO 5% (21DÍAS)				
Origen:	Puyo			
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo			
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016			
Norma:	ASTM: D 2167			
PROPIEDADES	ÍNDICE	5%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m			gr/cm ³	1,280
Densidad Seca γ_d			gr/cm ³	0,762
Contenido de Humedad w%			%	68,01
Relación de Vacíos e			Natural	2,294
Porosidad n%			%	69,642
Grado de Saturación de Agua Gw%			%	74,412
Grado de Saturación de Aire Ga%			%	25,588
Carga Máxima q _{máx}			Kg/cm ²	4,213
Carga Admisible q _{adm}			Kg/cm ²	1,404

Tabla N° 36 Arcilla-Yeso 10%(21 días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).				
ARCILLA – YESO 10% (21DÍAS)				
Origen:	Puyo			
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo			
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016			
Norma:	ASTM: D 2167			
PROPIEDADES	ÍNDICE	10%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m			gr/cm ³	1,298
Densidad Seca γ_d			gr/cm ³	0,760
Contenido de Humedad w%			%	70,87
Relación de Vacíos e			Natural	2,305
Porosidad n%			%	69,740
Grado de Saturación de Agua Gw%			%	77,183
Grado de Saturación de Aire Ga%			%	22,817
Carga Máxima q _{máx}			Kg/cm ²	7,700
Carga Admisible q _{adm}			Kg/cm ²	2,567

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 37 Arcilla-Yeso 15%(21 días)



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
<i>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)</i>		
ARCILLA – CAL 15% (21DÍAS)		
Origen:	Puyo	
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo	
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016	
Norma:	ASTM: D 2167	
PROPIEDADES ÍNDICE 15%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m	gr/cm ³	1,364
Densidad Seca γ_d	gr/cm ³	0,718
Contenido de Humedad w%	%	89,93
Relación de Vacíos e	Natural	2,496
Porosidad n%	%	71,396
Grado de Saturación de Agua Gw%	%	90,435
Grado de Saturación de Aire Ga%	%	9,565
Carga Máxima q _{máx}	Kg/cm ²	10,465
Carga Admisible q _{adm}	Kg/cm ²	3,488

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Tabla N° 38 Arcilla-Cloruro de Calcio 5%(7 días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)			
ARCILLA – CaCl₂ 5% (7DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE 5%	UNIDADES	RESULTADOS	
Densidad de la Masa γ_m	gr/cm ³	1,421	
Densidad Seca γ_d	gr/cm ³	0,819	
Contenido de Humedad w%	%	73,57	
Relación de Vacíos e	natural	1,969	
Porosidad n%	%	66,313	
Grado de Saturación de Agua Gw%	%	90,816	
Grado de Saturación de Aire Ga%	%	9,184	
Carga Máxima q _{máx}	Kg/cm ²	4,509	
Carga Admisible q _{adm}	Kg/cm ²	1,503	

Tabla N° 39 Arcilla-Cloruro de Calcio 10%(7 días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)			
ARCILLA – CAL 10% (14DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE 5%	UNIDADES	RESULTADOS	
Densidad de la Masa γ_m	gr/cm ³	1,432	
Densidad Seca γ_d	gr/cm ³	0,744	
Contenido de Humedad w%	%	92,5	
Relación de Vacíos e	Natural	2,268	
Porosidad n%	%	69,396	
Grado de Saturación de Agua Gw%	%	99,125	
Grado de Saturación de Aire Ga%	%	0,875	
Carga Máxima q _{máx}	Kg/cm ²	3,195	
Carga Admisible q _{adm}	Kg/cm ²	1,065	

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 40 Arcilla-Cloruro de Calcio 15%(7 días)



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)			
ARCILLA – CaCl ₂ 15% (7DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	15%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,470
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,825
Contenido de Humedad w%		%	78,16
Relación de Vacíos e		Natural	1,945
Porosidad n%		%	66,045
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	97,644
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	2,356
Carga Máxima $q_{m\acute{a}x}$		Kg/cm ²	2,658
Carga Admisible q_{adm}		Kg/cm ²	0,886

Tabla N° 41 Arcilla-Cloruro de Calcio 5%(14días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)			
ARCILLA – CaCl ₂ 5% (14DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	5%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,390
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,801
Contenido de Humedad w%		%	73,57
Relación de Vacíos e		Natural	2,035
Porosidad n%		%	67,055
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	87,834
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	12,166
Carga Máxima $q_{m\acute{a}x}$		Kg/cm ²	5,952
Carga Admisible q_{adm}		Kg/cm ²	1,984

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 42 Arcilla-Cloruro de Calcio 10%(14días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).		
ARCILLA – CaCl ₂ 10% (14DÍAS)		
Origen:	Puyo	
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo	
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016	
Norma:	ASTM: D 2167	
PROPIEDADES ÍNDICE 10%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m	gr/cm ³	1,416
Densidad Seca γ_d	gr/cm ³	0,735
Contenido de Humedad w%	%	92,5
Relación de Vacíos e	natural	2,305
Porosidad n%	%	69,739
Grado de Saturación de Agua Gw%	%	97,534
Grado de Saturación de Aire Ga%	%	2,466
Carga Máxima q _{máx}	Kg/cm ²	4,260
Carga Admisible q _{adm}	Kg/cm ²	1,420

Tabla N° 43 Arcilla-Cloruro de Calcio 10%(14días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)		
ARCILLA – CaCl ₂ 15% (14DÍAS)		
Origen:	Puyo	
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo	
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016	
Norma:	ASTM: D 2167	
PROPIEDADES ÍNDICE 15%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m	gr/cm ³	1,482
Densidad Seca γ_d	gr/cm ³	0,832
Contenido de Humedad w%	%	78,16
Relación de Vacíos e	natural	1,921
Porosidad n%	%	65,763
Grado de Saturación de Agua Gw%	%	98,879
Grado de Saturación de Aire Ga%	%	1,121
Carga Máxima q _{máx}	Kg/cm ²	4,134
Carga Admisible q _{adm}	Kg/cm ²	1,378

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 44 Arcilla-Cloruro de Calcio 5%(21 días)





 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).			
ARCILLA – CAL 5% (21DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	5%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,377
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,793
Contenido de Humedad w%		%	73,57
Relación de Vacíos e		Natural	2,063
Porosidad n%		%	67,356
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	86,643
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	13,357
Carga Máxima $q_{máx}$		Kg/cm ²	3,725
Carga Admisible q_{adm}		Kg/cm ²	1,242

Tabla N° 45 Arcilla-Cloruro de Calcio 10%(21 días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO)			
ARCILLA – CaCl ₂ 10% (21DÍAS)			
Origen:	Puyo		
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo		
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016		
Norma:	ASTM: D 2167		
PROPIEDADES ÍNDICE	10%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m		gr/cm ³	1,367
Densidad Seca γ_d		gr/cm ³	0,710
Contenido de Humedad w%		%	92,5
Relación de Vacíos e		natural	2,422
Porosidad n%		%	70,781
Grado de Saturación de Agua Gw%		%	92,790
Grado de Saturación de Aire Ga%		%	7,210
Carga Máxima $q_{máx}$		Kg/cm ²	6,130
Carga Admisible q_{adm}		Kg/cm ²	2,043

Fuente.- Jéssica Tatiana Fiallos Condo

Tabla N° 46 Arcilla-Cloruro de Calcio 15% (21 días)

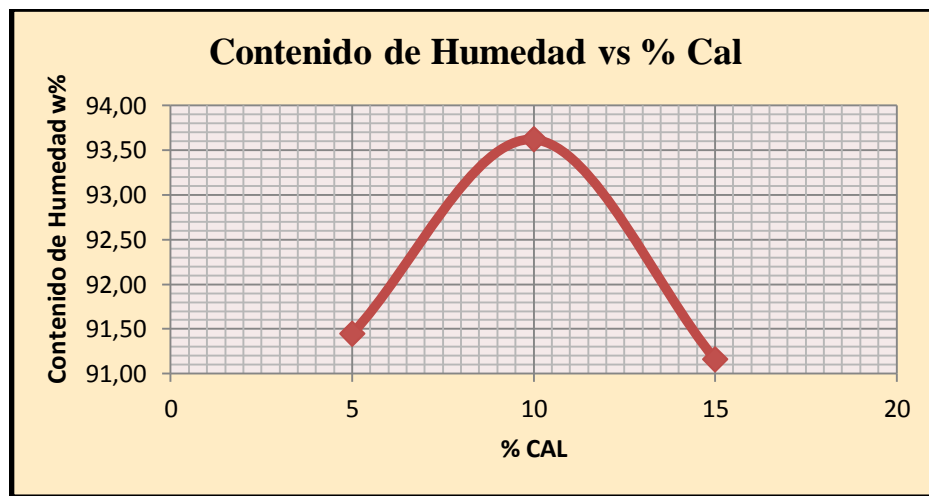
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
<i>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO (ARCILLOSO) POR TRES MÉTODOS QUÍMICOS CAL, CLORURO DE CALCIO Y SULFATO DE CALCIO (YESO).</i>		
ARCILLA – CaCl₂ 15% (21DÍAS)		
Origen:	Puyo	
Ensayado por:	Jéssica Tatiana Fiallos Condo	
Fecha:	Lunes,6 de Junio del 2016	
Norma:	ASTM: D 2167	
PROPIEDADES ÍNDICE 15%	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad de la Masa γ_m	gr/cm ³	1,399
Densidad Seca γ_d	gr/cm ³	0,785
Contenido de Humedad w%	%	78,16
Relación de Vacíos e	natural	2,095
Porosidad n%	%	67,685
Grado de Saturación de Agua Gw%	%	90,678
Grado de Saturación de Aire Ga%	%	9,322
Carga Máxima q _{máx}	Kg/cm ²	5,500
Carga Admisible q _{adm}	Kg/cm ²	1,833

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

4.1.3 Representación de propiedades índice

4.1.3.1 Estabilización Arcilla- Cal

Gráfico N° 19 Contenido de Humedad vs % Cal



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Interpretación.- En el Gráfico N° 19, se observa el comportamiento que presenta el contenido de humedad frente a cada porcentaje de cal, donde se determina que en los porcentajes 5% y 15 % tienden a bajar mientras que se considera el 10 % de cal con el contenido más alto de humedad.

