



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

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD EN
MATERIALES GRANULARES ESTABILIZADOS CON CEMENTO EN
SANTA ELENA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR (ES):

**LUIS DAVID SORNOZA JORDAN
MICHELLE CAROLINA TOMALÁ TOMALÁ**

TUTOR:

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MS.c

LA LIBERTAD, ECUADOR

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD EN
MATERIALES GRANULARES ESTABILIZADOS CON CEMENTO
EN SANTA ELENA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

**LUIS DAVID SORNOZA JORDAN
MICHELLE CAROLINA TOMALÁ TOMALÁ**

TUTOR:

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MS.c

LA LIBERTAD – ECUADOR

2023

UPSE

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Jonny Villao Borbor, MSc.
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Daniel Campoverde Campoverde, MSc.
DOCENTE TUTOR



Ing. Raúl Andrés Villao Vera, MSc.
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, PhD.
SECRETARIA DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios porque sin él en nuestro camino nada hubiera sido posible, ni él poder estar aquí hoy redactando este trabajo curricular, ni el haberme formado todos estos años profesionalmente en esta prestigiosa carrera. A mi familia que amo tanto y siempre fue un apoyo fundamental, sin ellos jamás hubiera llegado donde estoy: mi mamá Fátima Elena Tomalá Figueroa que a pesar de cualquier inconveniente siempre estuvo ahí para mí ayudándome en todo lo que le era posible, a mi papá Santos Henry Tomalá González que desde pequeña siempre ha sido mi más grande amigo que me ha apoyado en todo lo que me proponga y me da los mejores consejos, a mi hermana Diana Jenniffer Tomalá Tomalá que a pesar de su carácter siempre me ha apoyado cuando he tenido dificultades, a mi hermano Henry Javier Tomalá Tomalá por siempre estar ahí conmigo. A mis abuelos Juana Figueroa y Cruz Gustavo Tomalá (Tavi de cariño) que sé que siempre quisieron verme graduar, espero que desde el cielo puedan verlo. De esta misma forma le dedico este trabajo a mis mascotas que amo con todo el corazón y siempre pasan mala noche conmigo: a Negrita, Osita, Blanquita y Molly que siempre me sacan una sonrisa con sus ocurrencias. A mi Peluchito que desde el cielo me has de estar cuidando. A mi enamorado, Kelvin Fabricio Galdea Martínez que ha sido un apoyo fundamental en este proceso de Integración Curricular. A mi amigo y compañero de tesis Luis David Sornoza Jordan porque sin él nada de esto hubiera sido posible.

MICHELLE CAROLINA TOMALÁ TOMALÁ

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme creado y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi vida y formación profesional. A mi madre, por ser la persona más importante de mi vida y por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional que sin importar las adversidades que se nos presente ha estado conmigo dándome la fuerza y ganas de seguir adelante. A mi padre, a pesar de nuestra distancia, me ha apoyado de una manera increíble, aconsejándome desde niño y diciéndome que en esta vida todo se logra con esfuerzo y sacrificio, este trabajo es para ustedes padres los amo mucho y sé que están orgullosos del ser humano que soy. A mis hermanos Edgar, Cinthya e Israel por estar conmigo siempre, por ser un ejemplo y demostrarme que debemos ser perseverante y especialmente a mi hermana Cinthya Sornoza por enseñarme mucho en esta vida, te quiero mucho y este logro también es para ti. A mis sobrinos Byron, Angelica, Germania, Edgar, Niurka y Edwincito por ser mi motivación día tras día y demostrarles que podemos llegar alcanzar nuestros objetivos si nos dedicamos y ponemos fe en Dios, que se pueden lograr las metas planteadas. A mis cuñados María y Edwin por quienes valoro y admiro por su humildad. A mi amiga y compañera de tesis Michelle Tomalá porque sin el equipo que formamos, no hubiéramos logrado esta meta.

LUIS DAVID SORNOZA JORDAN

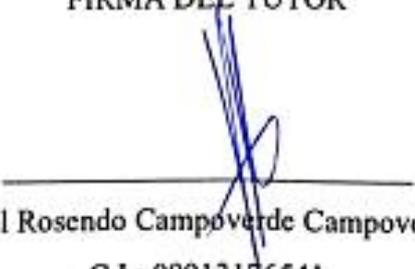
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD EN MATERIALES GRANUALES ESTABILIZADOS CON CEMENTO EN SANTA ELENA”** elaborado por los estudiantes **TOMALÁ TOMALÁ MICHELLE CAROLINA** y **SORNOZA JORDAN LUIS DAVID**, con C.I. **2450226291** y **2400255481** estudiantes egresados de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un **4 %** de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto, reporte de similitud.

Atentamente:

FIRMA DEL TUTOR


Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

C.I.: 09913176541

DOCENTE TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **MICHELLE CAROLINA TOMALÁ TOMALÁ** y **LUIS DAVID SORNOZA JORDAN**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD EN MATERIALES GRANULARES ESTABILIZADOS CON CEMENTO EN SANTA ELENA”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



Tomalá Tomalá Michelle Carolina

C.I. 245022629-1

AUTOR DE TESIS



Sornoza Jordan Luis David

C.I. 240025548-1

AUTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD EN MATERIALES GRANUALES ESTABILIZADOS CON CEMENTO EN SANTA ELENA” previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por el Sr/a. **TOMALÁ TOMALÁ MICHELLE CAROLINA Y SORNOZA JORDAN LUIS DAVID**, egresados de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR



Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

C.I.: 09913176541

DOCENTE TUTOR

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA

Certificación de Gramatólogo

Lic. ALEXI JAVIER HERRERA REYES

Magíster En Diseño Y Evaluación

De Modelos Educativos

La Libertad, noviembre 24 del 2023.

Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de integración curricular en opción al título de INGENIERO/A CIVIL de: SORNOZA JORDAN LUIS DAVID & TOMALÁ TOMALÁ MICHELLE CAROLINA, cuyo tema es: “EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD EN MATERIALES GRANULARES ESTABILIZADOS CON CEMENTO EN SANTA ELENA”, me permito declarar que el trabajo investigativo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado respectivo para la defensa del tema en mención.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.



Lic. Alexi Herrera R, MSc.
Docente de Español A: Literatura
Cel: 0962989420
e-mail: alexiherrerareyes@hotmail.com

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a Dios por siempre guiarme por el buen camino, en especial en las dificultades que he tenido en la vida y en mi carrera profesional. Agradezco a mi familia, a mis padres Santos y Fátima Tomalá, a mis hermanos Diana y Henry por siempre apoyarme de una u otra forma a lo largo de mi vida universitaria, a mis perritas que siempre trasnochan por acompañarme mientras hacía tareas u otras actividades de la universidad.

Agradezco a los docentes de la carrera de Ing. Civil, por ser excelentes docentes y guiarme en mi vida académica y próximamente profesional, por la paciencia que tuvieron al enseñarnos muchas cosas.

A los excelentes amigos que pude conocer durante mi vida académica en la universidad, a Karen Falcones, Ángel Suárez y Pablo Laínez porque siempre me sacaban una sonrisa con sus ocurrencias, pero de igual forma siempre eran un gran apoyo fundamental al momento de ayudarnos a estudiar o explicarnos algo que no entendíamos, les agradezco y quiero mucho. A la ing. Carol Reyes, Anthony Rodríguez, Diego Ponce, a los hermanos Mejillones (Erick, Mau y Nico), Jhon Defaz, entre muchas otras personas maravillosas que la vida y la universidad colocaron en mi camino y supieron ser unas excelentes amistades.

De igual manera agradezco especialmente a dos personas que hicieron mi vida académica más bonita, a una amiga muy especial que me encantaría haberla conocido desde el pre, a Doménica Tigrero Balón, unas de las amigas más valiosas que me dio la universidad y que adoro mucho, tanto como una hermana. La siguiente persona especial a la cual agradezco es a mi enamorado, Kelvin Galdea Martínez por siempre apoyarme incondicionalmente en todo lo que ha podido, por siempre animarme y creer en que yo puedo más.

Agradezco también a mi mejor amiga Nathalie Prendes Vivar que, aunque últimamente no hablamos mucho, la quiero.

A mi tutor de tesis, el ing. Daniel Campoverde, por tenernos paciencia al momento de guiarnos en el proceso del trabajo de Integración Curricular y corregirnos cuando era necesario, muchas gracias.

A los ingenieros Johnny Villao y Juan Garces por siempre estar predispuestos a ayudar en cualquier inconveniente académico y supieron ser excelentes docentes en sus respectivas áreas, muchas gracias.

Agradezco también a mi compañero de tesis Luis David Sornoza Jordan por ser un buen amigo y compañero, porque a pesar de todas las dificultades que pasamos durante el proceso de redacción y realización de este trabajo de titulación al final del día se pudo lograr.

MICHELLE CAROLINA TOMALÁ TOMALÁ

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor cada día para poder culminar mi etapa universitaria.

Agradezco también por la confianza y el apoyo a mi querida Madre Germania Jordan, quien sin ella no hubiera llegado hasta este momento, he podido vivir como se ha sacrificado vendiendo gelatinas y flanes para poderme ayudar económicamente y terminar mis estudios gracias enserio muchas gracias, Madre. A mi Padre Luis Sornoza por ayudarme económicamente desde mi primer año de la universidad. A mis hermanos, sobrinos y cuñados por siempre mostrándome su lealtad.

Agradezco especialmente a Fernanda Aguado y Bayron Cirilo Ycaza por ser quien me apoyaron desde el día que me conocieron y poderme enseñar muchas cosas de la vida y más por amar a mi mama y a mi papá de una manera extraordinaria. A mis abuelitos. Violeta Yagual, Paulina Tigrero, José Jordan y especialmente a mi abuelito Lucho Sornoza, quien lastimosamente no se encuentra físicamente conmigo, pero sé que donde me vea se siente orgullo de que su primer nieto cumpla una meta trazada que tenía desde niño.

A mis tíos, especialmente a Mónica Jordan, José Jordan, MSc. Martha Jordan, Ing. Elvis Sornoza, Zoraida Sornoza, Abg. Shirley Sornoza, Mariela Sornoza y Juana Ávila por ser esas personas de apoyo, de consejos y más que todo de ese amor a su sobrino gracias por creer en mí. A mis primos. José, María Fernanda, Denisse y Katty Jordan por ser esos primos que siempre me preguntaba cómo me iba en la universidad, que ya falta poco, no rindas y demás.

A mi tutor de tesis al Ing. Daniel Campoverde por ayudarnos y haber tenido tanta paciencia, por ser unos de los mejores docentes que tiene la carrera, por siempre estar dispuesto a enseñarnos, gracias por compartir su conocimiento. Asi mismo a los Ing. Jhonny Villao, Ing. Vianna Pinoargote, Ing. Lucrecia Moreno, Ing. Raul

Villao, Ing. Richard Ramírez, Ing. Carol Reyes y demás Ing. Por ser quienes me formaron en esta maravillosa Institución.

A mi amiga incondicional. Amira Gavilanes, desde que la conocí en el Preuniversitario hemos pasado por tantas circunstancias en la vida, hemos reído, llorado, ganado, perdido, pero siempre juntos gracias por brindarme tu amistad sincera, hemos logrado esta meta juntos. A mis amigos de la Universidad, Helen Rodríguez, Kevin Orrala, Sebastián Maldonado, Ingrid Mero, Nathaly Suarez, Glenda Vera, Kelvin Galdea y Naydely Franco por estar siempre ahí y apoyándome en todo, gracias a todas las personas que pude conocer en la universidad por brindarme su amistad, tiempo y creer en mí. A mi amiga y compañera de tesis Michelle por estar conmigo apoyándome y no permitir que me rindiera muchas gracias.

A mi mejor amiga, mi compi, mi hermana menor Rashell Alvarado desde que te conocí mi vida tuvo un cambio increíble, gracias por ser ese apoyo y considerarme tu mejor amigo, por soportarme, tienes un hermoso corazón. A mis amigos del baloncesto. Iris Erraez, Analí Solano, Mayerli Barre, Gabriela Bernabé, Emily Rivera, Dayanara Granja, Joel Matamoros, Rogger Tigrero, Pablo García, Tayron Muñoz y demás amigos, cada uno de ellos me enseñaron la lealtad y la amistad gracias por confiar y darme todo su apoyo.

Y por último agradezco a todas las personas que no creyeron en mí y dudaron que no podría cumplir este objetivo, gracias por darme ese empuje y ayudarme a saber que yo puedo con todo lo que me proponga. Y así mismo a todas las personas que confiaron en mí y en su momento me dieron palabras de aliento.

LUIS DAVID SORNOZA JORDAN

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	vii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	viii
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA.....	ix
AGRADECIMIENTOS	x
TABLA DE CONTENIDO	xiv
LISTA DE FIGURAS	xix
LISTA DE TABLAS	xxi
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT	xxiii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.2 ANTEDECENTES	6
1.3 HIPÓTESIS.....	8
1.3.1 Hipótesis General.	8
1.3.2 Hipótesis Específicas.	8
1.4 OBJETIVOS	8
1.4.1 Objetivo General.	8
1.4.2 Objetivos Específicos.	8
1.5 ALCANCE	10

1.6	VARIABLES	10
1.6.1	Variables Independientes:	10
1.6.2	Variables Dependientes	10
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO		11
2.1.	MATERIALES GRANULARES	11
2.1.1.	Clasificación de los materiales granulares.	11
2.2.	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	12
2.3.	TIPOLOGÍA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	12
2.4.	ESTABILIZAR SUELO-CEMENTO	12
2.4.1.	Ventajas de su uso.	13
2.4.2.	Tipo de Suelo.	13
2.4.2.1.	<i>Según su Granulometría.</i>	13
2.4.2.2.	<i>Tipo de Material.</i>	14
2.5.	MATERIAL GRANULAR DE LA CANTERA JUAN MONTALVO 15	
2.6.	CEMENTO	15
2.6.1.	Tipos de Cemento.	15
2.6.2.	Cemento General.	16
2.6.3.	Ventajas del uso de Cemento General.	16
2.7.	SUSCEPTIBILIDAD	17
2.8.	ENSAYOS DE LABORATORIO	17
2.8.1.	Contenido de humedad.	17
2.8.2.	Límites de Atterberg.	18
2.8.3.	Granulometría.	20
2.8.4.	Proctor Modificado.	21
2.8.5.	CBR.	22

2.8.6.	Abrasión de Los Ángeles.	23
CAPITULO III: METODOLOGÍA		25
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.	25
3.1.1.	Tipo.....	25
3.1.2.	Nivel.....	25
3.2.	MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION	26
3.2.1.	Método.....	26
3.2.2.	Enfoque.	26
3.2.3.	Diseño.	27
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	27
3.3.1.	Población.....	27
3.3.2.	Muestra.	28
3.3.3.	Muestreo.....	28
3.4.	UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO	28
3.4.1.	Cantera Juan Montalvo.....	28
3.5.	METODOLOGIA DEL OE.1: EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.	29
3.5.1.	Contenido de humedad.....	29
3.5.2.	Límites de Atterberg.....	29
3.5.3.	Granulometría.....	30
3.5.4.	Compactación Proctor Modificado.	32
3.5.5.	C.B.R.	33
3.5.6.	Abrasión de los Ángeles.....	34
3.6.	METODOLOGIA DEL OE.2: COMPROBAR LA EFICACIA DE LAS BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO	34
3.6.1.	Dosificación.....	35

3.6.1.1. <i>Material existente mezclado con cemento.</i>	35
3.6.2. Elaboración de probeta.	37
3.6.2.1. <i>Mezcla</i>	38
3.6.2.2. <i>Moldeo en Probetas.</i>	39
3.6.2.3. <i>Curado de probetas del suelo cemento.</i>	40
3.6.3. Proceso de saturación y no saturación.	40
3.6.3.1. <i>Proceso de no saturación.</i>	41
3.6.3.2. <i>Proceso de saturación.</i>	41
3.7. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	42
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.1, PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE LA CANTERA JUAN MONTALVO PARA SUBBASE	43
4.1.1. Clasificación del Suelo.	43
4.1.2. Propiedades mecánicas del suelo.	44
4.1.2.1. <i>Ensayo de límite de Atterberg.</i>	44
4.1.2.2. <i>Ensayo de CBR.</i>	45
4.1.2.3. <i>Ensayo de Abrasión.</i>	45
4.1.2.4. <i>Ensayo de Proctor modificado.</i>	46
4.1.3. Subbase	46
4.1.3.1. <i>Subbase Clase III.</i>	47
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.2, DOSIFICACIÓN ÓPTIMA PARA LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD	48
4.2.1. Resultados al ensayo de rotura con distintos porcentajes de cemento	49
4.2.2. Selección del porcentaje óptimo del cemento para la base estabilizada	51

4.2.3. Susceptibilidad a la humedad.	52
<i>4.2.3.1. Sin saturación de espécimen a los 4 días.</i>	52
<i>4.2.3.2. Saturación de espécimen a los 4 días.</i>	52
4.2.3.3. Sin saturación de espécimen a los 7 días.	52
<i>4.2.3.4. Saturación de espécimen a los 7 días.</i>	53
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
5.1 CONCLUSIONES.....	57
5.2 RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Clasificación AASHTO.....	14
Figura 2 Cantera Juan Montalvo.....	15
Figura 3. Materiales e implementos usados en el ensayo Contenido de Humedad	18
Figura 4 Estado de Plasticidad en Limites de Atterberg.....	19
Figura 5 Tamices usados en el ensayo de Granulometría.....	20
Figura 6 Preparación de la muestra para el ensayo Proctor Modificado	22
Figura 7 CBR	23
Figura 8 Límites de Atterberg-Implementos de Laboratorio	30
Figura 9 Realización del ensayo de Granulometría	31
Figura 10 Implementos para el ensayo de Granulometría	31
Figura 11 Compactación del Ensayo Proctor Modificado.....	32
Figura 12 Cilindros de Ensayo CBR antes de sumergir.....	33
Figura 13 Material Procesado por la maquina Abrasión de los Ángeles	34
Figura 14 Mezcla cemento + material granular	35
Figura 15 Cantidad de materiales a usarse en la mezcla.....	38
Figura 16 Proceso de Elaboración de la Mezcla.....	39
Figura 17 Proceso de saturación y no saturación.....	40
Figura 18 Densidad Seca Máxima VS % de Humedad	46
Figura 19 Clasificación Subbase III.....	47

Figura 20 Resistencia vs % de Cemento.....	50
Figura 21 Resistencia a los 7 días VS % de Cemento	51
Figura 22 Susceptibilidad a la humedad	53

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Coordenadas de la Cantera Juan Montalvo.....	28
Tabla 2 Contenido de Humedad.....	29
Tabla 3 Limites de Atterberg.	30
Tabla 4 Granulometría.	31
Tabla 5 Proctor Modificado.	32
Tabla 6 C.B.R.....	33
Tabla 7 Abrasión de los Ángeles.....	34
Tabla 8 Rangos Típicos de cemento según su clase de suelo	36
Tabla 9 Clasificación del Suelo.....	37
Tabla 10 Cuadro de Operacionalización de Variables.	42
Tabla 11 Resumen de los resultados de la clasificación del suelo.	44
Tabla 12 Resultado del ensayo de límite de Atterberg.	44
Tabla 13 Capacidad de soporte.	45
Tabla 14 Resultados de Abrasión de los Ángeles.	45
Tabla 15 Clasificación de la Subbase.....	47
Tabla 16 Porcentajes de cemento.	48
Tabla 17 Datos obtenidos para la dosificación.....	48
Tabla 18 Resistencia a la compresión a los 7 días	50
Tabla 19 Ensayo de Resistencia a los 7 días.	51
Tabla 20 Resultados del Ensayo de Resistencia.....	55

“EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD EN MATERIALES GRANULARES ESTABILIZADOS CON CEMENTO EN SANTA ELENA”

Autores: Tomalá Tomalá Michelle Carolina y Sornoza Jordan Luis David

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento, esto se llevó a cabo mediante la determinación de las propiedades mecánicas por ensayos de laboratorio de los materiales granulares para subbase en la provincia de Santa Elena y de la dosificación con el porcentaje óptimo de cemento para encontrar la base estabilizada. Se determinó que al obtener el porcentaje óptimo y evaluarlo al ensayo de rotura cumple con la resistencia mencionada en la norma de 21 kg/cm² por el cual nos arrojó un valor de 26,14 kg/cm² al no ser saturada y de 27,37 kg/cm² al saturarla, en donde el material granular es apto para realizar una base estabilizada con cemento. El estudio concluye que la incidencia del coeficiente de drenaje que es un factor esencial en el diseño de pavimento, cuyo valor entre los especímenes saturados y no saturados es de 1,23, cumple con el valor mencionado de m (coeficiente de drenaje) de 1 en la norma MTOP.

PALABRAS CLAVE: Cemento, Material Granular, Susceptibilidad, Dosificación, Proctor.

“EVALUATION OF MOISTURE SUSCEPTIBILITY IN
CEMENT- STABILIZED GRANULAR MATERIALS IN SANTA
ELENA”

Autores: Tomalá Tomalá Michelle Carolina y Sornoza Jordan Luis David

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the susceptibility to moisture in granular materials stabilized with cement, this was carried out by determining the mechanical properties by laboratory tests of granular materials for subbase in the province of Santa Elena and the dosage with the optimum percentage of cement to find the stabilized base. It was determined that by obtaining the optimum percentage and evaluating it in the breaking test, it complies with the resistance mentioned in the standard of 21 kg/cm², which gave us a value of 26.14 kg/cm² when not saturated and 27.37 kg/cm² when saturated, where the granular material is suitable for making a base stabilized with cement. The study concludes that the incidence of the drainage coefficient, which is an essential factor in pavement design, whose value between the saturated and unsaturated specimens is 1.23, complies with the aforementioned value of m (drainage coefficient) of 1 in the MTOP standard.

KEYWORDS: Cement, Granular Material, Susceptibility, Dosage, Proctor.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

Desde hace algún tiempo las bases tratadas con cemento han sido usadas en miles de kilómetros de carreteras de importancia estratégica, al igual que en calles de menor importancia, caminos de bajo volumen de tránsito y áreas de parqueo. Más recientemente, el tratamiento con cemento ha sido efectivo en reciclaje y reconstrucción de viejos pavimentos, o pavimentos que soportan cargas pesadas provenientes de vehículos industriales.

Sin embargo, no hay demasiados estudios acerca de la susceptibilidad en estas bases, por lo cual nosotros mediremos la resistencia de esta base estabilizada sometida a varios parámetros de humedad con el cual evaluaremos la susceptibilidad de los materiales usados y así encontrar su respectivo coeficiente de drenaje del pavimento. Esto con la intención de ampliar el conocimiento en cuanto al diseño y aplicación de métodos constructivos relacionados con el suelo-cemento en el país y acelerar la recuperación de infraestructura vial.

Muchos de los pavimentos con bases estabilizadas con cemento tienen capas de base con un espesor aproximado de 150 mm, el cual es adecuado para caminos secundarios y calles residenciales. En tanto que uno de base estabilizada con cemento entre 175 a 200 mm suele ser aplicado en caminos primarios y caminos secundarios de alto tránsito. Espesores de 230 mm o mayores están siendo usados para soportar vehículos pesados.

El cemento se puede incorporar al material de base para mejorar propiedades como: la resistencia mecánica, la resistencia a las condiciones del clima (especialmente ante altos índices de saturación), los indicadores de plasticidad o la degradabilidad (meteorabilidad) de los agregados; además permite el reciclado de pavimentos existentes severamente deteriorados, así como el uso de materiales que no cumple

con las especificaciones técnicas para base granular. Esto es especialmente importante en zonas donde no se cuenta con buenas fuentes de agregados

Para su correcta aplicación se debe determinar en laboratorio la óptima combinación del agregado, el agua, el cemento y la energía de compactación. Los cuatro parámetros son de mucha importancia para garantizar el mínimo costo y un exitoso desempeño de la base estabilizada y del pavimento, lo que conlleva también la disminución del potencial de agrietamiento.

Específicamente, el incremento en la energía de compactación permite usar menor cantidad de cemento para alcanzar una resistencia determinada, con la consecuente disminución del índice de contracción y un menor costo del aditivo. Por lo tanto, es muy apropiado estudiar con mayor profundidad la compactibilidad de los agregados.

Adicionalmente los procedimientos constructivos y de control de calidad son elementos fundamentales para lograr dichos objetivos. A escala de laboratorio también se han logrado interesantes resultados utilizando simultáneamente cemento y cal (50% de cada uno), con lo que se logra más bajos índices de contracción de fraguado (menor agrietamiento del pavimento) y mejor desempeño de materiales con altos índices de plasticidad. Hace falta la experimentación en el campo para determinar la viabilidad técnica y económica de esta alternativa.

Las bases estabilizadas con cemento han mostrado ser una alternativa muy importante para la construcción de pavimentos. Su aporte estructural, la variabilidad de materiales en las distintas zonas del país, el clima lluvioso y la presencia de zonas con niveles freáticos altos favorecen la aplicación de esta tecnología. (Arce, 2011)

Aunque la susceptibilidad al sulfato es conocida por tener un efecto adverso en la calidad del concreto endurecido, no es muy conocido su efecto en los materiales estabilizados con cemento. Si embargo, sí se sabe que los materiales granulares tratados con cemento no aparentan tener susceptibilidad al ataque del sulfato. También se sabe que el uso de cementos resistentes al ataque del sulfato puede ser

efectivo en materiales granulares tratados con cemento expuestos a suelos adyacentes y/o aguas subterráneas con altas concentraciones de sulfato. Conviene comentar que el agrietamiento de la base estabilizada, especialmente a un nivel igual o inferior al que aquí se señala como moderado, no afecta negativamente, ni la vida útil ni el desempeño a largo plazo de la estructura del pavimento, siempre y cuando el diseño en laboratorio, así como el proceso constructivo y de control de calidad de la base se haya ejecutado correctamente. Desde luego se supone que el diseño estructural y el mantenimiento del pavimento se realizan de forma adecuada. Sobre este tópico conviene ampliar la investigación con el propósito de lograr un mejor aprovechamiento de las bases estabilizadas de alta resistencia.

Al hablar de las ventajas del uso de las bases estabilizadas, con respecto al uso de una base granular convencional, se debe considerar el hecho de que la estabilización con cemento permite una mayor resistencia del material ante los agentes atmosféricos, dicho incremento en la durabilidad es un aspecto muy atractivo principalmente en países como el nuestro, donde las constantes precipitaciones en combinación con deficiencias en el sistema de drenaje de los pavimentos provocan que dichas estructuras estén expuestas a altos niveles freáticos. (Arce, 2011)

Desde el punto de vista ambiental, la implementación de bases estabilizadas con cemento representa una gran ventaja, ya que, al mejorar las propiedades mecánicas de un material, se reduce la necesidad de buscar y explotar fuentes de agregado de muy alta calidad. En términos generales, una base estabilizada modifica la forma en la que pavimento responde ante las cargas, es por esto por lo que los pavimentos que cuentan con una base estabilizada en su estructura son denominados pavimentos semirrígidos, pues por su resistencia, la base estabilizada tiende a comportarse similar a una losa de concreto.

Dicho comportamiento como ya se mencionó puede llegar a ser muy ventajoso, sin embargo, debe ser abordado cuidadosamente, ya que al igual que una losa de concreto, la base estabilizada puede agrietarse por un inadecuado proceso de curado o por un exceso en su resistencia.

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El daño por humedad es uno de los problemas más comunes en los pavimentos asfálticos en países tropicales como en Ecuador y específicamente en Santa Elena. Estas zonas son expuestas a periodos prolongados de lluvia, la susceptibilidad al daño por humedad “Moisture Damage” es uno de los más analizados a nivel mundial debido al impacto económico que tiene en los pavimentos.

La mayoría de los países como en Ecuador tienen problemas en sus carreteras por presencia de agua y han tomado medidas para mitigarlo, que van desde el control en los procesos constructivos hasta la aplicación de agentes antistripping. Sin embargo, no siempre los resultados han sido favorables y se ha discutido en diversos espacios, cuál debe ser la solución para evitar los daños generados por humedad. El problema no es fácil de abordar, porque en este modo de daño se involucran diversas variables: agregados, asfalto, mastic, vacíos, adhesión y cohesión.

El daño por humedad está muy relacionado con el enlace por cohesión, que involucra la fuerza de cohesión del asfalto y con el enlace por adhesión, que más bien tiene que ver con la fuerza de interacción entre el agregado y el asfalto. Se ha convertido en tópico de algunas investigaciones durante los últimos años; principalmente se ha analizado el desempeño del ligante asfáltico, los materiales granulares, las características ambientales enfocadas a los cambios de temperatura y las cargas a que está sometida la mezcla. Además de estos existen otros parámetros que afectan el comportamiento de la infraestructura que no son tomados en cuenta a la hora de realizar el diseño y construcción de una vía, generando un aumento de los costos en las etapas de mantenimiento por la concepción de problemas prematuros, disminuyendo su vida útil. Por ello se hace necesario mejorar las características de los asfaltos mediante técnicas que permitan optimizar sus propiedades. (Sanchez Millan & Vega Ramirez, 2016)

Según investigaciones realizadas, los daños más severos que sufren los pavimentos asfálticos en Ecuador son causados por problemas de drenajes que pueden afectar los materiales granulares, lluvia durante la colocación de la mezcla, acción intensa

del agua u otros agentes abrasivos además del tránsito, problemas de adherencia entre agregado y asfalto, entre otras. Ante ello, es indispensable al momento del diseño y construcción, tener en cuenta la influencia que tiene el ambiente en el desempeño de esta serie de materiales.

Esto a su vez provocan un deterioro progresivo en el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica, siendo una de las principales causas de falla, debido a la pérdida de la unión adhesiva entre el cemento asfáltico o base estabilizada y el agregado pétreo o por la pérdida de resistencia cohesiva del cemento asfáltico principalmente por la acción del agua. Existen menos 6 mecanismos de falla diferentes pueden ser asociados con el daño por humedad y los desprendimientos de agregado, los cuales pueden ocurrir individual o simultáneamente. espontánea, presión de poro, socavación hidráulica y efectos ambientales.

Se han realizado numerosos esfuerzos para desarrollar un método experimental en laboratorio capaz de predecir el desempeño de los pavimentos asfálticos ante el fenómeno de daño por humedad (Sanchez Millan & Vega Ramirez, 2016) Actualmente existen muchos procedimientos que pueden ser utilizados para evaluar de manera cualitativa o cuantitativa la susceptibilidad al daño por humedad tanto en los materiales primarios (asfalto y agregados) como en la mezcla asfáltica. Sin embargo, estos métodos arrojan resultados con baja o nula correlación con los resultados de las evaluaciones en campo.

El agua presenta elementos como oxígeno y compuestos que pueden originar cambios en las propiedades químicas y físicas del asfalto a largo plazo, principalmente cuando la interfaz ligante-pétreo es delgada como ocurre en mezclas asfálticas. Por lo anterior, en el presente estudio se ejecutó una fase experimental tendiente a analizar la influencia que tiene el ligante asfáltico sobre el fenómeno de daño por humedad, evaluando tan solo el efecto del agua, es decir, no se tendrán en cuenta el efecto que puede causar el aire y los cambios de temperatura o la combinación aire-agua-temperatura.