Gráfico N° 20 Densidad de la Masa vs % Cal

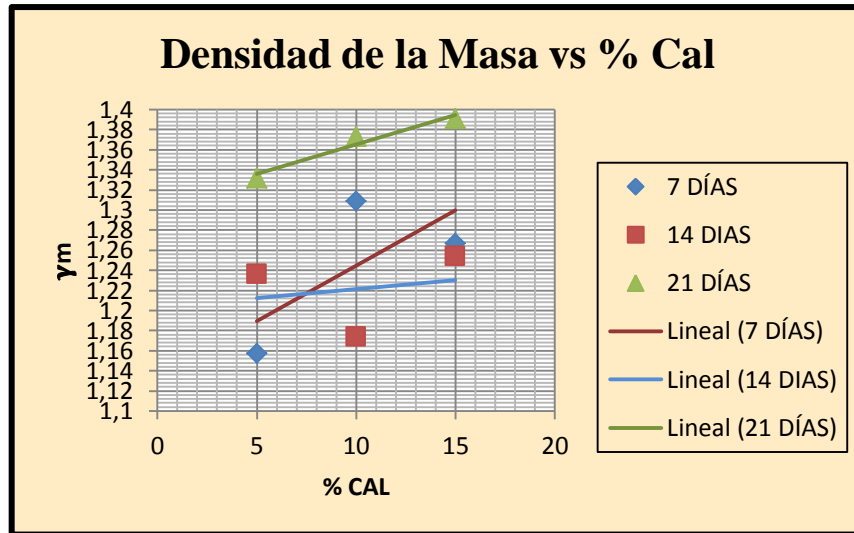
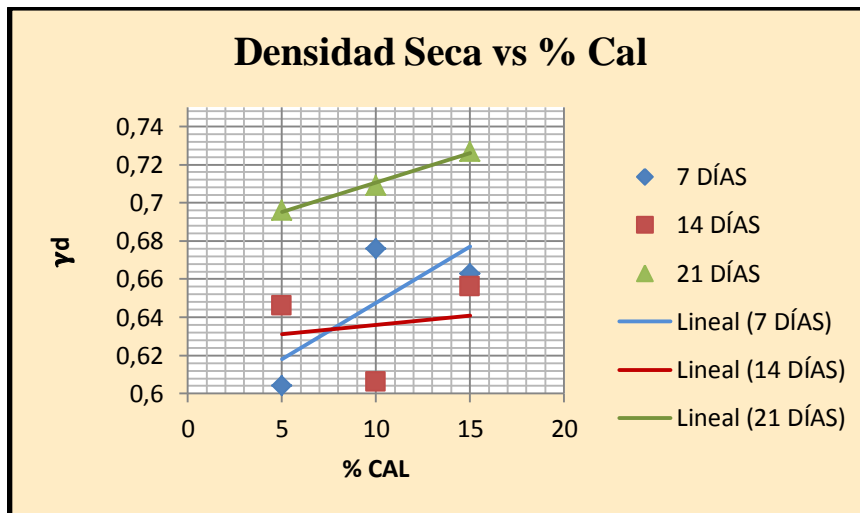


Gráfico N° 21 Densidad Seca vs % Cal



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Gráfico N° 22 Relación de Vacíos vs % Cal

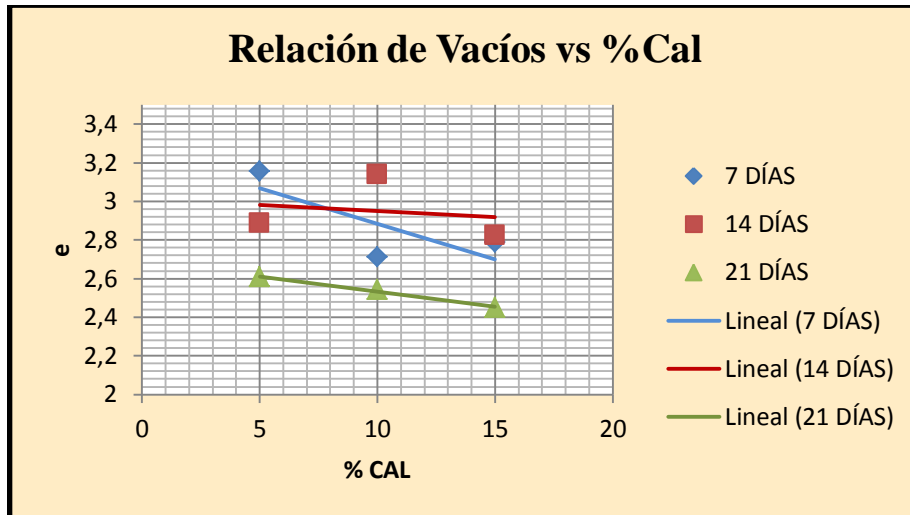
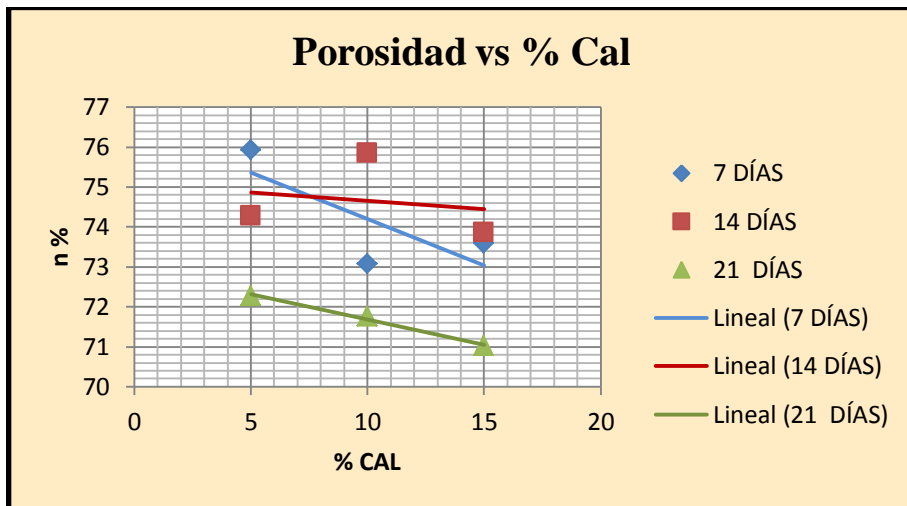


Gráfico N° 23 Porosidad vs % Cal



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Gráfico N° 24 Grado de Saturación de Agua vs % Cal

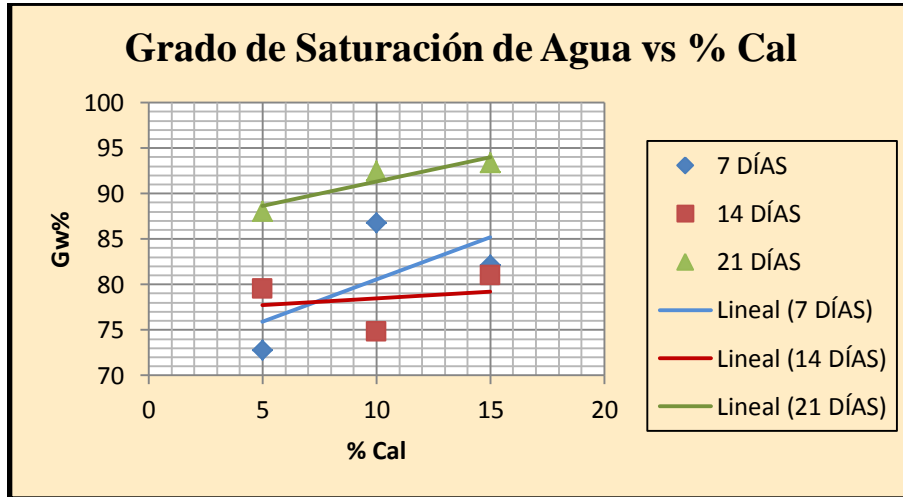
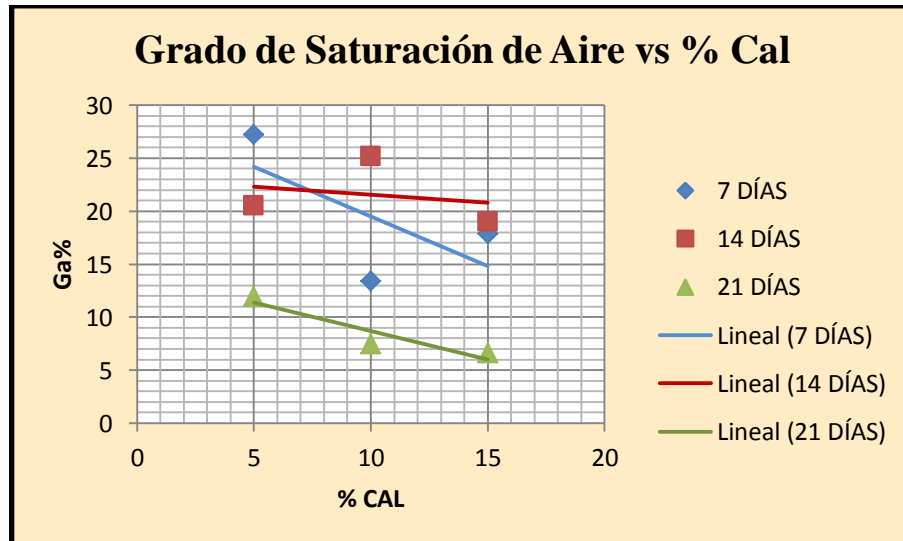


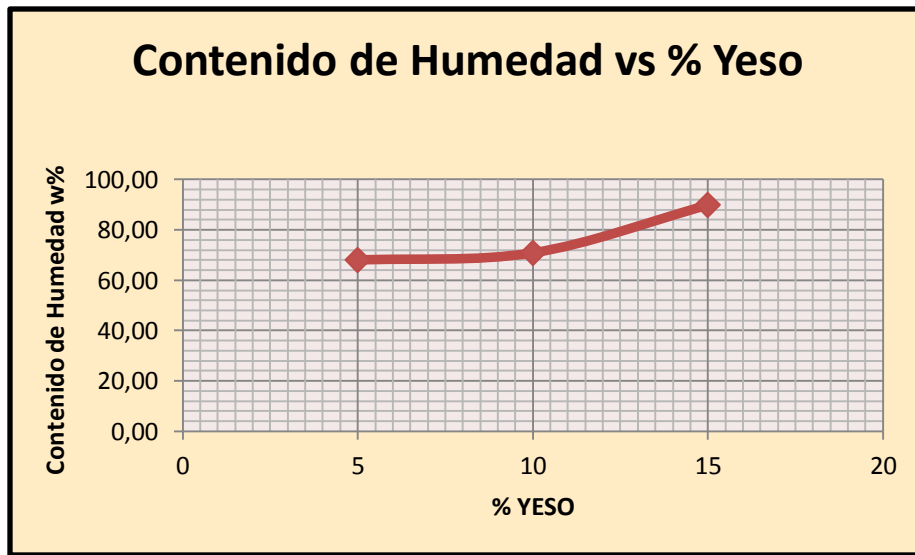
Gráfico N° 25 Grado de Saturación de Aire vs % Cal



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

4.1.3.2 Estabilización Arcilla- Yeso

Gráfico N° 26 Contenido de Humedad vs % Yeso



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Interpretación.- Se establece mediante la Gráfica N °26 que el valor de contenido de humedad con respecto al porcentaje de yeso, presenta una curva ascendente en cuando al aumento por ende se toma un promedio para el análisis respectivo.

Gráfico N° 27 Densidad de la Masa vs % Yeso

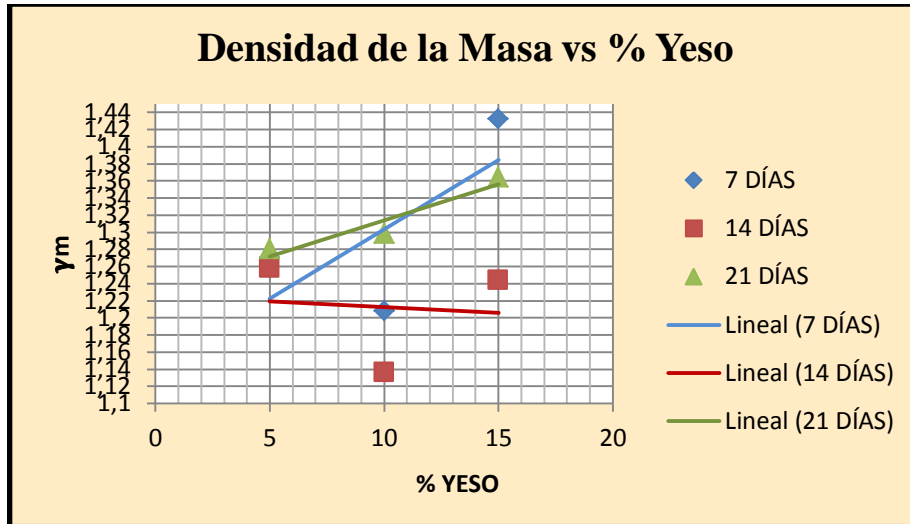
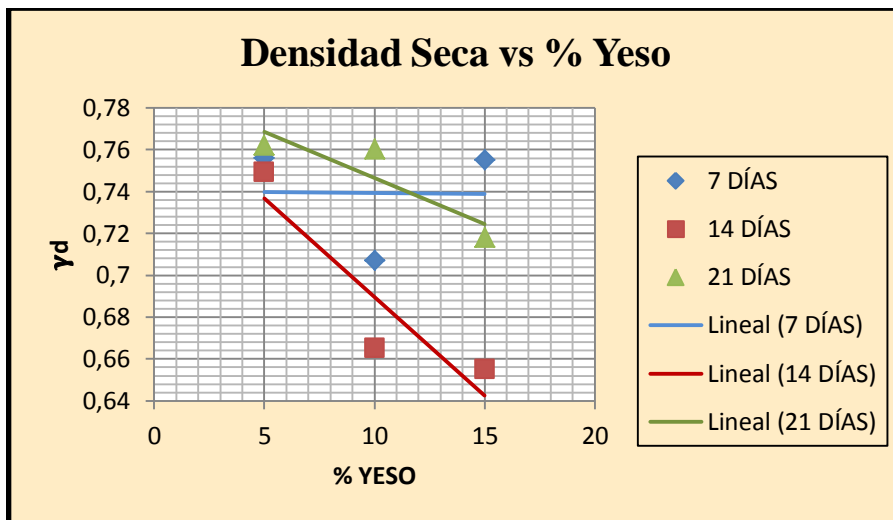


Gráfico N° 28 Densidad Seca vs % Yeso



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Gráfico N° 29 Relación de Vacíos vs % Yeso

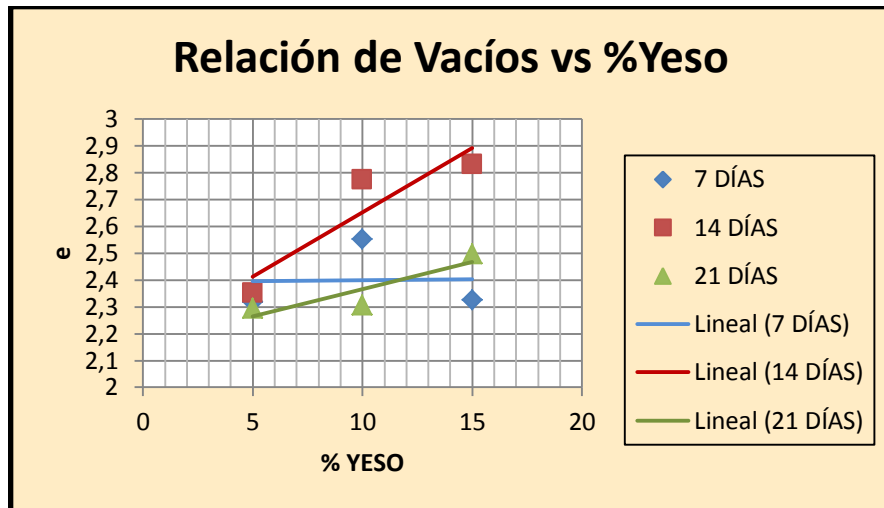
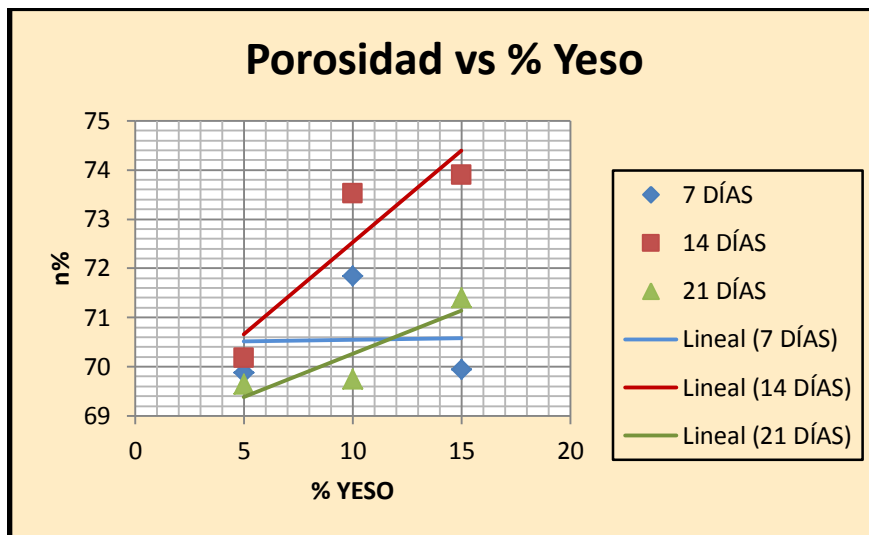


Gráfico N° 30 Porosidad vs % Yeso



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Gráfico N° 31 Grado de Saturación de Agua vs % Yeso

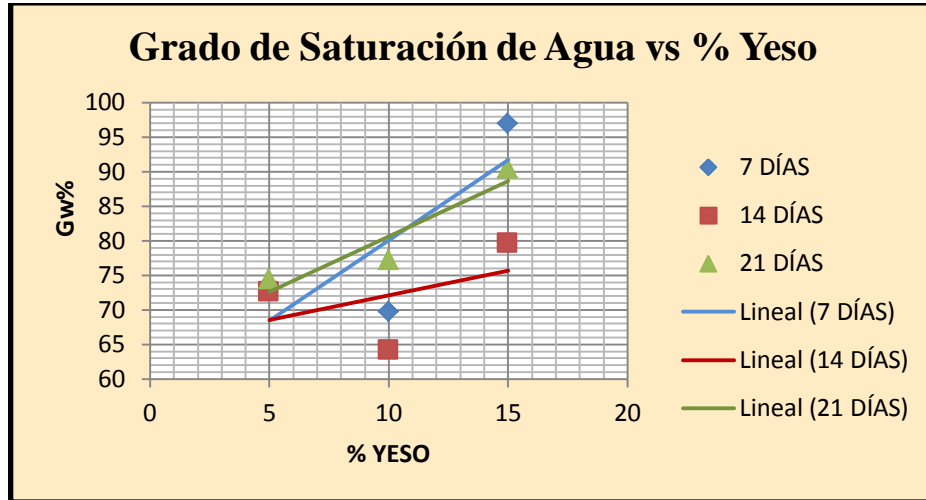
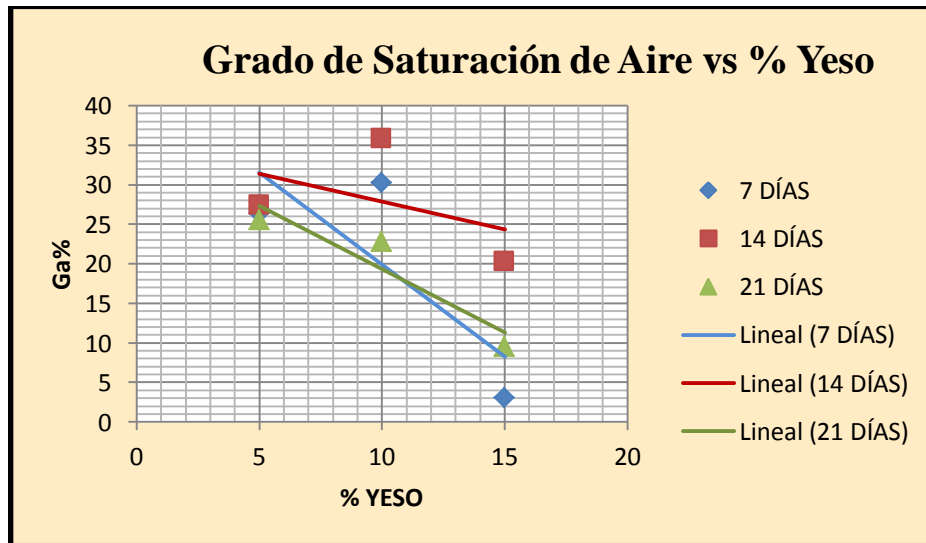