El fenómeno de daño por humedad es complejo, ya que involucran aspectos físicos, químicos, mecánicos y termodinámicos. Mencionan adicionalmente que este fenómeno es función de la tensión superficial entre el agregado pétreo y el asfalto, y que el empleo de ligantes más viscosos genera mayor resistencia al daño por humedad. Además, sugieren que mezclas sometidas a ciclos de humedecimiento-secado o congelamiento-deshielo, o agregados pétreos angulares pueden incrementar el potencial de stripping (este último debido a que las caras angulares son más difíciles de recubrir con asfalto). El estado del conocimiento en esta área es que, a pesar del alto número de investigaciones realizadas, el fenómeno de daño por humedad y las causas que lo generan no han sido totalmente entendidas e identificadas.

Con el fin de poder obtener datos donde podamos observar la humedad en bases estabilizadas con cemento y ver su resistencia en diferentes días, saber si al usar el coeficiente de drenaje que aplicamos es correcto y así evitar daños que incide en la generación de otros modos de deterioro de mezclas asfálticas en servicio como son el agrietamiento por fatiga, agrietamientos tipo TDC (Top Down Cracking asociados a fenómenos térmicos, envejecimiento del ligante asfáltico, entre otros) y el ahuellamiento o roderas. Como resultado tendríamos el coeficiente de drenaje el que utilizamos si es acorde o no y poder evitar este tipo de daño en nuestros pavimentos y asegurar una vía segura para los usuarios y que el pavimento tenga una vida útil mayor a lo estimado.

1.2 ANTECEDENTES

En el ámbito internacional, se puede citar a (Ortiz Amaya & Díaz Zambrano, 2019) basado en el “Diseño y análisis de bases estabilizadas con cemento tipo UG (uso general) y MCH (moderado calor de hidratación)”. Investigación que tuvo como objetivo diseñar y analizar probetas con distintos porcentajes y tipos de cemento (UG y MCH), para poder realizar este estudio se escogió una base granular clase A según la especificación técnica IDU, la cual se obtuvo de la Cantera El Pencal, localizada en la vereda Balsillas, municipio de Mosquera en el departamento de Cundinamarca, Colombia. Se estudiaron las probetas realizadas con cemento mediante caracterización del material granular, determinación del diseño de

mezclas y evaluación de esta mediante ensayos de rotura que permitieron ver la resistencia a la que se llegaba con distintos porcentajes de cemento. El estudio tuvo como resultado que entre más material fino que tenga la base, cuando se mezcla con cualquier tipo de cemento se necesita menos agua para llegar a la densidad seca máxima, así mismo se obtuvo que el porcentaje óptimo para llegar a la resistencia requerida fue con el 4% de cemento llegando a una resistencia de 3,8 MPa con cemento MCH y 4,2 MPa con cemento UG.

En el ámbito nacional, no se registran investigaciones en el que pongan a prueba la susceptibilidad a la humedad en bases estabilizadas, pero se tomó en cuenta la siguiente tesis de (Valle Gómez, 2009) basado en “Diseño de la dosificación para hormigón compactado con rodillo y base estabilizada con cemento para su uso en las vías de Manabí”. Se realizaron varios estudios físico-mecánicos mediante ensayos de laboratorio, lo cual les permitió realizar un diseño óptimo para dicha vía obteniendo, así como resultado una dosificación con una resistencia de flexión óptima de 4,5 MPa en el cual la compactación jugó un rol importante al momento de alcanzar dicha resistencia.

En el ámbito local, se puede resaltar la tesis de (Clemente Panchana & Ramírez Baquerizo, 2019) basado en “El análisis comparativo de la Estabilización del material de la cantera “La Negrita” utilizando cemento, Terrasil, Zycobond”. Esta investigación tuvo como objetivo el análisis técnico-económico de la estabilización del material de la cantera “La Negrita” ubicado en la vía Punta Carnero del Cantón Salinas. Se estudiaron los distintos resultados de las dosificaciones hechas con 4 alternativas: Material Granular con Cemento MH, Material con Terrasil, Material con Terrasil + Cemento, Material con Terrasil + Zycobond + Cemento. Los autores de esta tesis concluyeron que las bases estabilizadas con cemento aportan eficiencia a los pavimentos rígidos y flexibles, además del incremento de la capacidad de carga de la plataforma ayuda a reducir el espesor de la estructura de la vía.

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis General.

La evaluación al estado de saturación y no saturación de materiales estabilizados con cemento mediante ensayos de rotura permitirá identificar si estos materiales son óptimos para la implementación de bases estabilizadas con cemento en la provincia de Santa Elena.

1.3.2 Hipótesis Específicas.

H.E.1.: Con la estabilización de granulares con cemento se logrará mejorar su comportamiento y definir de mejor forma el coeficiente de drenaje para el diseño de estructuras de pavimento.

H.E.2.: Cuan susceptible será el material granular estabilizado con cemento frente al cambio de humedad.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General.

Evaluar la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento mediante el análisis de resultados de ensayos de laboratorio de suelos para determinar la viabilidad de la implementación de bases estabilizadas con cemento en la provincia de Santa Elena.

1.4.2 Objetivos Específicos.

O.E.1.: Evaluar los resultados de los ensayos de laboratorio mediante un análisis de la muestra de la cantera Juan Montalvo para la determinación de la resistencia de las probetas a realizarse.

O.E.2.: Comprobar la eficacia de las bases estabilizadas con cemento mediante los ensayos de rotura para hacer frente a varios agentes perjudiciales como los altos contenidos de humedad en Santa Elena.

1.5 ALCANCE

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo medir la resistencia de una base estabilizada con cemento en la provincia de Santa Elena, la cual es sometida a varios parámetros de humedad, es decir se evalúa su susceptibilidad a la humedad en los materiales granulares que se usaran en la dosificación de las probetas que emplearemos para medir su resistencia.

Para lograr dicho objetivo se deberá emplear varios ensayos de laboratorio, entre los cuales tenemos: Contenido de Humedad, límites de Atterberg, granulometría, Proctor, CBR, abrasión.

De la misma manera luego de obtener los resultados de dichos ensayos se seleccionarán los materiales adecuados para la dosificación de las probetas.

1.6 VARIABLES

1.6.1 Variables Independientes:

- Contenido de cemento
- Tipo de material granular

1.6.2 Variables Dependientes

- Susceptibilidad a la humedad

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Incorpora los principios científicos o tecnológicos esenciales que respaldan la investigación de tesis y, al obtenerlos de fuentes a nivel mundial, es crucial citarlos. Es necesario abordar el panorama actual del conocimiento para contrastar esta información con los hallazgos del estudio y, al mismo tiempo, respaldar las conclusiones.

2.1. MATERIALES GRANULARES

(C. Chávez, 2014 manifiesta que los materiales granulares son fragmentos de roca producidos por acciones erosivas. Su tamaño y forma depende de: la calidad de la roca madre de donde se originaron, del grado de meteorización, y del desgaste que haya sufrido durante el transporte. Se encuentran en sitios muy variados en la superficie terrestre. Se localiza en: los depósitos glaciares, los fondos de los valles, acumulaciones volcánicas, las brechas de falla, los lechos de los ríos y lagos, y los mares.

2.1.1. Clasificación de los materiales granulares.

(C. Chávez, 2014) menciona que la clasificación clásica de los materiales granulares se basa en los tamaños de las partículas que los conforman. Partiendo de un tamaño menor hacia uno mayor tenemos: limos, arenas, gravas, y escolleras. Esta clasificación nos dice poco de su comportamiento, por lo que para obtener una descripción completa se acude a otras características, como: origen geológico, composición mineralógica, grado de alteración, resistencia y existencia de planos de fracturación, forma de la partícula, es decir una descripción geotécnica.

2.2. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

(Alarcón et al., 2020) manifiestan que el estudio de estabilización de suelos surge como alternativa en la construcción de vías para reemplazar los materiales convencionales usados en las capas granulares y/o mejorar la subrasante de las estructuras del pavimento, a la vez que se aprovechan los residuos de la extracción del petróleo, buscando mitigar los impactos negativos al medio ambiente.

2.3. TIPOLOGÍA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Es necesario tomar en cuenta, que la estabilización de suelos no es una herramienta aplicable a todo tipo de suelo, es importante conocer las condiciones de éste, para tener en claro que parámetros se van a mejorar. Las propiedades del suelo se pueden alterar de diferentes maneras y en la actualidad existen diversos tipos de estabilización que se han desarrollado a través del tiempo con la ayuda de proyectos de investigación.

Cuando se define el termino de estabilización de suelo es correcto analizar y comprender que el mejoramiento es una medida que mejora las propiedades naturales de los suelos. Por otro lado, hay que recalcar que estos métodos solo se aplican a un grupo seleccionado de materiales. Por lo tanto, existen parámetros mecánicos que los ingenieros civiles en obras deben tomar en cuenta, para seleccionar el método de estabilización más adecuado de acuerdo con las propiedades que se deseen mejorar.

2.4. ESTABILIZAR SUELO-CEMENTO

(Yepes Piqueras, 2020) mencionó que al fraguar e hidratarse los silicatos y aluminatos cálcicos anhidros, une las partículas del suelo, reduce su sensibilidad al agua, disminuye la deformación del suelo estabilizado y proporciona cierta resistencia a tracción según la dosificación empleada. Se pueden estabilizar tanto los suelos granulares como los de grano fino, excepto si son muy plásticos o presentan mucha humedad. En este último caso, se podrían tratar previamente con cal. No se podrán utilizar suelos con material vegetal u orgánica, o cualquier otra

sustancia que perjudiquen el fraguado del cemento. Según las propiedades de la mezcla resultante, el suelo estabilizado con cemento se puede dividir en dos grupos:

✓ Suelos mejorados con cemento, al que se agrega una cantidad relativamente pequeña de cemento para mejorar algunas propiedades, como es su sensibilidad a los cambios de humedad o su mayor capacidad de soporte, quedando suelto el material tras su tratamiento. Es una técnica orientada a mejorar las mencionadas.

✓ Suelos estabilizados con cemento, donde tras el fraguado del cemento, se obtiene un material con cierta resistencia mecánica. No se trata de un hormigón, pues los granos no se ven envueltos en pasta de cemento, sino que su unión es puntual.

2.4.1. Ventajas de su uso.

Hoy en día existe un mayor uso del suelo-cemento en la construcción de pavimentos, ya que existe una demanda en transporte y a su vez se requiere de una mayor calidad y durabilidad de los materiales en los pavimentos y subrasantes. Es por ello por lo que debemos contar con pavimentos con una mayor capacidad de soporte y resistencia que los agentes atmosféricos, pues es notable su durabilidad bajo climas extremos. De esta manera, al utilizar suelo-cemento en pavimentos se consigue un material, además de económico, más amigable con el medio ambiente.

Otra ventaja con el suelo-cemento es que existe una posibilidad de reducir el espesor de las capas que conforman un pavimento, obviamente, sin reducir su capacidad estructural. Gracias a su elevado módulo de elasticidad podemos obtener un ahorro significativo en materiales, lo que aumenta el rendimiento en su construcción. Esta técnica permite pavimentar caminos rurales, vías urbanas, interurbanas e incluso pavimentos industriales.

2.4.2. Tipo de Suelo.

2.4.2.1. Según su Granulometría.

De acuerdo con la tabla de la Ilustración 2: Clasificación AASHTO de nuestro suelo se clasifica como uno tipo A-1-a (0) debido a que pasa el 2,66% del Tamiz N°200, el 13,43% del Tamiz N°40 y el 24,80% del Tamiz N°10.

Figura 1

Clasificación AASHTO

Tabla 1.7 Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra total pasa la malla núm. 200)						
	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por mallas (% que pasa)							
Malla núm. 10	50 máx						
Malla núm. 40	30 máx	50 máx	51 mín				
Malla núm. 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Para la fracción que pasa Malla núm. 40							
Límite líquido (LL)				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad (IP)	6 máx		No plástico	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipo usual de material	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Clasificación de la capa	Excelente a buena						

Clasificación general	Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7
				A-7-5 ^a A-7-6 ^b
Análisis por mallas (% que pasa)				
Malla núm. 10				
Malla núm. 40				
Malla núm. 200	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Para la fracción que pasa Malla núm. 40				
Límite líquido (LL)	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad (IP)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipo usual de material	Principalmente suelos limosos		Principalmente suelos arcillosos	
Calificación subrasante	Regular a malo			

^aSi IP ≤ LL - 30, la clasificación es A-7-5.

^bSi IP > LL - 30, la clasificación es A-7-6.

Nota: Tomado de (Das, 2012)

2.4.2.2. Tipo de Material.

Según nuestra granulometría nuestro suelo es considerado como una subbase clase III, lo cual es más detallado en los anexos de los ensayos de laboratorio.

2.5. MATERIAL GRANULAR DE LA CANTERA JUAN MONTALVO

Se encuentre la concesión minera “Juan Montalvo”, a cargo del Ministerio de Transporte y Obras Públicas para fines de libre aprovechamiento, ubicada en la Parroquia de Santa Elena (X= 534764; Y= 9747933), con un área de 11 hectáreas.

Figura 2

Cantera Juan Montalvo



2.6. CEMENTO

“El cemento es una mezcla de diferentes materiales seleccionados extraídos, proporcionados y calcinados a una temperatura de fusión, para lograr una composición química muy adecuada para los diferentes usos, ya que al mezclarla con agua sufren cambios químicos que con el pasar del tiempo se endurecen como una piedra. De la misma manera, se define como cemento a los conglomerantes hidráulicos que combinándolos con agua se obtendrá una mezcla en forma de pasta, se fragua y se endurecen a causa de la reacción de hidrolisis e hidratación de sus componentes.”

2.6.1. Tipos de Cemento.

La norma C150/INEN 152 clasifica los tipos de cementos Portland puros de la siguiente manera:

- ✓ Tipo I (cemento común)
- ✓ Tipo II (cemento transformado)
- ✓ Tipo III (cemento de alta resistencia preliminar)
- ✓ Tipo IV (cemento de escaso calor de filtración de agua)
- ✓ Tipo V (cemento invulnerable a los sulfatos)
- ✓ Cemento con inclusión de aire C150 (1A, 2A y 3A)

Norma ASTM C159/INEN 490, clasifica los tipos de cemento de la siguiente manera: TIPO IS (Cemento Portland con desecho al hornillo), TIPO IP (Cemento

2.6.2. Cemento General.

El cemento Holcim Fuerte Tipo GU por su gran durabilidad, resistencia y calidad es ideal para todo tipo de construcción: albañilería en general, cimentaciones, columnas, vigas, pilares, losas, morteros, estabilización de suelos, vías, pisos industriales, tanques, y canales de agua no residual, prefabricados livianos tales como bloques, adoquines, tuberías, postes, etc. Usos:

- ✓ Concretos estructurales como: losas, columnas, plintos, vigas, riostras, cadenas.
- ✓ Producción de elementos prefabricados.
- ✓ Vías y pavimentos.
- ✓ Mortero para nivelación de pisos.
- ✓ Elaboración de morteros para mampostería: enlucido y pegado de bloques.
- ✓ Fabricación de mortero para pegar piezas de porcelanato/cerámica.
- ✓ Trabajos de albañilería en general.

(DISENSA ECUADOR, 2023)

2.6.3. Ventajas del uso de Cemento General.

- ✓ Mejora la trabajabilidad de las mezclas.

- ✓ Reduce la segregación y la exudación.
- ✓ Reduce el calor de hidratación y la tendencia a la fisuración.
- ✓ Buen desempeño de fraguado.
- ✓ Resistencia adecuada, desempeño uniforme.

(DISENSA ECUADOR, 2023)

2.7. SUSCEPTIBILIDAD

(Alvarez et al., 2019) mencionan que los materiales granulares de subbase y base empleados en estructuras de pavimento son susceptibles a degradarse debido a múltiples factores inherentes a los procesos de producción, construcción y operación vial.

La susceptibilidad se define como los efectos causados por la humedad, en el caso de los materiales granulares, estos son sometidos a saturación y se produce un desgaste en el mismo.

2.8. ENSAYOS DE LABORATORIO

(Das, 2012) afirma que las propiedades geotécnicas de un suelo, como su distribución granulométrica, plasticidad, compresibilidad y resistencia cortante, se pueden evaluar mediante pruebas de laboratorio adecuadas, para obtener resultados beneficiosos para poder encontrar nuestra subbase.

2.8.1. Contenido de humedad.

El contenido de agua es utilizado para expresar la relación entre las fases del aire, agua y sólidos en un volumen de material dado. Es una de las propiedades índice más significativas utilizadas para establecer correlaciones entre el comportamiento del suelo y sus propiedades.

La realización del ensayo de contenido de humedad se ha revelado como un componente esencial para la comprensión de las propiedades fundamentales del suelo bajo examen. Los resultados obtenidos ofrecen un análisis detallado de la

presencia de agua en la muestra, constituyendo información indispensable para diversas áreas de la ingeniería geotécnica y la construcción.

La variabilidad en el contenido de humedad a lo largo de diferentes muestras proporciona una visión integral sobre cómo el suelo reacciona ante las condiciones ambientales y cómo su estructura puede ser influenciada por cambios en la humedad. Este conocimiento resulta fundamental para la evaluación de la estabilidad del suelo y su respuesta ante cargas y tensiones en distintas circunstancias.

Figura 3.

Materiales e implementos usados en el ensayo Contenido de Humedad



2.8.2. Límites de Atterberg.

(Das, 2012) menciona que cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, puede fluir como un semilíquido. Si el suelo se seca gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de humedad. El contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo cambia de un estado líquido a uno plástico se define como límite líquido (LL).

De manera similar, el contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo cambia de un estado plástico a uno semisólido y de un estado semisólido a uno sólido se definen como límite plástico (LP) y límite de contracción (LC), respectivamente. A estos límites se les refiere como límites de Atterberg.

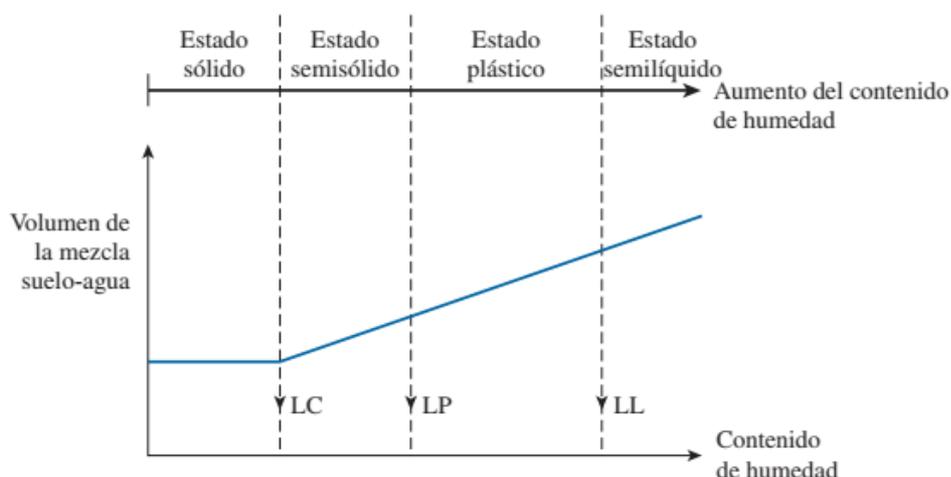
Limite Líquido LL: este límite permite separar el estado plástico del semilíquido, se define al amasar el suelo seco previamente desagregado con una cantidad específica de agua y al extenderlo sobre un molde conocido como Cuchara de Casagrande. Se utiliza un ranurador para crear un canal pequeño, aproximadamente de 2 mm de ancho en la parte inferior de la muestra. El Limite Líquido (LL) representa la humedad de la muestra cuando, después de 25 golpes de la cuchara de Casagrande, se logrará cerrar dicho canal.

Limite Plástico LP: este límite permite separar el estado semisólido del plástico. Se determina al mezclar el suelo seco con una cantidad reducida de agua y al formar cilindros con la palma de la mano sobre una superficie plana hasta que alcancen un diámetro de 3 mm y una longitud de 25 a 30 mm. Cuando empiezan a aparecer grietas en fragmentos de aproximadamente 6 mm, la humedad en ese momento corresponde al límite plástico.

Una vez que se han establecido tanto el límite líquido como el límite plástico, es posible determinar el Índice de Plasticidad (IP), el cual se calcula como la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) ($IP=LL-LP$). Este índice representa el rango de humedades que indican la transición del estado semisólido al semilíquido.

Figura 4

Estado de Plasticidad en Límites de Atterberg



Nota: Tomado de (Das, 2012)

2.8.3. Granulometría.

(Ingeniero de Caminos, 2023) manifiestan que el suelo está formado por un conjunto de partículas discretas de diversas formas y tamaños. El objetivo del análisis granulométrico consiste en agrupar y clasificar las partículas que forman los suelos separándolas en intervalos de tamaños y determinando la proporción relativa en peso de cada rango de tamaño.

Las gravas corresponden a la sección de partículas más gruesas incluye todos los granos de tamaños mayores que el tamiz N°4 (4.76 mm), las arenas corresponden a aquellas partículas menores que el tamiz N°4 y mayores que el tamiz N° 200 (0.074 mm). La última sección corresponde a los suelos de grano fino, limos que son aquellos con tamaños de partículas mayores a 0.002 mm y arcillas cuyas partículas se consideran en tamaños menores que 0.002 mm.

La evaluación granulométrica ha suministrado información valiosa sobre el suelo investigado, categorizándolo conforme a la normativa geotécnica como tipo A-1-a. Este resultado indica que el suelo exhibe una distribución de partículas equilibrada, destacándose la presencia predominante de arcillas y atribuyéndole propiedades cohesivas excepcionales.

El análisis detallado de la composición granulométrica revela la existencia de partículas finas, especialmente arcilla, con una proporción significativa de partículas gruesas prácticamente nula. Este perfil granulométrico característico sugiere la alta cohesión del suelo, teniendo repercusiones significativas en términos de plasticidad y resistencia al corte.

Figura 5

Tamices usados en el ensayo de Granulometría



2.8.4. Proctor Modificado.

(ETSI, 2015) menciona que se emplea para determinar la relación densidad seca – humedad de compactación de los materiales a utilizar en explanadas y en capas de firmes, y como referencia para el control de calidad de la compactación en obra.

El Proctor modificado nos permite obtener la densidad al compactar. Al utilizar nuestro material, pudimos alcanzar la densidad máxima mediante compactaciones por capas, durante las cuales aplicamos 56 golpes por capa. Esto, a su vez, nos permite obtener la primera parte de nuestro objetivo relacionado con bases estabilizadas con cemento.

Al alcanzar la máxima densidad seca junto con el contenido de humedad óptimo, se establecen condiciones propicias para la compactación de la subbase, asegurando una base robusta y de larga duración para el pavimento.

La designación como Subbase Clase 3 indica que el material es idóneo para proporcionar apoyo estructural y estabilidad a la capa superior del pavimento. La capacidad de la subbase para resistir cargas y distribuir eficazmente las tensiones resulta crucial para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la infraestructura vial.

En síntesis, el ensayo de Proctor ha ratificado la clasificación de la subbase como Clase 3, suministrando información esencial para la fase de diseño y construcción. La comprensión detallada de las propiedades específicas de compactación respalda la toma de decisiones fundamentadas en la implementación de este material en proyectos de construcción de carreteras y pavimentos, asegurando un rendimiento estructural óptimo y duradero.

Mediante este ensayo se pudo obtener datos de importante relevancia como la densidad seca máxima y el porcentaje óptimo de humedad, los cuales nos servirán

para el cálculo de la dosificación de nuestras probetas con distintos porcentajes de cemento.

Figura 6

Preparación de la muestra para el ensayo Proctor Modificado



2.8.5. CBR.

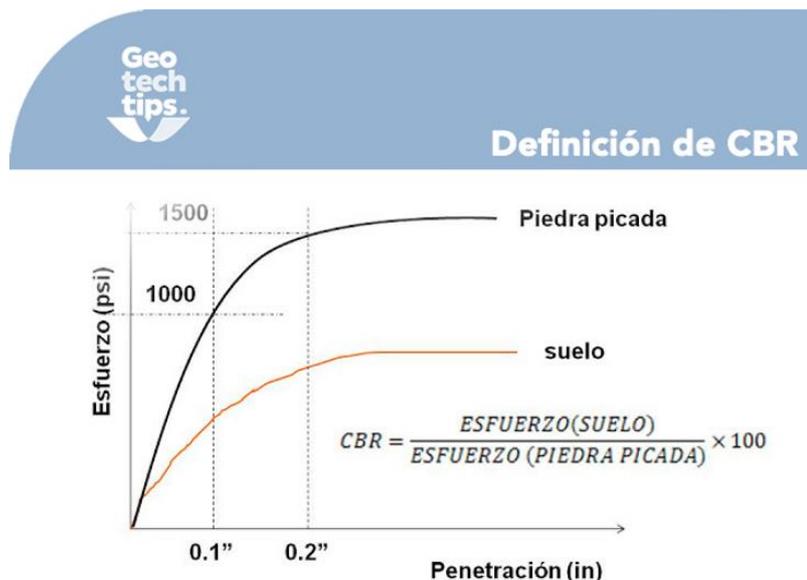
(J. Sánchez, 2018) menciona que el CBR es un ensayo para evaluar la calidad del material de suelo con base en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala. CBR significa en español relación de soporte California, por las siglas en inglés de «California Bearing Ratio», aunque en países como México se conoce también este ensayo por las siglas VRS, de Valor Relativo del Soporte.

El cálculo del índice CBR y la comparación con normativas y estándares específicos han proporcionado datos significativos acerca de la aptitud del suelo para resistir cargas, brindando conocimientos esenciales para el diseño estructural. La repetición del ensayo en diversas condiciones de humedad ha mejorado la comprensión de las propiedades geotécnicas del suelo, generando una visión más abarcadora y sólida.

Los valores obtenidos del índice CBR constituyen una medida cuantitativa precisa de la resistencia del suelo en condiciones de carga específicas. La variabilidad registrada en diversos puntos del lugar y en distintas condiciones de humedad ha posibilitado la identificación de patrones y tendencias fundamentales en la capacidad de soporte del suelo.

La confrontación de estos resultados con las normativas y estándares geotécnicos pertinentes ha confirmado la robustez del ensayo, facilitando así la interpretación de los datos. Se evidencia que la subbase clase 3 exhibe arena, grava y arcilla, aspecto que repercute directamente en las estrategias de diseño y construcción de infraestructuras en la región.

Figura 7
CBR



Nota: Tomado de (J. Sánchez, 2018)

2.8.6. Abrasión de Los Ángeles.

(Quispe Mamani, 2023) manifiesta que este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.5 mm mediante la máquina de Los Ángeles. Este ensayo se usa para obtener el porcentaje de degradación que tienen los áridos, para este ensayo se usa la máquina de Abrasión de Los Ángeles que simula un estado de desgaste al momento de rodar

con las bolas metálicas según lo establecido en el método escogido de acuerdo con la granulometría hecha del material granular.

Los resultados de la prueba indican la capacidad del material de resistir la abrasión y el desgaste bajo condiciones simuladas de tráfico y carga. La menor pérdida de peso observada en la subbase Clase 3 demuestra una mayor resistencia a la abrasión, lo cual es crucial para garantizar la durabilidad a largo plazo de las estructuras viales.

Se ha demostrado poseer propiedades de resistencia al desgaste favorables según los resultados del ensayo de abrasión de Los Ángeles. Estos datos contribuyen significativamente a la toma de decisiones en la ingeniería de pavimentos, respaldando la implementación de materiales duraderos y sostenibles en proyectos de construcción de carreteras y otras infraestructuras.

Figura 8

Máquina de Abrasión de Los Ángeles



Nota: Tomado de (Quispe Mamani, 2023)

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

3.1.1. Tipo.

De acuerdo con (Murillo, 2008), esta investigación es de tipo aplicada, porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad.

El propósito de la investigación es aplicar los conocimientos teóricos y científicos existentes para abordar un problema o desafío específico en la práctica y obtener resultados acerca de la evaluación de la susceptibilidad en materiales estabilizados con cemento. El análisis comprende estudios de laboratorio y de campo, donde se identificó el material granular en la cantera Juan Montalvo en Santa Elena.

3.1.2. Nivel.

El estudio concierne a un nivel de investigación exploratoria, que según lo expuesto por ((Fidias G Arias, 2006) , este estudio efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos que proporcionan un sentido de entendimiento de lo estudiado.

En la investigación se da a conocer que se adquiriera familiaridad con el tema y logre una comprensión más detallada de los factores en el sitio. En este contexto, un enfoque exploratorio conllevaría la revisión exhaustiva de la literatura disponible sobre la estabilización de materiales granulares mediante el uso de

cemento, así como su respuesta ante la humedad, centrándose específicamente en el entorno particular de Santa Elena. disponible sobre la estabilización de material granulares mediante el uso de cemento, así como su respuesta ante la humedad, centrándose específicamente en el entorno particular de Santa Elena.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION

3.2.1. Método.

El método empleado en la investigación fue el hipotético - deductivo, que tal como afirma (Rodríguez Jiménez & Pérez Jacinto, 2017), En este enfoque metodológico, se emplean las hipótesis como el punto inicial para derivar nuevas deducciones. Estas hipótesis se someten a procesos de verificación y se evalúa la autenticidad de las hipótesis originales. De este modo, se obtienen conclusiones pertinentes a medida que se confirma o refuta la validez de las hipótesis iniciales.

Al principio del estudio, se formuló una hipótesis general y dos hipótesis específicas, las cuales fueron sometidas a un proceso de verificación experimental para constatar si el porcentaje de cemento es el adecuado para someterle al proceso de saturación por el cual se comprobará la susceptibilidad a la humedad que tiene el material.

3.2.2. Enfoque.

La investigación adopta una perspectiva cuantitativa, ya que implica la realización de pruebas de laboratorio en las muestras de campo según lo señalado por (Sánchez Flores, 2019) y los resultados obtenidos se evaluarán conforme a las normativas establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador para estudios y diseños viales, con el propósito de analizar las propiedades físico-mecánicas del material granular.

3.2.3. Diseño.

Este estudio adopta un diseño experimental, siguiendo la perspectiva de (Rodríguez, 2011), quien destaca que la experimentación constituye el enfoque más confiable para descubrir relaciones causales entre hechos o fenómenos de la realidad, representando así el nivel más elevado de investigación científica. Dentro de este diseño, se lleva a cabo la manipulación intencionada de una variable con el propósito de evaluar los efectos resultantes de dicha modificación.

La investigación en desarrollo se enfoca en la realización de ensayos en suelos granulares y suelos finos extraídos proveniente de la cantera Juan Montalvo, esta muestra serán observada para conocer las variaciones en las propiedades físico-mecánicas. En el estudio, se realiza la dosificación con diferentes porcentajes de cemento para obtener el más óptimo y adecuado.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población.

(Arias Gómez et al., 2016) expresan que la población consiste en un grupo de casos, claramente definido, limitado y accesible, que servirá como base para la selección de la muestra y que cumple con los criterios establecidos. Es crucial detallar la población de estudio, y porque, al concluir la investigación a partir de una muestra de dicha población, se facilita la posibilidad de generalizar o extrapolar los resultados obtenidos en el estudio hacia el conjunto total de la población o universo.

Por lo expuesto en el párrafo anterior, se considera que la población del presente trabajo de investigación es la muestra obtenida de la cantera Juan Montalvo en Santa Elena, disponible para la realización de ensayos de laboratorio en el marco del estudio sobre la resistencia de las probetas.

3.3.2. Muestra.

(López, 2004) explica que la muestra constituye un subconjunto o fracción de la población en la que se llevará a cabo la investigación. Bajo esta perspectiva, se recolectó una muestra de suelo natural proveniente de la cantera Juan Montalvo. Esta muestra fue seleccionada siguiendo criterios establecidos por los investigadores y se emplearon para analizar las propiedades físico-mecánicas tanto de la muestra en su estado natural como de aquellas estabilizadas con distintos porcentajes de cemento.