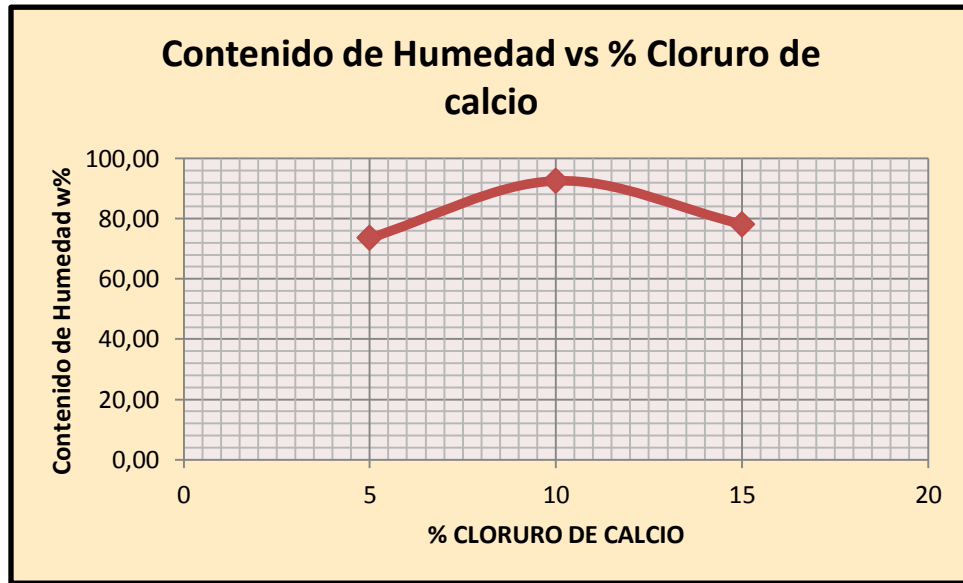
Gráfico N° 32 Grado de Saturación de Aire vs % Yeso



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

4.1.3.3 Estabilización Arcilla – Cloruro de Calcio

Gráfico N° 33 Contenido de Humedad vs % Cloruro de Calcio



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Interpretación.- Mediante la gráfica N° 33 se determina que el valor de contenido de humedad para el porcentaje de cloruro de calcio, en el 10% se considera como el óptimo.

Gráfico N° 34 Densidad de la Masa vs % CaCl₂

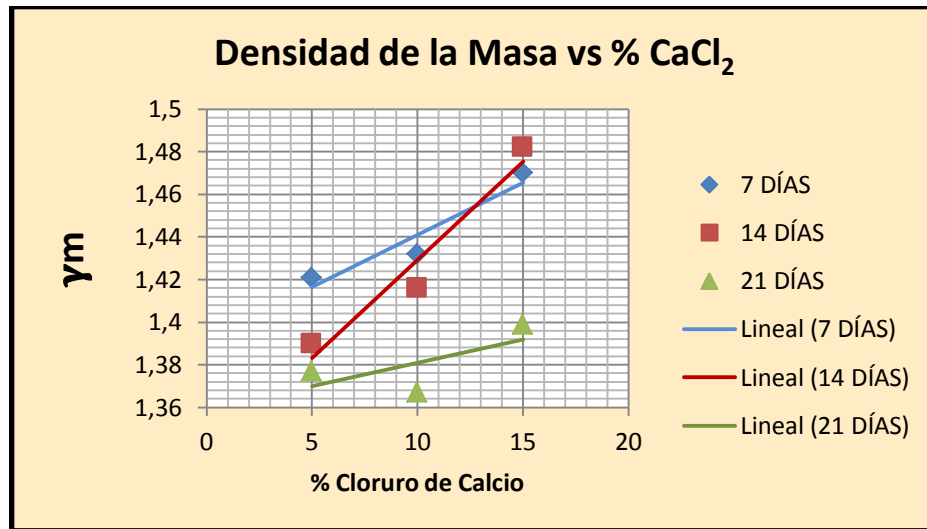
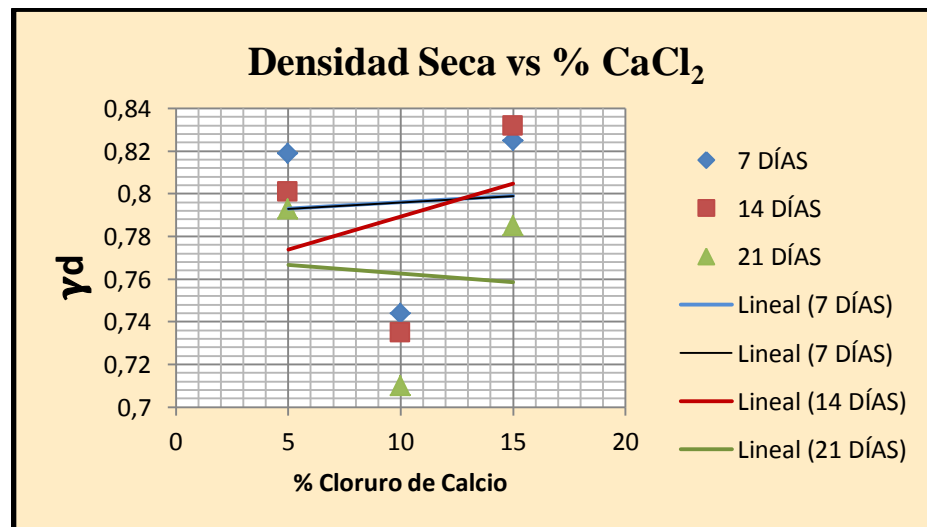


Gráfico N° 35 Densidad Seca vs % CaCl₂



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Gráfico N° 36 Relación de Vacíos vs % CaCl₂

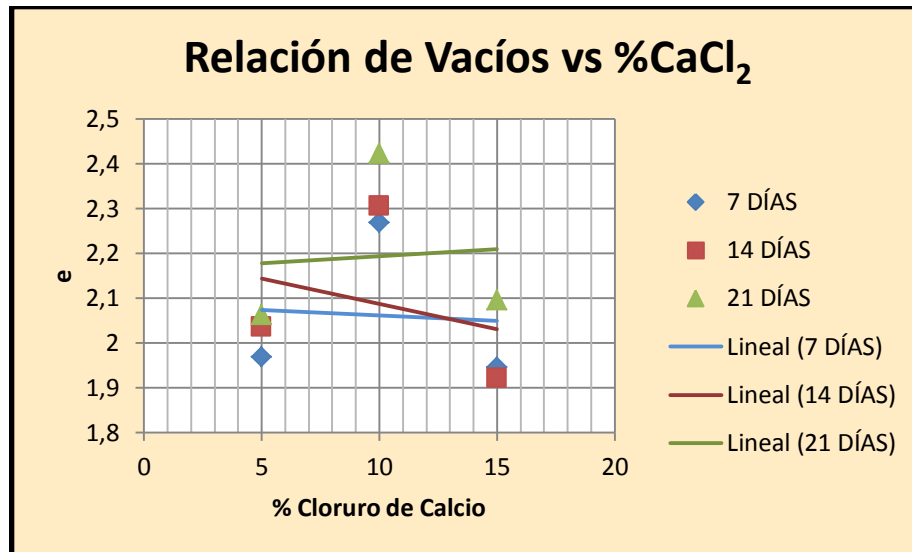
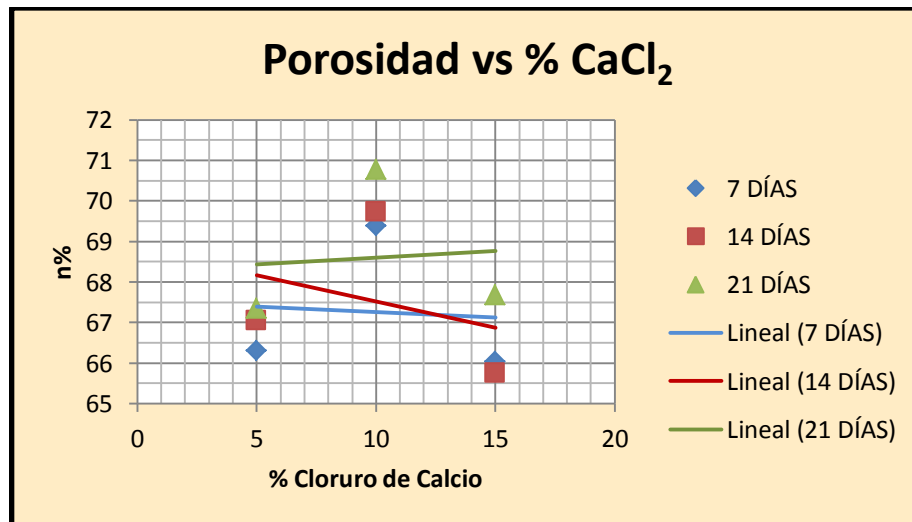


Gráfico N° 37 Porosidad vs % CaCl₂



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Gráfico N° 38 Grado de Saturación de Agua vs % CaCl₂

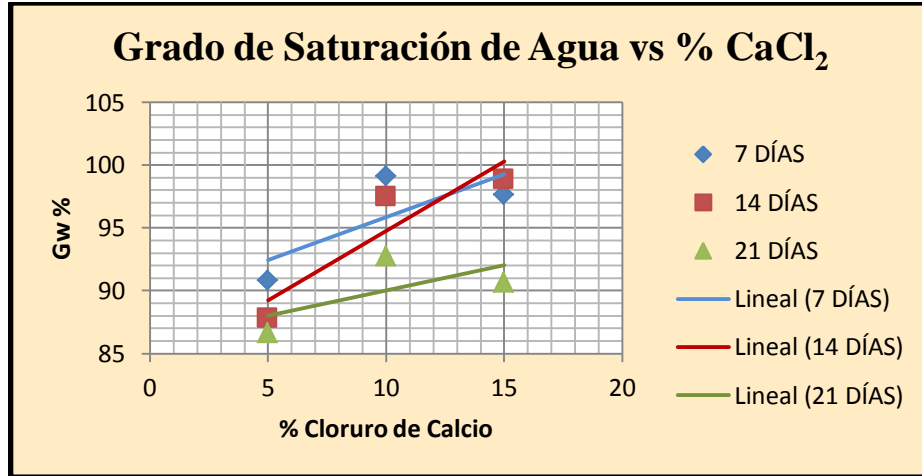
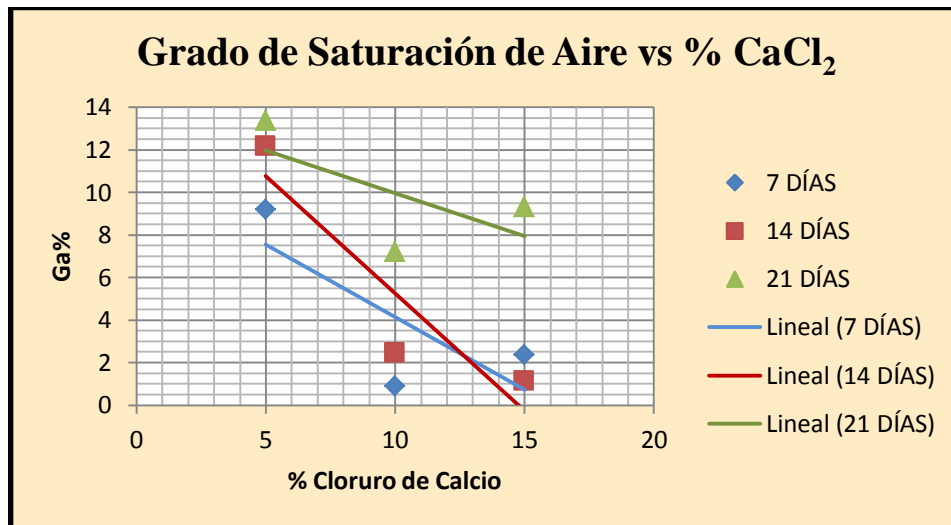