3.3.3. Muestreo.

(Otzen & Manterola, 2017) sostienen que es un instrumento cuya finalidad es establecer qué parte de la realidad en estudio (población) se debe examinar con el propósito de realizar inferencias. En la investigación, la elección de los elementos de la muestra se realiza según criterios establecidos por los investigadores, siempre procurando que estas representen adecuadamente a la población objeto de estudio.

3.4. UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO

3.4.1. Cantera Juan Montalvo.

La zona de estudio está ubicada en la Comuna “Juan Montalvo”, parroquia Santa Elena, Cabecera Cantonal, Cantón Santa Elena, jurisdicción de la Provincia de Santa Elena. Cuyas coordenadas y los demás vértices referenciados al sistema de coordenadas UTM, en la zona geográfica 17 la muestra después de ser extraída fue transportada al laboratorio para ser ensayada respectivamente.

Tabla 1

Coordenadas de la Cantera Juan Montalvo.

Puntos	X	Y
1	534800	9747900
2	534900	9747900
3	535000	9747900

3.5. METODOLOGIA DEL OE.1: EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.

Como respuesta al primer objetivo específico planteado, se debe llevar a cabo diferentes ensayos de laboratorio, mismo que se determina las propiedades mecánicas de este material granular (Cantera Juan Montalvo), para ello se describe cada uno de los ensayos a realizar.

3.5.1. Contenido de humedad.

“Metodología: Norma ASTM D2216: Metodología de prueba para determinar el contenido de agua (humedad) de suelos y rocas. Especificaciones: el contenido de agua de un suelo se define como la relación entre el peso del agua del suelo dividido para el peso del suelo seco (el peso del agua se va a determinar por diferencia entre el peso del suelo antes y después de secarlo durante el tiempo necesario, 24 horas para que se evapore el agua).

Tabla 2

Contenido de Humedad.

Muestra	1	2	3	4	Promedio
1	2,5	1,8	2,11	2,17	2,15

3.5.2. Límites de Atterberg.

Metodología: Norma ASTM D4318: Metodología de prueba para la determinación de los límites líquido y plástico; y del índice de plasticidad de los suelos, ASTM D427: Metodología de prueba para la determinación del factor de encogimiento de los suelos por el método del mercurio. Especificaciones: el científico Albert Atterberg desarrolló un método para evaluar el efecto de la variación de la humedad en los suelos de grano fino, Atterberg definió entonces tres límites, que se evalúan con una fracción de suelo que pasa el tamiz N° 40 (0.1 mm).

Tabla 3

Límites de Atterberg.

Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plasticidad	Resultado
1	19,3	21,67	NP	NP

Figura 8

Límites de Atterberg-Implementos de Laboratorio



3.5.3. Granulometría.

Metodología: Norma ASTM D421-85 Práctica estándar para la preparación en seco de muestras de suelo para el análisis del tamaño de partículas y la determinación de constantes de suelo, ASTM D422-63: Método de prueba estándar para análisis de tamaño de partículas de suelos.

Especificaciones: la determinación de la granulometría establece el conocimiento de la distribución de los tamaños de las partículas; para analizar la variedad de partículas del suelo, se emplean dos métodos. Para separar los granos gruesos se emplean tamices que van desde 10.16 cm (4”) hasta 0.074 mm (Tamiz N° 200); las partículas más finas que 0.1 mm se pueden medir por sedimentación.

El método de sedimentación se basa en la ley de Stokes, mientras más pequeña es la partícula mayor será el tiempo que se demora en asentarse cuando se deposita en el agua. Si las partículas tienen tamaños menores a 0.0005 mm no es efectivo el método pues se encontrarán en una suspensión constante debido a la agitación molecular.

Tabla 4

Granulometría.

Muestra	Grava (3"- N°4)	Arena (N°4- N°200)	Finos (Pasa 200%)
1	68,5	28,8	2,7

Figura 9

Realización del ensayo de Granulometría



Figura 10

Implementos para el ensayo de Granulometría



3.5.4. Compactación Proctor Modificado.

Metodología: Norma ASTM D1557-12e1: Métodos de prueba estándar para características de compactación en el laboratorio de suelos usando esfuerzo modificado (56.000 ft-lbf / ft³ (2700 kN-m / m³)). Especificaciones: su importancia radica en el aumento de resistencia y disminución de la capacidad de deformación de los suelos compactados en un molde el mismo que ayudará a obtener la densidad seca máxima del suelo y la humedad óptima para ser compactado, para luego en campo verificar el grado de compactación con la relación entre la densidad seca de sitio y la densidad seca máxima del Proctor.

Tabla 5

Proctor Modificado.

Muestra	Densidad Seca Máxima kg/m ³	% de Humedad Óptima
1	2229	9,35

Figura 11

Compactación del Ensayo Proctor Modificado



3.5.5. C.B.R.

Metodología: Norma ASTM D1883-16: Método de prueba estándar para California Bearing Ratio (CBR) de suelos compactados en laboratorios. Especificaciones: mediante este ensayo se evalúa la calidad del material de suelo en base en su resistencia a la penetración, medida a través de un ensayo de placa o escala, CBR significa relación de soporte california o valor relativo de soporte, comenzó aparecer entre los estándares norteamericanos ASTM (American Standards for testing and materials) desde 1964, en su versión para laboratorio, hoy en día es uno de los ensayos más extendidos y aceptados en el mundo debido al relativo bajo costo de ejecución comparado con los ensayos triaxiales cíclicos.

Tabla 6

C.B.R.

Muestra	Densidad Seca Máxima Kg/m ³	% de humedad optima	CBR 100%
1	2229	9,35	35,82%

Figura 12

Cilindros de Ensayo CBR antes de sumergir



3.5.6. Abrasión de los Ángeles.

Metodología: Norma ASTM C131: Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión mediante máquina de los Ángeles. Especificaciones: este ensayo consiste en someter una muestra de agregado a la abrasión, impacto y molienda dentro de un tambor rotatorio que contiene esferas de acero, creando un efecto de impacto y trituración. Luego de un número especificado de revoluciones, se retira la muestra del tambor y se tamiza por la malla No. 12 para medir la degradación o desgaste como un porcentaje de pérdida. El resultado obtenido se muestra en el cuadro.

Tabla 7

Abrasión de los Ángeles.

Muestra	W1 (gr)	W2(gr)	% Desgaste
1	10056	6034	40%

Figura 13

Material Procesado por la maquina Abrasión de los Ángeles



3.6. METODOLOGIA DEL OE.2: COMPROBAR LA EFICACIA DE LAS BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO

Para verificar la eficacia de las bases estabilizadas con cemento, es necesario determinar ciertos parámetros que nos permitan obtener resultados basados en

normas. Así, se procederá a elaborar las probetas, las cuales serán evaluadas en términos de humedad y deberán poseer la resistencia necesaria para cumplir con los estándares establecidos para una base estabilizada.

3.6.1. Dosificación.

Para realizar los diferentes diseños, se consideró las propiedades geomecánicas de los materiales encontrados en el material de la cantera, así como también su proximidad obteniendo una sola mezcla de material por estabilizar con las diferentes dosificaciones propuestas, estabilizándolas con los siguientes materiales, las mezclas para la estabilización del suelo esta la Alternativa 1: Material de la cantera con Cemento tipo General con distintos porcentajes de cemento.

Figura 14

Mezcla cemento + material granular



3.6.1.1. Material existente mezclado con cemento.

La densidad de los suelos estabilizados con cemento aumenta mediante una compactación adecuada y un contenido de agua óptimo en la mezcla (humedad óptima). Este incremento en la densidad resulta en una mejora en la capacidad de soporte y una mayor resistencia a los agentes atmosféricos. Además, las bases estabilizadas mitigan el riesgo de bombeo de finos en las

carreteras y permiten reducir los espesores de las capas de base en los pavimentos.

Los proveedores suelen recomendar niveles de contenido de cemento en el rango de aproximadamente 7% para suelos granulares con finos y superiores al 10% para suelos arcillosos. Además, sugieren que, al realizar el diseño, se tomen en cuenta los porcentajes especificados en el informe del comité del ACI.

Tabla 8

Rangos Típicos de cemento según su clase de suelo

Clasificación		Rangos Típicos de Cemento para Test:		
AASHTO	ASTM	Requerido	Humedad-densidad	Durabilidad
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	3-5	5	3-5-7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	5-8	6	4-6-8
A-2	GM, GC, SM, SC	5-9	7	5-7-9
A-3	SP	7-11	9	7-9-11
A-4	CL, ML	7-12	10	8-10-12
A-5	ML, MH, CH	8-13	10	8-10-12
A-6	CL, CH	9-15	12	10-12-14
A-7	MH, CH	10-16	13	11-13-15

Nota: Tomado de (Contreras, 2014)

La tabla del ACI presenta los intervalos usuales del peso del cemento expresados en porcentaje. Este porcentaje corresponde al contenido de cemento utilizado en las pruebas de humedad-densidad (según ASTM D506). Utilizando la tabla 9, se lleva a cabo la clasificación del suelo según dos sistemas: AASHTO y ASTM, cuyos detalles se encuentran especificados en la tabla siguiente.

Tabla 9

Clasificación del Suelo.

Muestra	ASTM	ASTHO
1	GW, GP	A-1-a (0)

En el diseño de suelo cemento para la alternativa se lo analizó con los parámetros mecánicos obtenidos de los ensayos realizados del material de la cantera “Juan Montalvo”, utilizando los porcentajes sugeridos por el ACI, es decir 3%, 4% y 5%. Pero, a su vez, también realizamos pruebas con diferentes porcentajes de cemento como 6%, 7%, 9% para obtener así una mejor visualización de resultados. Los ensayos realizados con estas dosificaciones de cemento se encuentran en los anexos.

3.6.2. Elaboración de probeta.

Se procede a realizar el cálculo de la masa de cada componente mediante una hoja de cálculo en Excel (consultar anexo) para cada porcentaje de mezcla diseñado, abarcando tanto el suelo como el estabilizante. En este cálculo preciso, se tiene en cuenta la cantidad exacta de suelo natural, cemento, agua. La cantidad de suelo se establece a partir del volumen del molde cilíndrico seleccionado, utilizando la densidad seca máxima obtenida del ensayo de Proctor. Esto permite determinar el peso necesario del suelo natural para la elaboración de las probetas cilíndricas.

La cantidad de cemento se define mediante los porcentajes establecidos para cada mezcla, multiplicando dicho porcentaje por la masa total de suelo natural más un porcentaje de desperdicio que se utilizará en esa mezcla. Esto proporciona el peso del cemento tipo UG, la cantidad de agua se ajusta para alcanzar la humedad óptima según el ensayo de Proctor modificado.

Figura 15

Cantidad de materiales a usarse en la mezcla



3.6.2.1. Mezcla

La combinación manual de suelo y estabilizante debe generar mezclas homogéneas, cada una con un excedente del 15% necesario para el moldeo de las probetas. Es crucial proteger este material contra la pérdida de humedad y realizar la mezcla sobre una superficie no absorbente, como lonas de plástico.

En el proceso de mezcla manual, los materiales se combinan en un recipiente metálico limpio y no absorbente o sobre una superficie igualmente no absorbente. La mezcla se lleva a cabo con una espátula o pala cuadrada, dependiendo del recipiente o del lugar de mezcla, siguiendo estos pasos:

- ✓ Se distribuye el suelo natural sobre el recipiente o la lona de plástico, cubriendo toda el área posible.
- ✓ Se añade el cemento UG al suelo natural y se procede a mezclar ambos materiales hasta lograr una distribución completa en la mezcla.
- ✓ Se incorpora agua potable en cantidades considerables con el objetivo de homogeneizar toda la mezcla por completo.

Figura 16

Proceso de Elaboración de la Mezcla



3.6.2.2. Moldeo en Probetas.

Las muestras destinadas al ensayo de compresión simple deben tener una forma cilíndrica, con un diámetro que oscile entre 1 y 2 veces su altura. Por ejemplo, las probetas pueden tener dimensiones de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, aunque el mismo procedimiento puede aplicarse para moldar muestras con diámetros y alturas mayores o menores.

Para facilitar la liberación de la muestra del molde al desencofrarla, se aplica una fina capa de aceite comercial en las paredes internas del molde. Los moldes se colocan en posición vertical en un lugar accesible para el llenado, asegurando un acceso libre y evitando cualquier movimiento durante el proceso de fraguado.

Luego, se procede a llenar uniformemente el molde cilíndrico con la mezcla, utilizando una espátula o cuchara en cada uno de los moldes. Posteriormente, se coloca por capa y se compacta de manera continua 56 golpes. La compactación se realiza con el martillo de Proctor.

3.6.2.3. Curado de probetas del suelo cemento.

Una vez que las muestras han sido liberadas de los moldes, es necesario asignarles códigos de identificación para facilitar su reconocimiento. Luego de este paso, se procede al curado de las muestras, el cual se realiza guardándolas en fundas plásticas o envueltas completamente con material de embalaje, asegurándose de que no se escape humedad de ninguna parte de la muestra. Todas las muestras debidamente empaquetadas deben ser colocadas en un lugar fresco, con temperaturas que no superen los 27 °C, para su uso posterior en el ensayo de resistencia a la compresión simple, manteniendo las condiciones húmedas similares a las del desencofrado.

3.6.3. Proceso de saturación y no saturación.

Para dicho proceso se utilizaron 12 probetas, 6 en 4 y 7 días respectivamente, de las cuales se sometieron a un proceso de saturación y no saturación para así evaluar la susceptibilidad a la humedad en dichas bases estabilizadas con cemento mediante ensayos de rotura utilizando neopreno y así verificar si aumenta o disminuye su resistencia a la compresión.

Figura 17

Proceso de saturación y no saturación.



3.6.3.1. Proceso de no saturación.

Una vez finalizado el moldeo y desencofrado de probetas se procede a llevar a cabo el curado de 3 probetas envolviéndolas en papel film de embalaje para evitar que estas sean afectadas por la humedad e infiera en su resistencia, finalmente a los 4 y 7 días se procede a realizar la rotura y verificar la resistencia alcanzada.

3.6.3.2. Proceso de saturación.

Para realizar el proceso de saturación se escogen 3 probetas, las cuales fueron sumergidas en una piscina que cubría totalmente las probetas, se realizó dos procesos: el primero se sumergió con todo y molde a la piscina las probetas y se comprobó su resistencia a los 4 días, en el segundo se sumergió las probetas sin molde y se realizó la rotura a los 7 días.

3.7. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Tabla 10

Cuadro de Operacionalización de Variables.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Material granular	(C. Chávez, 2014 manifiesta que los materiales granulares son fragmentos de roca producidos por acciones erosivas. Se encuentran en sitios muy variados en la superficie terrestre	Se determina mediante ensayos de laboratorio, según los requerimientos del MTOP (Sección 401,403 y 404)	Clasificación de suelo	Granulometría	%
			Resistencia al suelo	Proctor modificado	Kg/cm3
				Densidad seca máxima	
				Humedad optima	%
			Comportamiento del suelo	Límites de Atterberg	%
Susceptibilidad a la humedad	La susceptibilidad se define como los efectos causados por la humedad, en el caso de los materiales granulares, estos son sometidos a saturación y se produce un desgaste en el mismo.	Ensayo de rotura de compresión simple	Dosificación de probetas	Porcentaje de cemento	Escala numérica

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la investigación ofrecen una solución a la pregunta y objetivo general establecidos previamente en el estudio. Siguiendo la recomendación de (Barrasa Blanco & Fuentelsaz Gallego, 2002) se aconseja desarrollar tablas y figuras que respalden al investigador en la selección de los resultados más significativos y en la estructuración del orden en el que serán presentados. Se exponen los resultados relativos a las propiedades mecánicas del material destinados a la subbase para la estabilización, así como la dosificación óptima para encontrar la resistencia requerida.