Gráfico N° 39 Grado de Saturación de Aire vs % CaCl₂

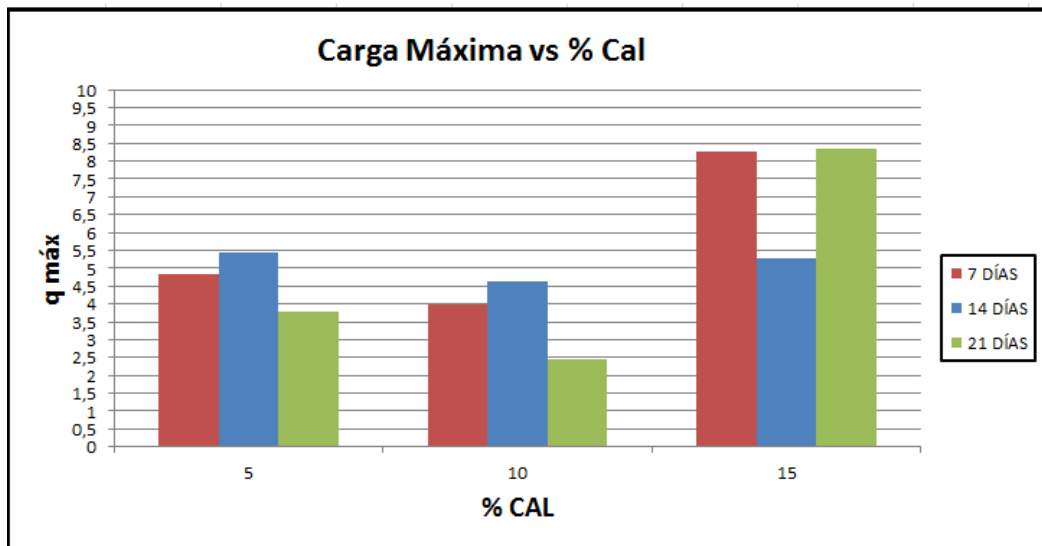


Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

4.1.3.4 Carga Máxima y Admisible

Los resultados obtenidos en el ensayo de compresión de los bloques se representa a través de los siguientes gráficos donde se observa la carga máxima versus los porcentajes de cada estabilizador químico correspondientes a los días de curado.

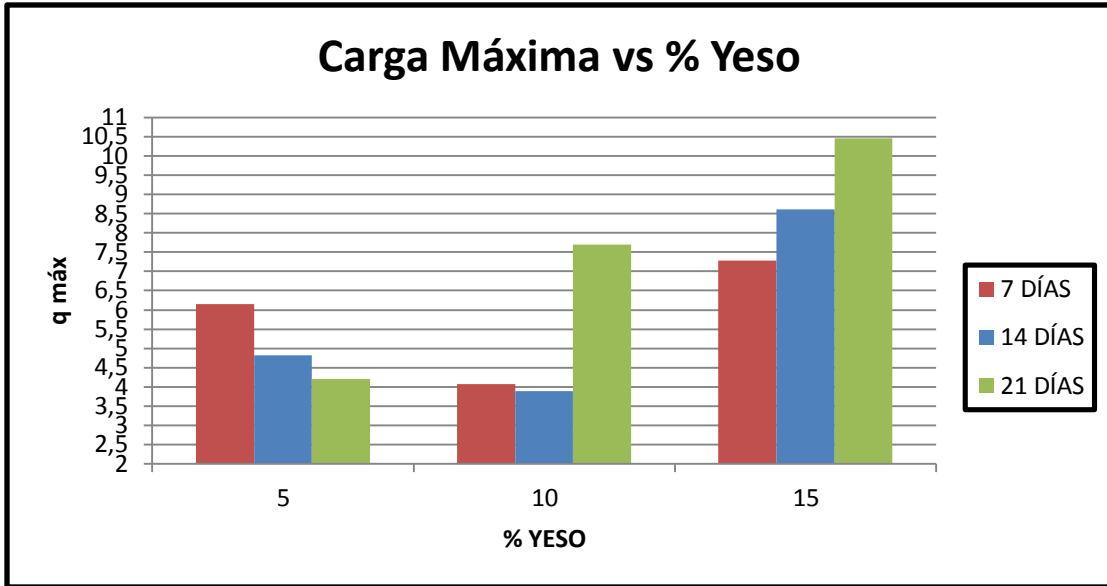
Gráfico N° 40 Carga Máxima vs % Cal



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Interpretación.- Se identifica la variación de la carga con respecto al porcentaje, donde el valor de la carga máxima es de 8,353kg/cm², con el quince por ciento de cal a los 21 días de curado.

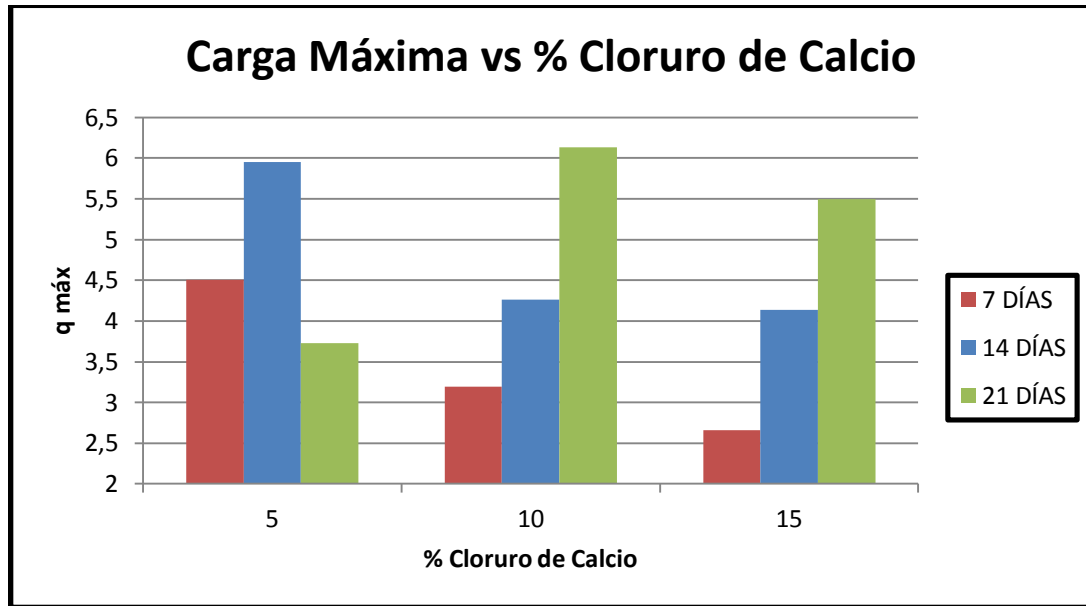
Gráfico N° 41 Carga Máxima vs % Yeso



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Interpretación.- Se identifica que la estabilización arcilla-yeso establece una mayor capacidad de carga siendo la máxima de 10,465kg/cm² con el 15 % a los 21 días de curado.

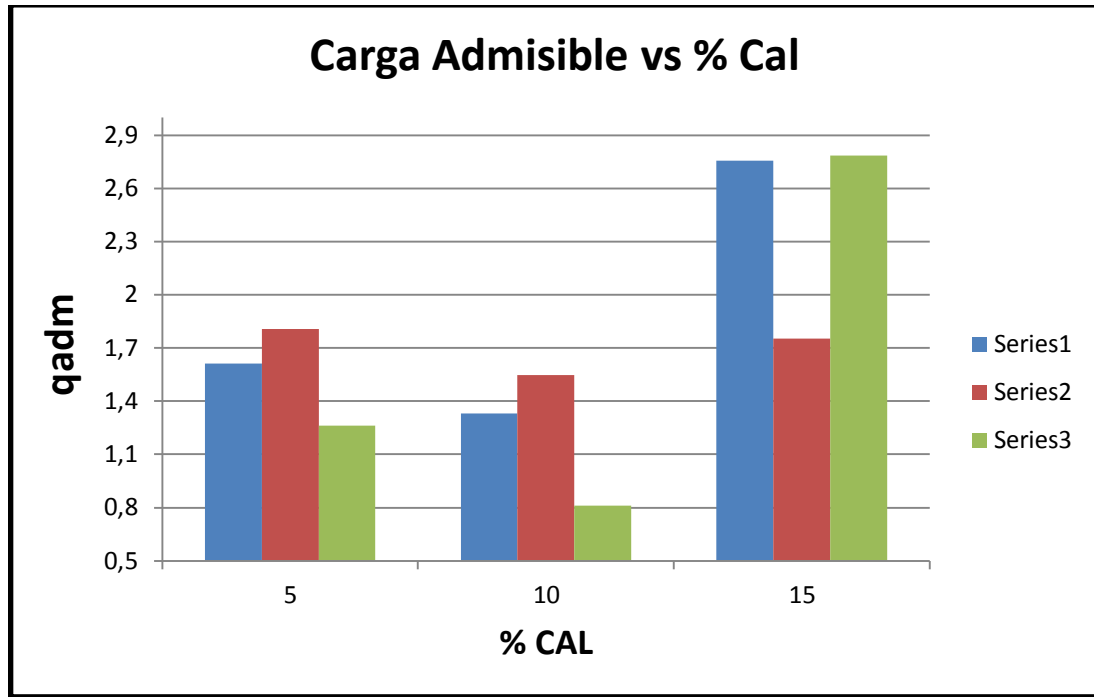
Gráfico N° 42 Carga Máxima vs % Cloruro de Calcio



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Interpretación.- Se analiza que la estabilización arcilla-cloruro de calcio genera una carga máxima con valores aceptables siendo el valor máximo de 6,130 kg/cm² con el 10% a los 21 días de curado.

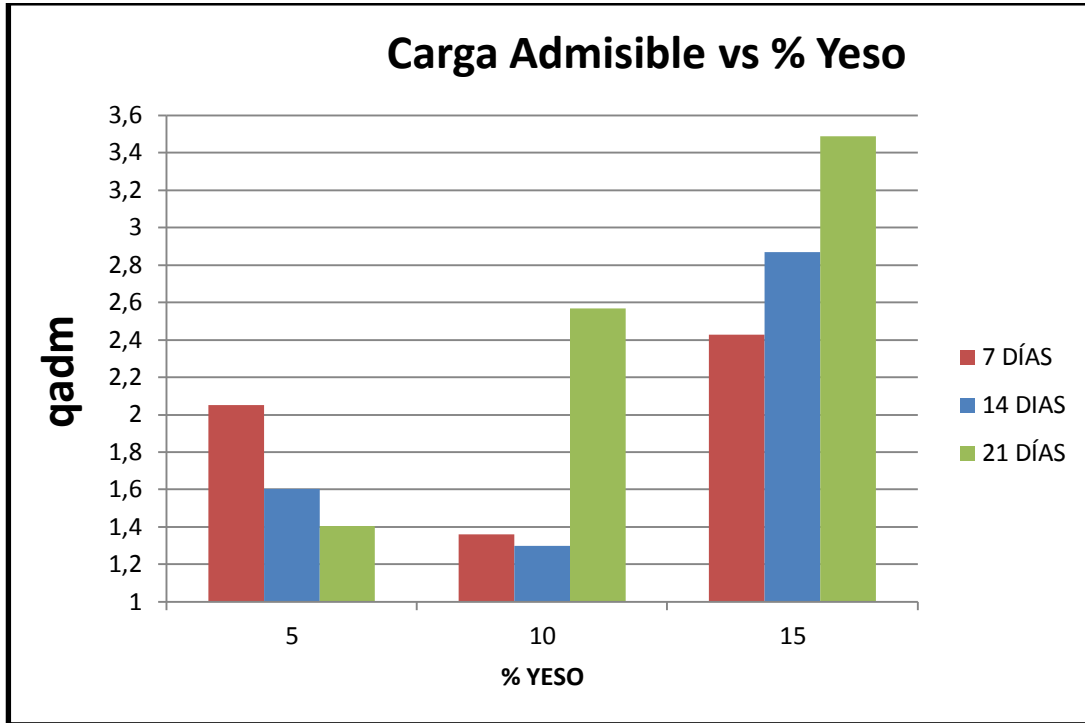
Gráfico N° 43 Carga Admisible vs % Cal



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Interpretación.- Se identifica el valor máximo de carga admisible de 2,784 kg/cm² el cual se obtiene a los 21 días de curado con el 15 por ciento.

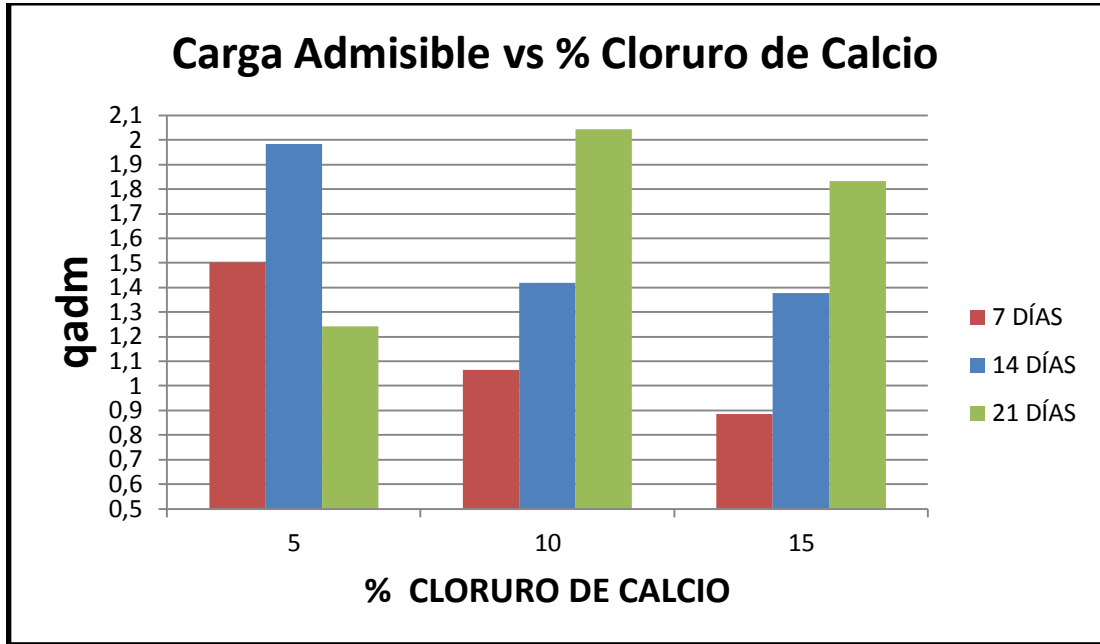
Gráfico N° 44 Carga Admisible vs % Yeso



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Interpretación.- El valor máximo de carga admisible es de 3,488 kg/cm² que se genera con el 15 por ciento a los 21 días de curado.

Gráfico N° 45 Carga Admisible vs % Cloruro de Calcio



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Interpretación.- El valor máximo de carga admisible es de 2,043 kg/cm² que se genera con el 10 por ciento a los 21 días de curado.

4.2. Análisis de Resultados

Una vez obtenido los valores de resistencia de los bloques (muestras), arcilla – cal, arcilla – yeso y arcilla – cloruro de calcio; se verifica la hipótesis del presente proyecto mediante el método de Karl Pearson.

4.2.1. Análisis de las variables.

Análisis de la carga admisible de los bloques arcilla – cal.

Los resultados de la carga admisible son expresados en kilogramo sobre centímetros cuadrados, los cuales representan la resistencia del bloque de arcilla - cal.

Tabla N° 47 Primera variable para la correlación (arcilla – cal).

% CAL	qadm
5	1,807
10	1,547
15	2,784

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Análisis de la carga admisible de los bloques arcilla – yeso.

Los resultados de la carga admisible son expresados en kilogramo sobre centímetros cuadrados, los cuales representan la resistencia del bloque de arcilla – yeso.

Tabla N° 48 Segunda variable para la correlación (arcilla – yeso).

% YESO	qadm
5	2,052
10	2,567
15	3,488

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Análisis de la carga admisible de los bloques arcilla – cloruro de calcio.

Los resultados de la carga admisible son expresados en kilogramo sobre centímetros cuadrados, los cuales representan la resistencia del bloque de arcilla – cloruro de calcio.

Tabla N° 49 Tercera variable para la correlación (arcilla – cloruro de calcio).

% CLORURO DE CALCIO	qadm
5	1,984
10	2,042
15	1,833

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

4.2.2. Coeficiente de correlación método Karl Pearson.

Determinación del factor de correlación (r).

Tabla N° 50 Coeficiente de correlación de la primera y segunda variable.

N	X	Y	x	y	xy	x ²	y ²
1	1,807	2,052	-0,239	-0,650	0,155	0,057	0,423
2	1,547	2,567	-0,499	-0,135	0,068	0,249	0,018
3	2,784	3,488	0,738	0,786	0,580	0,545	0,617
	\bar{x} 2,046	\bar{y} 2,7023			Σxy 0,803	Σx^2 0,284	Σy^2 0,353

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Coeficiente de Correlación

$$r = \frac{\Sigma xy}{\sqrt{(\Sigma x^2)(\Sigma y^2)}}$$
$$r = \frac{0,803}{\sqrt{(0,851)(1,058)}}$$
$$r = 0,85$$

Tabla N° 51 Coeficiente de correlación de la primera y tercera variable.

N	X	Y	x	y	xy	x ²	y ²
1	1,807	1,984	-0,239	0,031	-0,007	0,057	0,001
2	1,547	2,042	-0,499	0,089	-0,044	0,249	0,008
3	2,784	1,833	0,738	-0,120	-0,089	0,545	0,014
	\bar{x} 2,046	\bar{y} 1,953			Σxy -0,140	Σx^2 0,284	Σy^2 0,008

Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

Coeficiente de Correlación

$$r = \frac{\Sigma xy}{\sqrt{(\Sigma x^2)(\Sigma y^2)}}$$

$$r = \frac{-0,140}{\sqrt{(0,851)(0,023)}}$$

$$r = -1,0$$

4.2.3. Interpretación del coeficiente de correlación método Karl Pearson.

Tabla N° 52 Interpretación de coeficiente de correlación (variable 1 y 2).

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a 0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a 0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a 0,69	Correlación negativa moderada
-0,3 a 0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a 0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,1 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,19	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente.- M. Suarez, Correlación y Regresión Empleando Excel y Graph (2014).

Interpretación.- Mediante el método de Karl Pearson se determinó el coeficiente de correlación, el valor $r= 0,85$ para la primera y segunda variable; con respecto a la Tabla N°52 se encuentra dentro del rango (0,7 a 0,9) por lo que es una correlación positiva alta.

Tabla N° 53 Interpretación de coeficiente de correlación (variable 1 y 3).

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a 0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a 0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a 0,69	Correlación negativa moderada
-0,3 a 0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a 0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,1 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,19	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente.- M. Suarez, Correlación y Regresión Empleando Excel y Graph (2014).

Interpretación.- Mediante el método de Karl Pearson se determinó el coeficiente de correlación, el valor $r = -1,0$ para el análisis de la primera y tercera variable; con respecto a la Tabla N° 53 se considera como una correlación negativa grande y perfecta.

4.3. Verificación de Hipótesis

Una vez determinado el coeficiente de correlación de las variables: arcilla – cal, arcilla – yeso y arcilla – cloruro de calcio, con el método de Karl Pearson se propone las siguientes hipótesis.

Ho: La estabilización del suelo arcilloso con cal, yeso y cloruro de calcio no mejorará su comportamiento y resistencia.