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.1, PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE LA CANTERA JUAN MONTALVO PARA SUBBASE

4.1.1. Clasificación del Suelo.

En la Tabla 10 se muestran una síntesis de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio relacionados con las propiedades mecánicas. En la Tabla 11 se muestran una síntesis de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio relacionados con las propiedades mecánicas. Dichos ensayos abarcan la granulometría, la clasificación de suelos según los estándares SUCS, AASHTO y el contenido de humedad, todos realizados en el suelo bajo estudio.

En la cantera "Juan Montalvo", los resultados de la muestra indican que la granulometría señala que se trata de un suelo de grava bien gradada con arena (Clasificación SUCS: GW y AASHTO: A-1-a). Además, se observa una variación significativa en el contenido de humedad, siendo este del 2,15%. El porcentaje de pasante del tamiz N°200 es del 2,65%.

Tabla 11

Resumen de los resultados de la clasificación del suelo.

Clasificación De Suelos		W	Granulometría (% Que Pasa)		
SUCS	AASHTO	%	3"- N°4	N°4 -N°200	N°200
GW-GP	A-1-a (0)	2,15	68,5	28,8	2,7

4.1.2. Propiedades mecánicas del suelo.

Nos permite obtener resultados que nos ayudan a determinar qué tipo de subbase es, facilitando así la selección del material granular que se utilizará para la estabilización. Asimismo, nos permite conocer las características esenciales del material a través de ensayos como límite de Atterberg, Proctor modificado, CBR y Abrasión, lo cual es fundamental para la construcción de una base estabilizada con cemento.

4.1.2.1. Ensayo de límite de Atterberg.

Como se evidencia en la Tabla 12, el parámetro satisface con las especificaciones técnicas establecidas por el MTOP. La normativa prescribe una plasticidad menor al 6% y un Límite Líquido máximo del 25%. Los resultados del ensayo revelan que el material es no plástico y un Límite Líquido del 19.30%.

Tabla 12

Resultado del ensayo de límite de Atterberg.

Descripción	Límites de Atterberg			Norma Subbase	Cumplimiento
	LL	LP	IP		
Material granular	19,30	21,67	NP	LL > 25 IP > 6	Cumple Cumple

4.1.2.2. Ensayo de CBR.

Se obtiene el 35,82% de capacidad de soporte, cumpliendo con las normas del MTOP para subbase, donde su capacidad debe de ser igual o mayor al 30%. Como se evidencia en la Tabla 13, el material granular exhibe una notable resistencia, siendo apropiado para su empleo como subbase en proyectos de construcción. La elevada cifra de CBR indica una capacidad sobresaliente para resistir cargas y establecer una base robusta. En este contexto, el material granular cumple con los estándares necesarios para desempeñar el papel de subbase.

Tabla 13

Capacidad de soporte.

Capacidad de soporte CBR			
Descripción	% Laboratorio	Norma	Cumplimiento
Material Granular	35,82	Sub-base >30 % Base > 80%	Cumple No Cumple

4.1.2.3. Ensayo de Abrasión.

Como se evidencia en la Tabla 14, el índice de desgaste del material es de 40% en la prueba de abrasión, se ajusta a las condiciones prescritas por la norma, que establece que debe ser inferior al 50% para que el material sea calificado como apropiado para una subbase. En consecuencia, conforme a las directrices normativas, el material cumple con el requisito necesario para su aplicación como subbase en el marco de la prueba de abrasión.

Tabla 14

Resultados de Abrasión de los Ángeles.

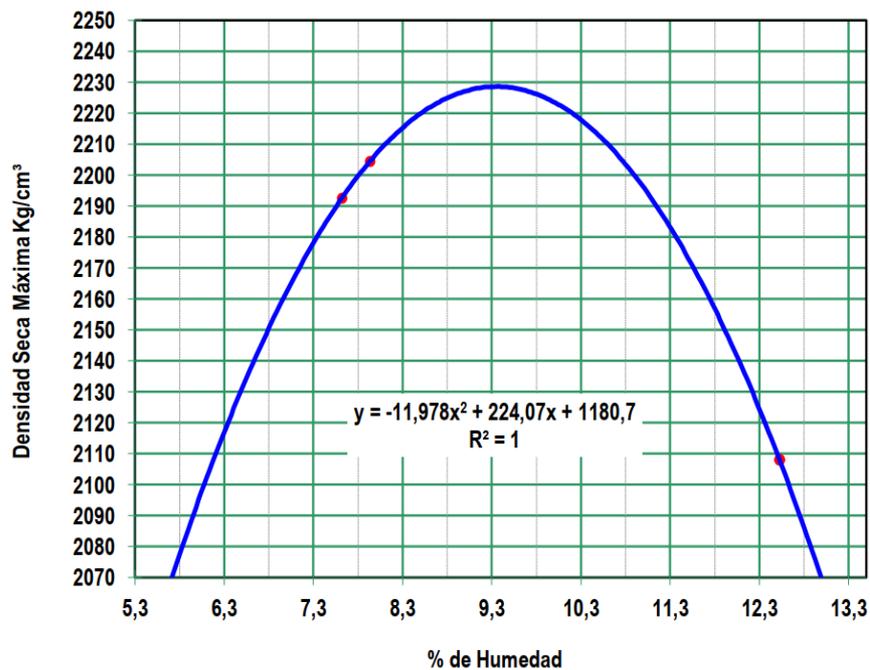
Abrasión de los Ángeles			
Descripción	% de Pérdida	Norma Sub-base	Cumplimiento
Material Granular	40 %	< 50%	Cumple

4.1.2.4. Ensayo de Proctor modificado.

Como resultado de este ensayo, obtenemos una densidad seca de 2229 kg/m³ y un porcentaje de humedad óptima del 9,35%, como se puede observar en la Figura. Estos resultados nos posibilitarán determinar la dosificación de las probetas destinadas a la base estabilizada, permitiéndonos identificar la opción óptima y adecuada de acuerdo con las normativas.

Figura 18

Densidad Seca Máxima VS % de Humedad



4.1.3. Subbase.

Dado que los resultados de nuestro material granular cumplen con ciertos requisitos para ser considerado como subbase, tales como un coeficiente de desgaste que no debe superar el 50%, según la prueba de abrasión de los Ángeles. Además, la fracción que pase a través del tamiz N° 40 debe presentar un índice de plasticidad inferior a 6 y un límite líquido máximo de 25. En cuanto a la capacidad de soporte, se exigirá un CBR igual o superior al 30%.

4.1.3.1. Subbase Clase III.

Con base en los resultados obtenidos de la granulometría y tras confirmar que el material granular cumple con los requisitos para ser considerado como subbase, se determina que pertenece a la clase 3 según la granulometría, como se puede constatar en la figura. En dicha figura, observamos que el valor para el tamiz N° 4 debe ser como mínimo 30, mientras que obtuvimos 28,8. Para el tamiz N° 200, el porcentaje que pasa a través de este debe ser como máximo 20, y en nuestro caso obtuvimos un valor de 2,65.

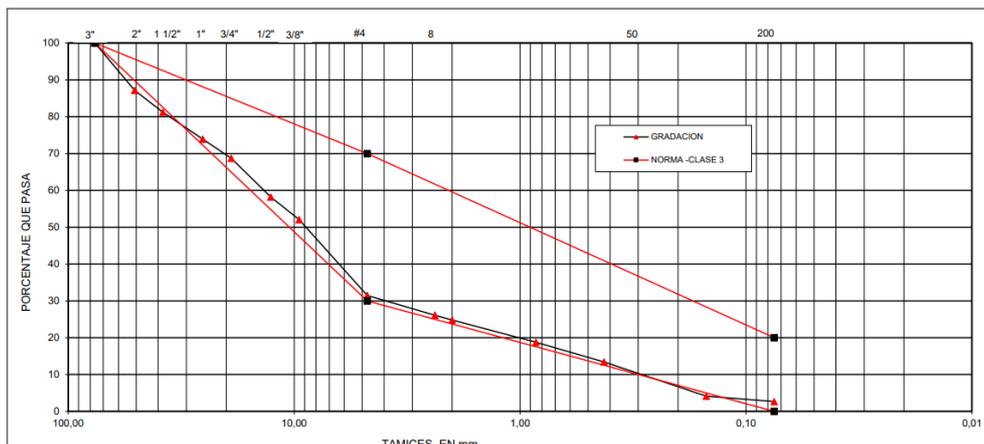
Tabla 15

Clasificación de la Subbase

Tamiz		Subbase					
		Clase 1		Clase 2		Clase 3	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
3"	76.2 mm	-	-	-	-	-	100
2"	50.4 mm	-	-	-	100	-	-
1 1/2"	38.1 mm	-	100	70	100	-	-
N° 4	4.75 mm	30	70	30	70	30	70
N° 40	0.425 mm	10	35	15	40	-	-
N° 200	0.075 mm	0	15	0	20	0	20

Figura 19

Clasificación Subbase III



4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.2, DOSIFICACIÓN ÓPTIMA PARA LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD

Las dosificaciones con diferentes porcentajes de cemento se presentan en la Tabla 16, donde se explica que, según el tipo de material, existe un rango típico de requerimiento de cemento. Aunque la normativa sugiere como se observa en la Tabla 17, el uso de porcentajes de cemento del 3%, 4%, y 5% según la clasificación de suelo, para obtener resultados más precisos, se llevaron a cabo ensayos adicionales con porcentajes de cemento del 6%, 7%, y 9%. Esto permitió realizar la dosificación que se evidencia en la Tabla 18 y luego realizar el ensayo de rotura y comparar los resultados para determinar el porcentaje óptimo.

Tabla 16

Porcentajes de cemento.

% de cementos a utilizarse
3%
4%
5%
6%
7%
9%

Tabla 17

Datos obtenidos para la dosificación.

Datos Obtenidos De Ensayos Anteriores				
% De Humedad Optima	9,35	%		
Densidad Seca Máxima	2229	kg/m ³		
Vol. De Cilindro	1570,8	cm ³	0,0015708	m ³
Peso Seco Del Material	3,501	kg	3501,3	gr

4.2.1. Resultados al ensayo de rotura con distintos porcentajes de cemento.

La prueba de resistencia a la compresión simple (ASTM D 1633) se realiza en probetas cilíndricas después de 7 días, utilizando un porcentaje de cemento del 3%. El resultado de la prueba revela una resistencia de 2,06 MPa equivalente a 20,06 kg/cm². Sin embargo, de acuerdo con la normativa, el material granular no cumple con la resistencia adecuada, ya que se espera alcanzar valores entre 21 kg/cm² y 42 kg/cm² a los 7 días.

Utilizando un porcentaje de cemento del 4%. El resultado de la prueba revela una resistencia de 2,51 MPa o 25,13 kg/cm², de acuerdo con la normativa, el material granular cumple con la resistencia adecuada de 21 kg/cm² y 42 kg/cm² a los 7 días. Con un porcentaje de cemento del 5%. El resultado de la prueba revela una resistencia de 2,64 MPa o 26,46 kg/cm², de acuerdo con la normativa, el material granular cumple con la resistencia adecuada de 21 kg/cm² y 42 kg/cm² a los 7 días.

Con el porcentaje de cemento del 6%. A pesar de que este porcentaje no es recomendable según la norma por el material granular, se realizó para poder obtener un resultado de comparación con los demás porcentajes. El resultado de la prueba revela una resistencia de 2,53 MPa o 25,33 kg/cm², de acuerdo con la normativa, el material granular cumple con la resistencia adecuada de 21 kg/cm² y 42 kg/cm² a los 7 días.

Con otro porcentaje de cemento del 7%. A pesar de que este porcentaje no es recomendable según la norma por el material granular, se realizó para poder obtener un resultado de comparación con los demás porcentajes. El resultado de la prueba revela una resistencia de 2,44 MPa o 24,46 kg/cm², de acuerdo con la normativa, el material granular cumple con la resistencia adecuada de 21 kg/cm² y 42 kg/cm² a los 7 días.

Se efectúa el ensayo de resistencia a la compresión simple (ASTM D 1633) en probetas cilíndricas después de 7 días, utilizando un porcentaje de cemento del 9%.

A pesar de que este porcentaje no es recomendable según la norma por el material granular, se realizó para poder obtener un resultado de comparación con los demás porcentajes. El resultado de la prueba revela una resistencia de 2,84 MPa o 28,44 kg/cm², de acuerdo con la normativa, el material granular cumple con la resistencia adecuada de 21 kg/cm² y 42 kg/cm² a los 7 días.

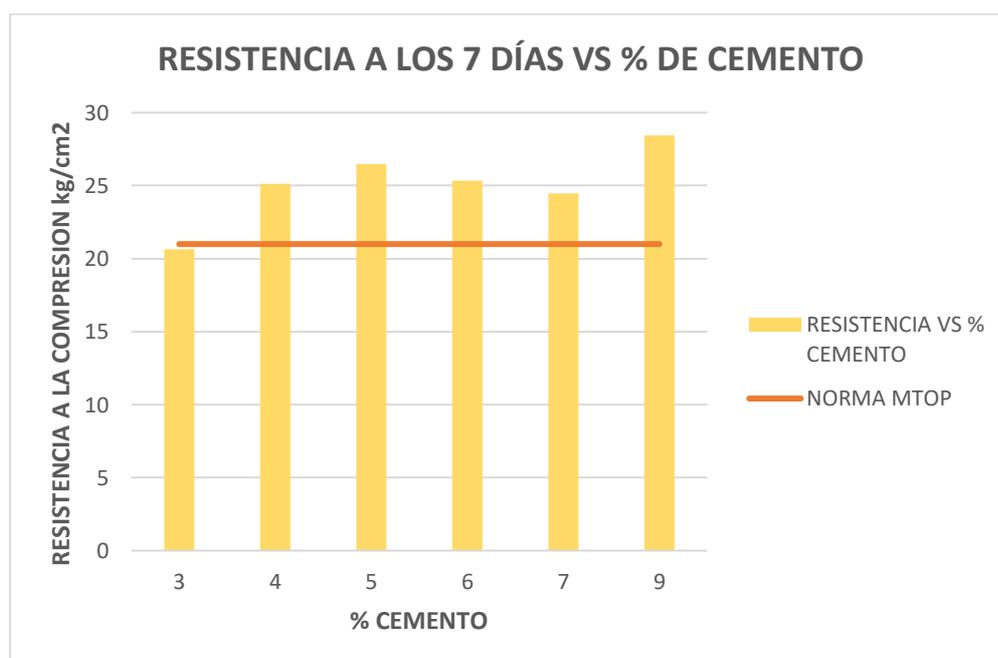
Tabla 18

Resistencia a la compresión a los 7 días

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DÍAS					
% CEMENTO	PROBETA 1	PROBETA 2	PROMEDIO		NORMA MTOP
3	21,72	19,57	20,645	kg/cm ²	21
4	25,8	24,47	25,135	kg/cm ²	21
5	29,47	23,45	26,46	kg/cm ²	21
6	25,28	25,39	25,335	kg/cm ²	21
7	23,75	25,18	24,465	kg/cm ²	21
9	31,81	25,08	28,445	kg/cm ²	21

Figura 20

Resistencia vs % de Cemento



4.2.2. Selección del porcentaje óptimo del cemento para la base estabilizada.

Después de obtener los resultados como se evidencia en la Tabla 18, de todas las resistencias para cada porcentaje de cemento, se procede a seleccionar el óptimo que garantice la resistencia requerida según el (ASTM D 1633). Se observa en la Figura, que los porcentajes de 4%, 5%, 6%, 7%, y 9% cumplen con esta norma. No obstante, dado que el material granular está clasificado como A-1-a, la normativa sugiere trabajar en el rango del 3% al 5%. Dado que el porcentaje del 5% muestra una resistencia más alta, se elige este porcentaje para evaluar su susceptibilidad a la humedad y observar su resistencia bajo diferentes niveles de contenido de humedad.

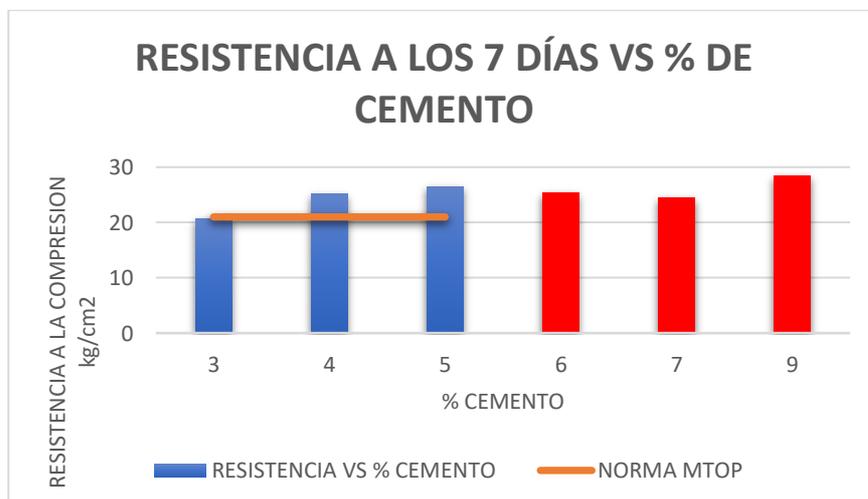
Tabla 19

Ensayo de Resistencia a los 7 días.

% de cemento	Resistencia kg/cm ²	Norma MTOP	Cumplimiento
3%	20,065		No Cumple
4%	25,135		Si Cumple
5%	26,460	21 kg/cm ²	Si Cumple
6%	25,335	3-5%	Si Cumple
7%	24,465		Si Cumple
9%	28,445		Si Cumple

Figura 21

Resistencia a los 7 días VS % de Cemento



4.2.3. Susceptibilidad a la humedad.

Basándonos en el resultado obtenido como el porcentaje óptimo de cemento, se fabrican 12 probetas con este porcentaje. De estas, 3 espécimen no estarán saturados, y 3 estarán bajo saturación a los 4 y 7 días. El propósito es evaluar sus resistencias y determinar si cumplen o no con las normativas de saturación para una base estabilizada con cemento, utilizando una subbase de material granular.

4.2.3.1. Sin saturación de espécimen a los 4 días.

Se obtiene los especímenes sin confinamiento durante 4 días, se procede a realizar el ensayo de rotura, donde su resistencia arroja un valor de 1,47 MPa, equivalente a 14,75 kg/cm², el cual no cumple con la resistencia especificada de 21 kg/cm², para la realización de una base estabilizada con cemento en Santa Elena.

4.2.3.2. Saturación de espécimen a los 4 días.

Al tener los especímenes en saturación durante 4 días, se procede a realizar el ensayo de rotura, donde su resistencia arroja un valor de 1,65 MPa, equivalente a 16,5 kg/cm², el cual no cumple con la resistencia especificada de 21 kg/cm², para la realización de una base estabilizada con cemento en Santa Elena.

4.2.3.3. Sin saturación de espécimen a los 7 días.

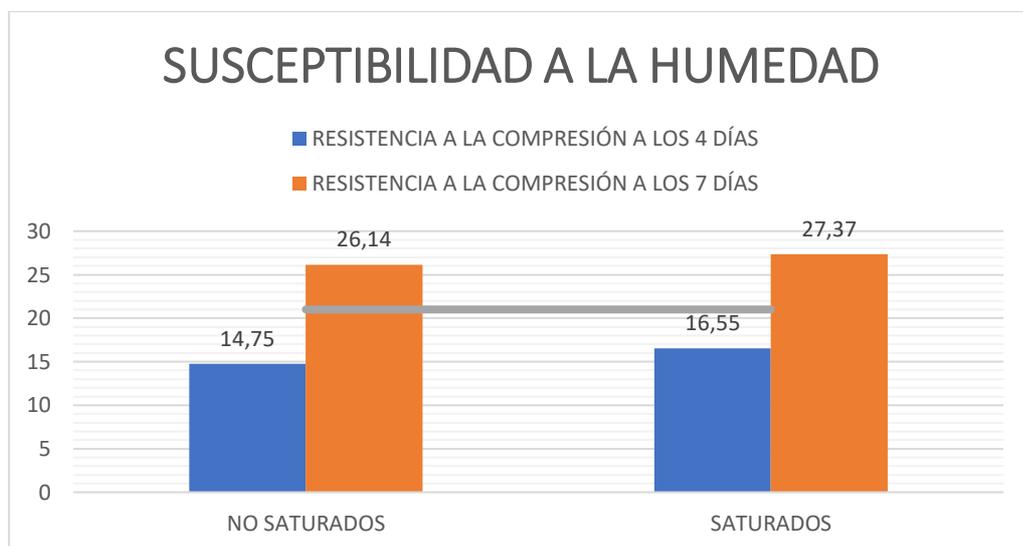
Se obtiene los especímenes sin confinamiento durante 7 días, se procede a realizar el ensayo de rotura, donde su resistencia arroja un valor de 2,61 MPa, equivalente a 26,14 kg/cm², el cual cumple con la resistencia especificada de 21 kg/cm², para la realización de una base estabilizada con cemento en Santa Elena.

4.2.3.4. Saturación de espécimen a los 7 días.

Al tener los especímenes en saturación durante 7 días, se procede a realizar el ensayo de rotura, donde su resistencia arroja un valor de 2,73 MPa, equivalente a 27,37 kg/cm², el cual cumple con la resistencia especificada de 21 kg/cm², para la realización de una base estabilizada con cemento en Santa Elena.

Figura 22

Susceptibilidad a la humedad



4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La relación de las variables en estudio dio respuesta al objetivo general de la investigación, mismo que estuvo basado en la evaluación del comportamiento de materiales granulares estabilizados con cemento frente a agentes dañinos provocados por la susceptibilidad a la humedad, lo que se llevó a cabo por los ensayos de laboratorio que establecieron las propiedades mecánicas del suelo estudiado, así también la determinación de la dosificación óptima para lograr una resistencia que cumpla con la normativa de las bases estabilizadas con cemento.

Se consideró un sitio de estudio, del cual se obtuvo la muestra con la que se trabajó, la cual fue extraída de: la cantera "Juan Montalvo" ubicada en la parroquia Juan Montalvo, del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, vía a Guayaquil, nos

permite determinar si se trata de una subbase de que clase es con el fin de obtener una base estabilizada con cemento adecuada.

De la muestra de suelo estudiada, su granulometría de suelos demostró que poseen una clasificación SUCS: GW y GP (Grava bien graduada y grava mal graduada, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos) y AASHTO: A-1-a (0), con un pasante del N°200 de 2,66%. Por normativa los tipos de suelo A-1-a tiene como índice de grupo el valor de 0.

Del ensayo de Proctor modificado en la muestra de suelo estudiado, se obtuvo una densidad seca máxima de 2229 Kg/cm³ con una humedad óptima de 9,35%. Con dichos valores se pudo calcular los valores óptimos para la dosificación del material granular + distintos porcentajes de cemento, los cuales son detallados en el Anexo 7.

Según las normativas del MTOP de materiales estabilizados para base, subbase y mejoramiento, se encontró que el material granular estudiado cumple con las especificaciones referente a los siguientes ensayos de laboratorio: a su límite líquido (LL<25), índice de plasticidad (IP<6), capacidad portante del suelo (CBR) (CBR>30%) y Abrasión de los Ángeles (<50%). Debido a estas normativas se pudo clasificar el material como una subbase clase III, ideal para realizar una base estabilizada con cemento.

En la siguiente Tabla 20, podemos evidenciar el cambio que surge la resistencia a la compresión en bases estabilizadas confinadas y saturadas a los 4 y 7 días, con el porcentaje óptimo de cemento, el cual fue del 5% debido a que cumplía con los parámetros mencionados en la TMOB para bases estabilizadas y al ser el porcentaje más alto en resistencia obtendremos mejores resultados y durabilidad para evitar fisuras en dicha base.

Tabla 20*Resultados del Ensayo de Resistencia.*

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 4 DÍAS						
	% CEMENTO	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	
No Saturado	5	16,93	13,97	13,36	14,75	kg/cm ²
Saturado	5	16,83	15,81	17,03	16,55	kg/cm ²
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS						
No Saturado	5	29,47	23,45	25,5	26,14	kg/cm ²
Saturado	5	26,4	27,35	28,36	27,37	kg/cm ²

En la tabla 20, se evidencia que en un periodo de 4 días las probetas saturadas llegan a una resistencia mayor que las que no están saturadas, así mismo surge el mismo cambio en un periodo de 7 días, por lo consiguiente podemos observar que a los 7 días la diferencia de resistencia de los especímenes es 1,23 kg/cm², es decir que equivale a un porcentaje de 4,71%, en donde al realizar el diseño de pavimentos, se sugiere colocar un coeficiente de drenaje de 1 en donde se demuestra que no se varía mucho el valor, por lo cual se puede deducir que el material granular usado para la elaboración de las probetas es de excelente calidad y adecuado para el diseño de bases estabilizadas con cemento, lo cual es beneficioso para las vías de Santa Elena debido a que se comprueba que si es viable implementar bases estabilizadas con cemento sin olvidar que se debe de tener en cuenta el tipo de terreno donde se la vaya a implementar ya que hay muchos factores que pueden ser dañinos para el material.

En el trabajo de investigación de (Ortiz Amaya & Díaz Zambrano, 2019) se demostró que entre más material fino que tenga la base, cuando se mezcla con cualquier tipo de cemento se necesita menos agua para llegar a la densidad seca máxima, así mismo se obtuvo que el porcentaje óptimo para llegar a la resistencia requerida fue con el 4% de cemento llegando a una resistencia de 3,8 MPa con cemento MCH y 4,2 MPa con cemento UG. El estudio realizado con cemento UG se obtuvo un porcentaje óptimo del 5% llegando a una resistencia de 2,64 MPa a los 7 días de curado. Esto se da porque el material a utilizar en esta investigación es una grava por ende la base tendrá mayor complejidad al mezclarse, no obstante,

en ambas investigaciones cumple con la resistencia establecida de una base estabilizada con cemento.

En la tesis de (Valle Gómez, 2009) basado en “Diseño de la dosificación para hormigón compactado con rodillo y base estabilizada con cemento para su uso en las vías de Manabí”. Se realizaron varios estudios físico-mecánicos mediante ensayos de laboratorio, lo cual les permitió realizar un diseño óptimo para dicha vía obteniendo, así como resultado una dosificación con una resistencia de flexión optima de 4,5 MPa en el cual la compactación jugó un rol importante al momento de alcanzar dicha resistencia. En este estudio la compactación fue primordial para poder obtener una resistencia adecuada, en donde el porcentaje optimo utilizado con las probetas cumple con la norma MOP para diseño de bases estabilizadas con cemento.

En el ámbito local, se puede resaltar la tesis de (Clemente Panchana & Ramírez Baquerizo, 2019) basado en “El análisis comparativo de la Estabilización del material de la cantera “La Negrita” utilizando cemento, Terrasil, Zycobond”. Esta investigación tuvo como objetivo el análisis técnico-económico de la estabilización del material de la cantera “La Negrita” ubicado en la vía Punta Carnero del Cantón Salinas. Se estudiaron los distintos resultados de las dosificaciones hechas con 4 alternativas: Material Granular con Cemento MH, Material con Terrasil, Material con Terrasil + Cemento, Material con Terrasil + Zycobond + Cemento. Los autores de esta tesis concluyeron que las bases estabilizadas con cemento aportan eficiencia a los pavimentos rígidos y flexibles, además del incremento de la capacidad de carga de la plataforma ayuda a reducir el espesor de la estructura de la vía. Por lo consiguiente el cemento UG también permite obtener las mismas características a finde de obtener una base estabilizada con cemento y una resistencia adecuada para reducir así mismo la estructura del pavimento en donde se considera fundamental el material granular que se utilizara para la base.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Del objetivo general planteado, la evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento mediante ensayos de laboratorio de suelos ha proporcionado información esencial para determinar la viabilidad de la implementación de bases estabilizadas con cemento en la provincia de Santa Elena. Con los resultados obtenidos permiten asimilar mejor estos materiales granulares así mismo responden a las condiciones de humedad, factor importante para el éxito y durabilidad de las bases estabilizadas con cemento.

Del primer objetivo específico se concluye que los resultados de los ensayos de laboratorio, especialmente aquellos analizados de la cantera Juan Montalvo, han permitido obtener datos significativos para la elaboración de bases estabilizadas con cemento y así mismo la dosificación, el ensayo esencial para obtener dichos datos es el de Proctor que nos permite realizarlas y así obtener la resistencia de las probetas. Estos resultados son esenciales para comprender la calidad y las características del material granular utilizado en las bases estabilizadas con cemento.

Del segundo objetivo específico: La eficacia de las bases estabilizadas con cemento se ha confirmado a través de los ensayos de rotura. Esto nos permite evaluar la incidencia del coeficiente de drenaje que es un factor esencial en el diseño de pavimento, en donde el valor entre los especímenes saturados y no saturados es de 1,23 donde cumple con el valor mencionado de m (coeficiente de drenaje) de 1 en la norma MTOP.

Por otro lado, se evidencia que los especímenes saturados exhibieron una resistencia superior en comparación con las probetas no saturadas. Este fenómeno podría atribuirse a la mejora del proceso de curado de la mezcla mediante la saturación. Los resultados indican que tanto a los 4 como a los 7 días, las resistencias en los especímenes saturados fueron mayores que en los no saturados. Se podría inferir que someter estas mezclas a un proceso de saturación conduce a una mejora en las resistencias compresivas. En consecuencia, no solo no son susceptibles a la humedad, sino que, más bien, esta última optimiza el proceso de fraguado o curado de dichas mezclas.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se sugiere realizar un monitoreo continuo de las propiedades de los materiales utilizados en las bases estabilizadas con cemento en Santa Elena. Esto garantizará una evaluación constante del comportamiento frente a las variaciones de humedad a lo largo del tiempo.

- ✓ Para futuras investigaciones, se recomienda agregar los resultados del análisis de la muestra de la cantera Juan Montalvo con otros parámetros de diseño y construcción, con el fin de obtener una perspectiva global que respalde un comportamiento adecuado para las bases estabilizadas con cemento.