Hi: La estabilización del suelo arcilloso con cal, yeso y cloruro de calcio si mejorará su comportamiento y resistencia.

Se utilizan las tablas N° 51 y 52, para plantear los resultados de la hipótesis.

Hipótesis Nula

Si el coeficiente de correlación es positivo. $H_o: r \leq 0,39$

Si el coeficiente de correlación es negativo. $H_o: r \geq -0,39$

Hipótesis Alternativa

Si el coeficiente de correlación es positivo. $H_i: r \geq 0,39$

Si el coeficiente de correlación es negativo. $H_i: r \leq -0,39$

Coefficiente de correlación positivo para las variables 1 y 2.

Para la hipótesis nula

$H_o: r \leq 0,39$

$H_o: 0,85 \geq 0,39$

Se establece que el Coeficiente de Correlación no es menor al señalado, de tal manera se rechaza la hipótesis nula.

Para la hipótesis alternativa

$H_i: r \geq 0,39$

$H_i: 0,85 \geq 0,39$

Se establece que el Coeficiente de Correlación es mayor al señalado, de tal manera se confirma la hipótesis alternativa (Hi). Mediante la estabilización del suelo arcilloso con cal, yeso y cloruro de calcio si mejorará su comportamiento y resistencia.

Coefficiente de correlación negativo para las variables 2 y 3.

Hipótesis Nula

Si el coeficiente de correlación es positivo. $H_0: r \leq 1,0$

Si el coeficiente de correlación es negativo. $H_0: r \geq -1,0$

Hipótesis Alternativa

Si el coeficiente de correlación es positivo. $H_i: r \geq 1,0$

Si el coeficiente de correlación es negativo. $H_i: r \leq -1,0$

Para la hipótesis nula

$H_0: r \geq -0,39$

$H_0: -1,0 \leq -0,39$

Se establece que el Coeficiente de Correlación no es menor al señalado, de tal manera se rechaza la hipótesis nula.

Para la hipótesis alternativa

$H_i: r \leq -0,39$

$H_i: -1,0 \leq -0,39$

Se establece que el Coeficiente de Correlación es menor que el señalado, de tal manera que se confirma la hipótesis alternativa (Hi). Mediante la estabilización del suelo arcilloso con cal, yeso y cloruro de calcio si mejorará su comportamiento y resistencia.

A través del análisis de los resultados de los ensayos realizados se comprueba la veracidad de la hipótesis planteada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ Los ensayos ejecutados en el presente trabajo experimental, fueron realizados bajo las normas ASTM, AASHTO e INEN, siguiendo los procedimientos de dichas normas, logrando así obtener los valores de las propiedades índice y técnicas.
- ✓ Se ejecutó el ensayo in situ de cono y arena de Ottawa con la norma AASHTO T-205, ASTM D- 2167, donde se obtuvo la densidad de campo de la muestra siendo de 1,13 gr/cm³ con un contenido de humedad del 191,07 %.
- ✓ Se identificó la resistencia in situ del suelo cohesivo, bajo la norma AASHTO-T49-93 con el ensayo de penetración de cono estático con un valor máximo de 23,53 kg/cm² en el punto 7.
- ✓ Se realizó el ensayo de penetración de cono dinámico, mediante la norma ASTM D 6951-03., en el cual se analizaron doce puntos de los cuales el valor de CBR fue 2.
- ✓ Se analizó la carga última del suelo cohesivo con la extracción de muestras inalteradas de una calicata in situ, al ser ensayadas se obtiene el valor mayor de carga de 388,4 lb correspondiente a la muestra TF3 con una penetración de $500 \text{plg} * 10^{-3}$.

- ✓ Se determinó bajo el ensayo de Próctor Modificado método “D” con la norma AASHTO T-180, el valor del peso volumétrico seco de 1,386 gr/cm³ y un contenido óptimo de 22,5 %.
- ✓ Se identificó el CBR de laboratorio con la norma ASTM D-1883, para obtener la capacidad del suelo de soportar cargas, se establece que el valor de 14,70 de CBR.
- ✓ Se examinó el valor de los límites de Atterberg con el procedimiento de las normas INEN- 691 e INEN-692, obteniendo un LL (límite líquido) >50% por consiguiente se le considera como el suelo como CH(Arcilla de alta plasticidad).
- ✓ Se reconoció el valor de índice plástico, obtenido de los ensayos de límites de Atterberg, de 12,8% lo que significa que no se podrá considerar al suelo a prueba como una subrasante; ya que el IP no se encuentra dentro de los valores estipulados bajo las especificaciones del MTOP.
- ✓ Se conoció las propiedades índice del suelo natural así como del suelo estabilizado con los componentes químicos, y se obtuvo resultados aceptables que están dentro del margen de las normas, los cuales se detallan en tablas.
- ✓ Se concluye que al realizar el análisis comparativo de arcilla – cal con arcilla yeso y arcilla cloruro de calcio, las propiedades y su comportamiento mejora dependiendo de los porcentaje utilizados y los días de curado.
- ✓ Se utilizó el factor de seguridad el valor 3 debido a que el suelo analizado es una arcilla.

- ✓ Se concluye que para la estabilización de arcilla-cal con el 5% y 10% a los 14 días de curado se obtiene una mejor carga admisible así como con el 15% a los 21 días.
- ✓ Se determinó que para la estabilización de arcilla-yeso con el 5% a los 7 días de curado se obtiene una mejor carga admisible así como con el 10% y 15% a los 21 días.
- ✓ Se conoció que para la estabilización de arcilla-cloruro de calcio con el 5% a los 14 días de curado se obtiene una mejor carga admisible así como con el 10% y 15% a los 21 días.
- ✓ Se concluye que la mezcla arcilla-yeso y arcilla-cloruro de calcio, no se puede considerar para la estabilización de una subrasante debido a que no cumplen con las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del Ministerio de Obras Públicas de la república del Ecuador en la sección 402 de mejoramiento de la subrasante.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Para la recolección de muestras inalteradas in situ es necesario que al ser transportadas se las coloque con el mismo suelo del lugar de extracción para mantener la humedad natural.
- ✓ La muestra de arcilla debe encontrarse completamente en estado seco para la ejecución de los ensayos de laboratorio.
- ✓ Es indispensable el uso de las normas correspondientes para realizar los ensayos y cálculos necesarios para la obtención de valores reales.
- ✓ En la elaboración de los bloques es necesario colocar el agua correspondiente hasta lograr obtener una mezcla que no se disgregue.
- ✓ En necesario la investigación de los estabilizadores químicos antes de usarlos ya que el uso del compuesto cloruro de calcio es factible en otros países para la construcción de vías más no en el nuestro.
- ✓ Al realizar la mezcla entre arcilla y cloruro de calcio se debe tomar en cuenta que el componente químico tiene la característica de poseer agua, por consiguiente es necesario reducir el agua en la mezcla.
- ✓ La estabilización de arcilla-yeso y arcilla-cloruro de calcio se puede utilizar en otras obras ya que alcanzaron una buena carga admisible, se recomienda la norma NEC_SE_CM (Geotecnia y Cimentaciones) o su vez como el uso para mampostería.

C.- MATERIALES DE REFERENCIA

1 BIBLIOGRAFÍA

- [1] E.X. Murillo, «Estudio del comportamiento de las bases de pavimento rígidos en la ciudad de Cuenca,» Universidad de Cuenca, Cuenca,2010.
- [2] LIME, «Manual de Estabilización de suelo tratado con cal»Noviembre,2006
- [3] M. M. DE VICENTE, «CITOP,» 11 FEBRERO 2007. [En línea]. Available: http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra373_06.pdf. [Último acceso: 3 MAYO 2016].
- [4] F. Rojas y A.Calamargo «Estabilización Físico-Química de suelos Finos para Subrasantes de vías rurales,»Universidad Industrial de Santander,Bucaramanga,2014.
- [5] R.Stulz y K. Mukerji, «SKAT,» 1993.) [En línea]. Available: <http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms00.htm#Contents> [Último acceso: 1 MAYO 2016].
- [6] C. GARCIA ROMERO, 17 MAYO 2013. [En línea]. Available: <http://www.utecv.esiaz.ipn.mx/comunidad/geotecnia/guias/PROPIEDADES INDICES DE LOS SUELOS.pdf>.
- [7] “PROPIEDADES ÍNDICE.” Internet: http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/03_clases_catedra/clases_catedra_ms1/04_propiedades.pdf [Nov.03,03]
- [8] R. Sánchez Malagón, Estudio de Mecánica de suelos en la Planta Procesadora de Nopal Los Remedios San Bernardino Tlaxcalancingo, Municipio San Andrés Cholula, Puebla, Puebla, 2012.


- [9] H. Urgiles, «Scribd,» 03 Marzo 2011. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/49897245/Relaciones-Volumetricas-y-Gravimetricas-Suelos>.
- [10] A. Polanco Rodríguez, 26 01 2012. [En línea]. Available: http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_LAB.%20DE%20MECANICA%20DE%20SUELOS%20II.pdf.
- [11] C. Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Monterrey: LIMUSA, 2004.
- [12] J. Gonzáles, Geotecnia, España, 2011
- [13] F. Mantilla, Apuntes Mecánica de Suelos 2, Sexto Semestre, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- [14] V. Echeverria, «Muestras Alteradas e Inalteradas,» 02 Dic 2013. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/188645663/Muestras-Alteradas-e-Inalteradas>.

2. ANEXOS

2.1. LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



Fuente.- Google Eart

Nombre:	<input type="text" value="Sitio de Extracción de Muestra"/>	
Zona:	<input type="text" value="18 M"/>	
Abscisa:	<input type="text" value="168 161.00 m E"/>	
Norte:	<input type="text" value="9834096.00 m S"/>	

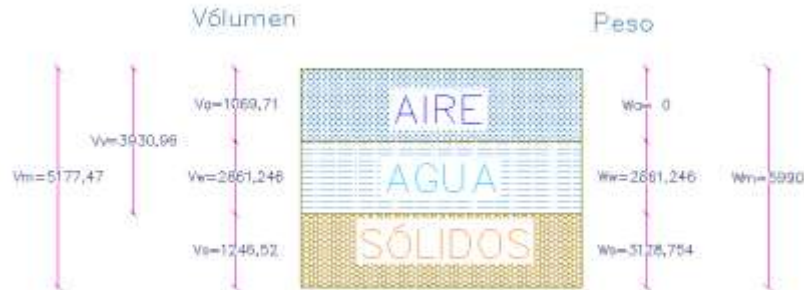
2.2. TABLAS DE IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS MEDIANTE LA SUCS

Divisiones mayores	Símbolo del grupo	Nombre de grupo				
Suelos granulares grueso Más del 50% retenido en el tamiz n° 200(0.075)	Grava > 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz n°4 (4.75)	Grava limpia menos del 5% pasa el tamiz n°200	GW	Grava bien gradada, grava fina a gruesa		
		Grava con más 12% de finos pasantes del tamiz n° 200	GP	Grava pobremente gradada		
			GM	Grava limosa		
		Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz n°4	Arena limpia	SW	Arena bien gradada, arena fina a gruesa	
	SP			Arena pobremente gradada		
	Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200		SM	Arena limosa		
			SC	Arena arcillosa		
			Limos y arcillas Limite liquido < 50	Inorgánico	ML	Limo
					CL	Arcilla
	Limo y arcilla Limite liquido ≥ 50	Orgánico	OL	Limo orgánico, arcilla orgánica		
Inorgánico			MH	Limo de alta plasticidad, limo elástico		
Orgánico		CH	Arcilla de alta plasticidad			
		OH	Arcilla orgánica, limo orgánico			
Suelos altamente orgánicos			PT	Turba		

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLO	COMPORTAMIENTO MECÁNICO	CAPACIDAD DE DRENAJE	Densidad óptima P.M. gr/cm ³	CBR In Situ %
SUELOS DE GRANO GRUESO	Gravas	GW	Excelente	Excelente	2.00-2.24	60-80
		GP	Bueno a excelente	Excelente	1.76-2.08	25-60
		GM	Bueno a excelente	Aceptable a mala	2.08-2.32	40-80
		GU	Bueno	Mala a impermeable	1.91-2.24	20-40
		GC	Bueno	Mala a impermeable	1.92-2.24	20-40
	Arenas	SW	Bueno	Excelente	1.76-2.08	20-40
		SP	Aceptable a bueno	Excelente	1.60-1.92	10-25
		SM	Aceptable a bueno	Aceptable a mala	1.92-2.16	20-40
		SU	Aceptable	Mala a impermeable	1.68-2.08	10-20
		SC	Malo a aceptable	Mala a impermeable	1.68-2.08	10-20
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas (LL<50)	ML	Malo a aceptable	Aceptable a mala	1.60-2.00	5-15
		CL	Malo a aceptable	Casi impermeable	1.60-2.00	5-15
		OL	Malo	Mala	1.44-1.70	4-8
	Limos y arcillas (LL>50)	MH	Malo	Aceptable a mala	1.28-1.60	4-8
		CH	Malo a aceptable	Casi impermeable	1.44-1.76	3-5
	OH	Malo a muy malo	Casi impermeable	1.28-1.68	3-5	
SUELOS ORGANICOS		Pt	Inaceptable	Aceptable a mala	-	-

Fuente.- SUCS, Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos, Modificado.

2.2 CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE



Fuente.- *Jéssica Tatiana Fiallos Condo*

1.- Densidad de la Masa

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

$$\gamma_m = \frac{5990 \text{ gr}}{5177,47 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_m = 1,157 \text{ gr/cm}^3$$

2.- Densidad Seca

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

$$\gamma_d = \frac{1,157 \text{ gr/cm}^3}{1 + 0,9145}$$

$$\gamma_d = 0,604 \text{ gr/cm}^3$$

3.- Peso de los sólidos

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$$

$$0,604 \text{ gr/cm}^3 = \frac{W_s}{5177,47 \text{ cm}^3}$$

$$W_s = 3128,754 \text{ gr}$$

$$\gamma_0 = 1$$

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_0}$$

$$G_s = \gamma_s$$

$$G_s = 2.51$$

$$\boxed{\gamma_s = 2.51 \text{ gr/cm}^3}$$

4.- Volumen de los sólidos

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s}$$

$$V_s = \frac{3128,745 \text{ gr}}{2.51 \text{ gr/cm}^3}$$

$$\boxed{V_s = 1246,51 \text{ cm}^3}$$

5.- Peso del Agua

$$\gamma_0 = \frac{W_\omega}{V_\omega}$$

$$1 = \frac{W_\omega}{V_\omega}$$

$$W_\omega = V_\omega$$

$$W_\omega = W_m - W_s - W_a$$

$$W_\omega = 5990 \text{ gr} - 3128,754 \text{ gr} - 0$$

$$\boxed{W_\omega = 2861,246 \text{ gr}}$$

6.- Volumen de aire

$$V_a = V_m - V_s + V_w$$

$$V_a = 5177,47\text{cm}^3 - 1246,51\text{cm}^3 + 2861,246\text{cm}^3$$

$$V_a = 1069,71 \text{ cm}^3$$

7.- Relación de Vacíos

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

$$e = \frac{3930,956}{1246,51} = 3,154$$

8.- Porosidad

$$n\% = \frac{V_v}{V_m}$$

$$n\% = \frac{3930,956}{5177,47} * 100 = 75,92\%$$

9.- Grado de Saturación del Agua

$$Gw\% = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

$$Gw\% = \frac{2861,246}{3930,956} * 100 = 72,786\%$$

10.- Grado de Saturación del Aire

$$Ga\% = \frac{V_a}{V_v} * 100$$

$$Ga\% = \frac{1069,71}{3930,956} * 100 = 27,21\%$$

11.- Carga Máxima

$$q_{\text{máx}} = \frac{P}{A}$$

$$q_{\text{máx}} = \frac{1957,85}{404,49} = 4,84 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

12.- Carga Admisible

$$q_{\text{adm}} = \frac{q_{\text{máx}}}{fs}$$

$$q_{\text{adm}} = \frac{4,84}{3} = 1,613 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

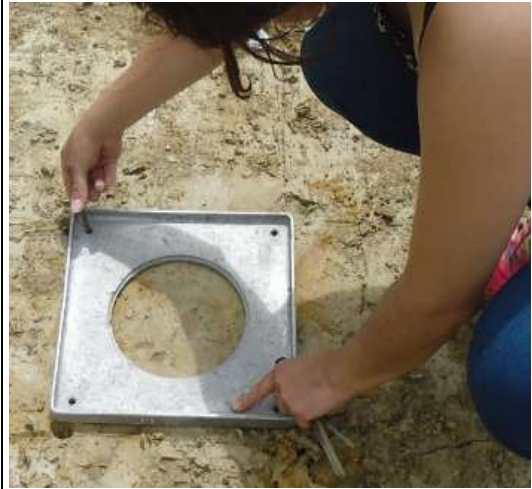
2.3. ANEXO FOTOGRÁFICO

ENSAYOS DE CAMPO

	
<p>1.- Excavación de la calicata.</p>	<p>2.- Calicata para obtención de muestras.</p>
	
<p>3.- Extracción de muestras inalteradas.</p>	<p>4.- Muestra inalterada para ensayo.</p>



5.- Ensayo de Cono y Arena de Ottawa



6.- Limpieza del lugar de ensayo



7.- Colocación de la placa con clavos



8.- Extracción del suelo natural.



9.- Distribución del plástico en la perforación



10.- Abertura de la llave del Cono de O.



11.- Ensayo de penetrómetro dinámico



12.- Marcación de 12 puntos.



13.- Penetración en cada punto.



14.- Ensayo de Penetración Estático



15.- Calibración del instrumento,



10.- Presión para la lectura del penetrómetro.

ENSAYOS DE LABORATORIO

	
<p>11.-Materiales para el ensayo de Límite Líquido.</p>	<p>12.- Mezcla de arcilla más agua.</p>
	
<p>13.- Colocación de la mezcla en la copa Casagrande.</p>	<p>14.- División de la mezcla en partes iguales, para el conteo de N° golpes.</p>
	
<p>15.-Toma de muestras, para secado.</p>	<p>16.- Peso de las muestras.</p>



17.- Material para el ensayo de Límite plástico.



18.- Mezcla de arcilla más agua.



19.- Elaboración de los rollitos.



20.- Rollitos de 3 mm.



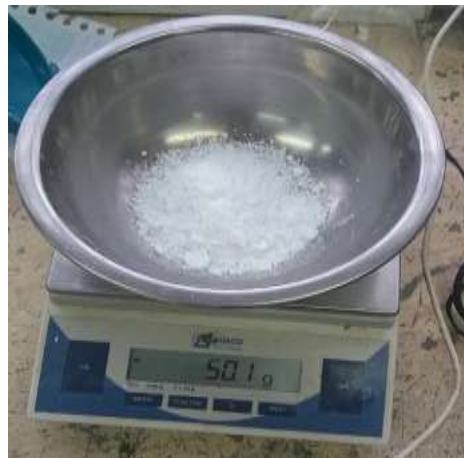
21.- Toma de muestras, para secado.



22.- Peso de las muestras.



23.- Muestra para Gravedad Específica de la arcilla.



24.- Muestra de Cloruro de calcio.



25.- Muestra de Yeso.



26.- Muestra de Cal.



27.- Peso del picnómetro.



28.- Colocación de la cal en el picnómetro.



29.- Colocación de Agua en el picnómetro.



30.- Colocación de Gasolina para los componentes químicos.



31.- Llenado hasta la marca de aforo.



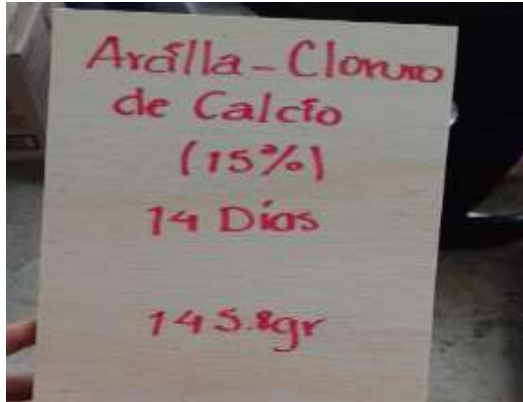
32.- Picnómetro sin organismos vegetales.



33.- Temperatura de la mezcla.



34.- Peso del picnómetro más la mezcla.



35.- Rotulado de las tablas para los bloques.

36.- Mezcla de Arcilla más cal



37.- Mezcla de Arcilla más yeso

38.-Pulverizacion del cloruro de calcio.



39.- Mezcla de Arcilla-cloruro de calcio.

40.- Mezcal en la máquina Cymba-Ram



41.- Extracción del bloque de la máquina Cymba-Ram.



42.- Peso del bloque previamente estabilizado.



43.- Bloques estabilizados para curado.



44.- Toma de dimensiones de los bloques.



45.- Ensayos de los bloques a los 21 días.



46.- Bloque comprimido.