- ✓ Con base en los resultados de los ensayos de rotura, se recomienda que se cure a los 7 días los especímenes para obtener un resultado preciso y modificar las proporciones de combinación de las bases estabilizadas con cemento con el objetivo de aumentar la resistencia antes los elevados niveles de humedad que se presentaran en los últimos años en Santa Elena.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, A. E., Espinosa, L. V, Ortiz, P. A., Hurtado, M. D., Cotes, L. E., & López, Y. M. (2019). Evaluación de la degradación por compactación de materiales granulares tipo subbase. *Revista EIA*, 16(31), 13–25. <https://doi.org/10.24050/reia.v16i31.746>
- Arias Gómez, J., Ángel Villasís, K. M., & Guadalupe Miranda, N. M. (2016, April). Metodología de la Investigación. *Revista Alergia Mexico*, 201–206. www.nietoeditores.com.mx
- Barrasa Blanco, A., & Fuentelsaz Gallego, C. (2002). *¿Cómo se reflejan los resultados de investigación en un artículo original?* <https://www.konradlorenz.edu.co/blog/5-el-articulo-cientifico-los-resultados/>
- C. Chavez, N. (2014). *Capítulo 2 Comportamiento de Materiales Granulares a Bajas y Altas Tensiones*.
- Clemente Panchana, L. N., & Ramírez Baquerizo, J. O. (2019). “Análisis Comparativo de la Estabilización de material de la Cantera ‘La Negrita’ utilizando cemento, terrasil, zycobond” [Ingeniería Civil]. UPSE.
- Contreras, J. (2014). *Método de diseño de mezcla de suelo cemento*.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Séptima edición*.
- ETSI, U. P. de M. (2015). *LCweb - Ensayo Compactación Proctor Modificado*. https://www2.caminos.upm.es/departamentos/ict/lcweb/ensayos_suelos/proctor_modificado.html
- Fidias G Arias. (2006). *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*.
- Arce, M. (2011). *Bases estabilizadas con cemento y su importancia en el desarrollo vial costarricense – Blog LanammeUCR*. <https://bloglanammeucr.wordpress.com/2019/04/09/bases-estabilizadas-con-cemento-y-su-importancia-en-el-desarrollo-vial-costarricense/>
- Ingeniero de Caminos. (2023). ▷ *Granulometría*. Granulometría de Suelos. <https://ingeniero-de-caminos.com/granulometria/>
- J. Sánchez, F. (2018, December 15). *Geotechtips - ¿Qué es el CBR? - Aprende Geotecnia*. <https://www.geotechtips.com/post/que-es-el-cbr>

- López, P. L. (2004). POBLACIÓN MUESTRA Y MUESTREO. *Scielo*, 09, 0–08.
http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012
- Murillo, W. (2008). *538-Texto del artículo-848-2-10-20120803*. 159–159.
- Ortiz Amaya, C. D., & Díaz Zambrano, P. K. (2019). *Diseño y análisis de bases estabilizadas con cementos tipo UG (uso general) y MCH (moderado calor de hidratación)* [Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás].
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21443/2020pauladiaz.pdf?sequence=1>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Sampling Techniques on a Population Study. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232.
<https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Quispe Mamani, J. C. (2023). *Ensayo de abrasión de los angeles para agregado grueso, proyecto Avenida Civica Aeropuerto Capitan Selin Zeitun Lopez*.
<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/32877>
- Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 82, 175–195.
<https://doi.org/10.21158/01208160.N82.2017.1647>
- Rodríguez, N. (2011). *Diseños experimentales en Educación*. 91.
- Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos. *Revista Digital de Investigación En Docencia Universitaria*, 13(1), 101–122.
<https://doi.org/10.19083/RIDU.2019.644>
- Sanchez Millan, S. P., & Vega Ramirez, C. C. (2016). *EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR)* [INGENIERIA CIVIL]. UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA.
- Valle Gómez, J. P. (2009). “*Diseño de la dosificación para hormigón compactado con rodillo y base estabilizada con cemento para su uso en las vías de Manabí*” [Ingeniería Civil, ESPOL].
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9038/1/D-39845.pdf>
- Yepes Piqueras, V. (2020). Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. *Colección Manual de Referencia*, 2, 480.

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/11/criterios-basicos-de-eleccion-del-tipo-de-cimentacion/>

ANEXOS

ANEXO I.

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD ESTATAL
PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

**ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE
LABORATORIO:**

**ANEXO 1: MUESTRA OBTENIDA DE LA CANTERA JUAN
MONTALVO**



Trabajador de la Cantera Juan Montalvo e Ing. Carol Reyes



Material Granular obtenido de la Cantera Juan Montalvo



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



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE

LABORATORIO:

ANEXO 2: ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

METODOLOGIA: NORMA ASTM D2216



Material Granular para el ensayo



Material pesado en la balanza



Muestra metida la horno



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



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE

LABORATORIO:

ANEXO 3: ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG

METODOLOGIA: NORMA ASTM D4318



*Proceso de amasado del
suelo seco.*



*Material pasante del
tamiz*



Número de golpes con Cuchara Casa Grande



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



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE

LABORATORIO:

ANEXO 4: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

METODOLOGIA: NORMA ASTM D422-63



Proceso de tamizado del material





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



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

**ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE
LABORATORIO:
ANEXO 5: ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE PROCTOR
MODIFICADO
METODOLOGIA: NORMA ASTM D1557-12e1**



*Peso del material compactado
con cilindro en la balanza*



*Preparación de la
Muestra*



*Compactación del
material*

Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE

LABORATORIO:

ANEXO 6: ENSAYO DE CBR

METODOLOGIA: NORMA ASTM D1883-16



Moldes de CBR



Proceso de inmersión e hinchamiento



UNIVERSIDAD ESTATAL
PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE

LABORATORIO:

ANEXO 7: ENSAYO ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES

METODOLOGIA: NORMA ASTM C131



*Máquina de Abrasión
de los Ángeles*



*Material + esferas de
metal*



Cersioramiento de que este bien cerrada la tapa



UNIVERSIDAD ESTATAL
PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

**ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE
LABORATORIO:
ANEXO 8: DOSIFICACIÓN**



Peso del material granular



Mezcla de los materiales



Peso del cemento



UNIVERSIDAD ESTATAL
PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE
LABORATORIO:
ANEXO 8: ELABORACIÓN DE PROBETAS



Mezcla y Compactación de las Probetas





UNIVERSIDAD ESTATAL
PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE
LABORATORIO:
ANEXO 9: ELABORACIÓN DE PROBETAS



Probetas con distintos % de Cemento





UNIVERSIDAD ESTATAL
PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE
LABORATORIO:
ANEXO 10: DESENCOFRADO DE PROBETAS





UNIVERSIDAD ESTATAL
PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

**ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE
LABORATORIO:
ANEXO 11: ENSAYO DE ROTURA**





UNIVERSIDAD ESTATAL
PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

**ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE
LABORATORIO:
ANEXO 12: ENSAYO DE ROTURA**





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



Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

**ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE
LABORATORIO:**

**ANEXO 13: PROCESO DE SATURADO Y NO SATURADO DE LAS
PROBETAS CON % ÓPTIMO DE CEMENTO**





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



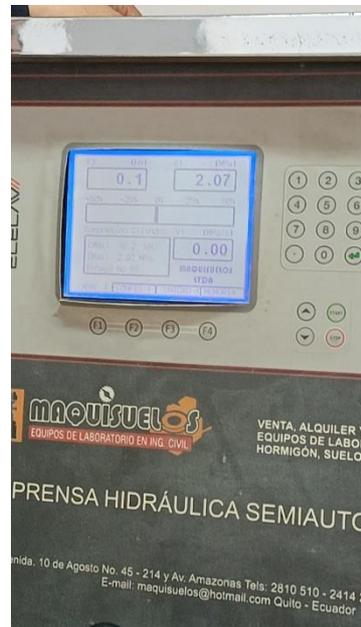
Trabajo de Integración Curricular: “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena”

Autores: Michelle Carolina Tomalá Tomalá y Luis David Sornoza Jordan

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

**ANEXO I. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE
LABORATORIO:**

ANEXO 14: ROTURA DE CILINDROS DESPUÉS DE LA INMERSIÓN



ANEXO 2.

ENSAYOS DE LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

Anexo 1

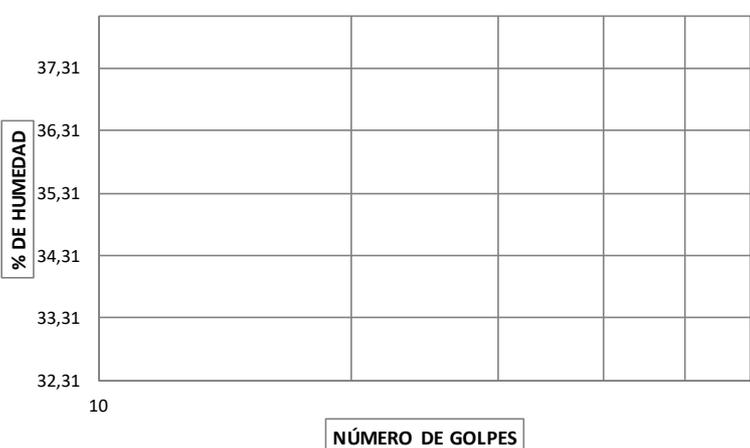
Ensayo de Contenido de Humedad

	1	2	3	4	PROMEDIO
N° de recipiente	A10	B4	U5	CA	
Peso del recipiente (Wr)	123,08	121,25	123,55	122,86	122,685
Peso del rec. + Peso de Suelo hum (W1)	1188	1196	1284	1252	1230
Peso del rec. + Peso de Suelo Seco (W2)	1162,00	1177,00	1260,00	1228	1206,75
Peso del agua (Ww=W1-W2)	26,00	19,00	24,00	24,00	23,25
Peso del Suelo Seco (Ws=W2-Wr)	1038,92	1055,75	1136,45	1105,14	1084,065
Contenido de humedad (w=(Ww/Ws)x100)	2,50	1,80	2,11	2,17	2,15

Anexo 2

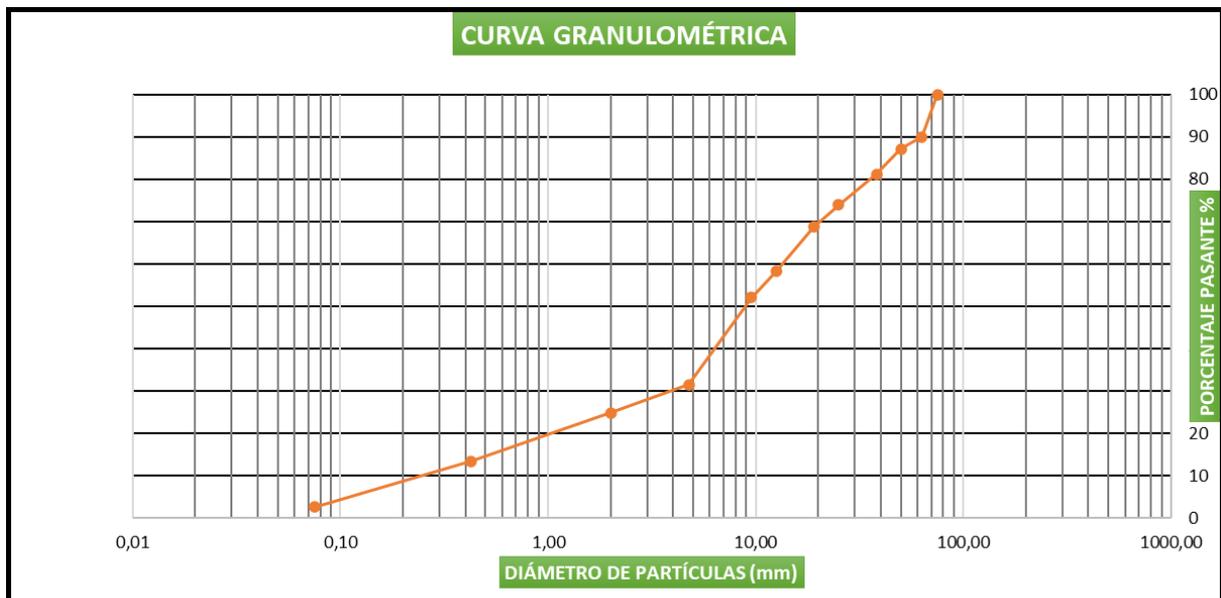
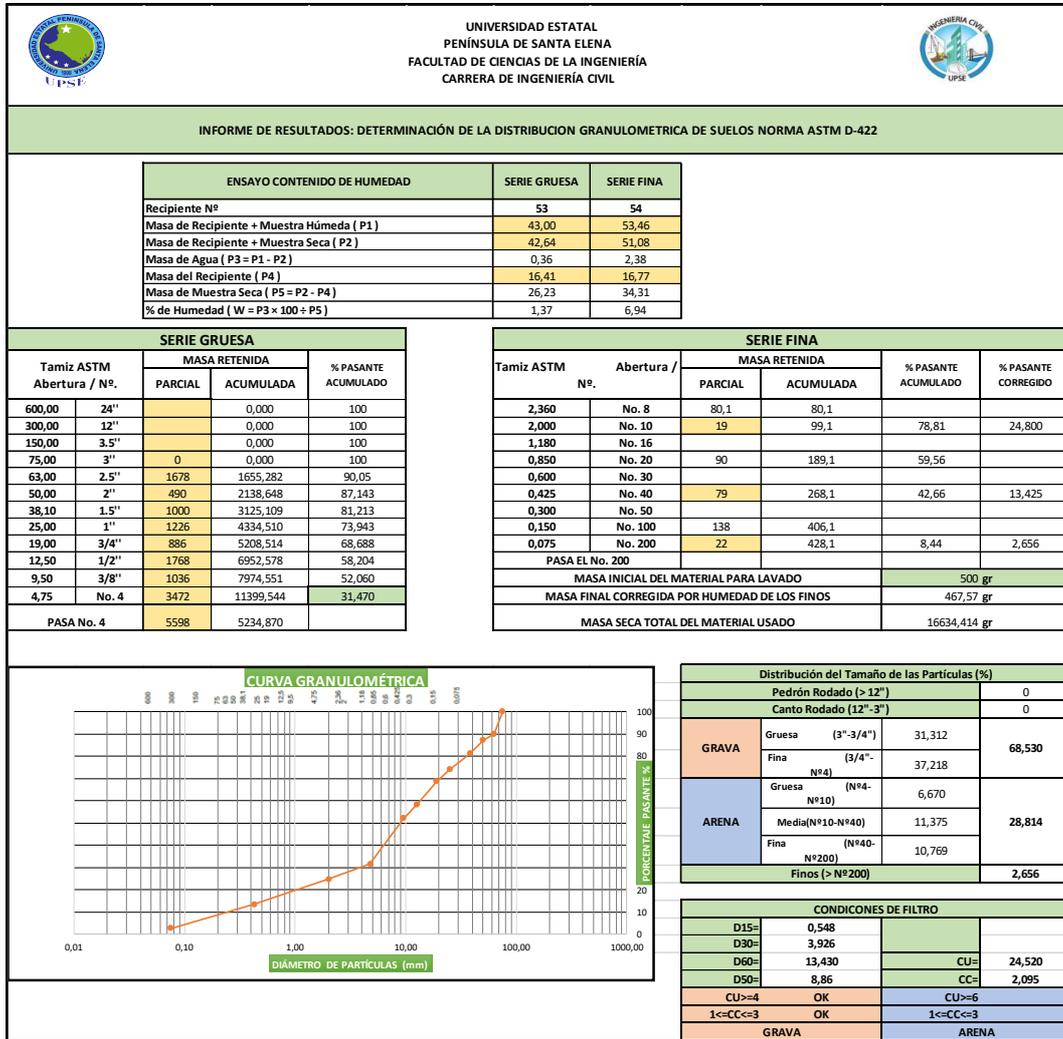
Ensayo de Límites de Atterberg

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS NORMA ASTM D-4318							
LÍMITE LÍQUIDO							
Recipiente Nº	X1	B4	N1	J1			
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)	32,36	32,06	36,9	30,51			
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	28,30	27,60	32,6	27,3			
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	4,06	4,46	4,30	3,21			
Masa del Recipiente (P4)	9,24	6,16	9,19	9,13			
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	19,06	21,44	23,41	18,17			
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	21,30	20,80	18,37	17,67			
# DE GOLPES	11	20	30	43			
LÍMITE PLÁSTICO							
Recipiente Nº	L2	L	W3				
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)	18,88	19,07	18,45				
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	16,60	17,60	17,2				
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	2,28	1,47	1,25				
Masa del Recipiente (P4)	9,42	9,32	9,14				
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	7,18	8,28	8,06				
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	31,75	17,75	15,51				
				1	2	21,30	
				-2,885	28,591	17,67	
				RESULTADOS			
				L. LÍQUIDO =	19,30		
				LÍMITE PLÁSTICO =	21,67		
				I. PLASTICIDAD =	NP		
				I. LIQUIDEZ =			
				I. CONSISTENCIA =			
				TIPO DE SUELO (SUCS)	GW-GP		

CURVA DE LÍMITE LÍQUIDO	
$y = -2,885 \ln(x) + 28,591$	
	

Anexo 3

Ensayo de Granulometría



Anexo 4

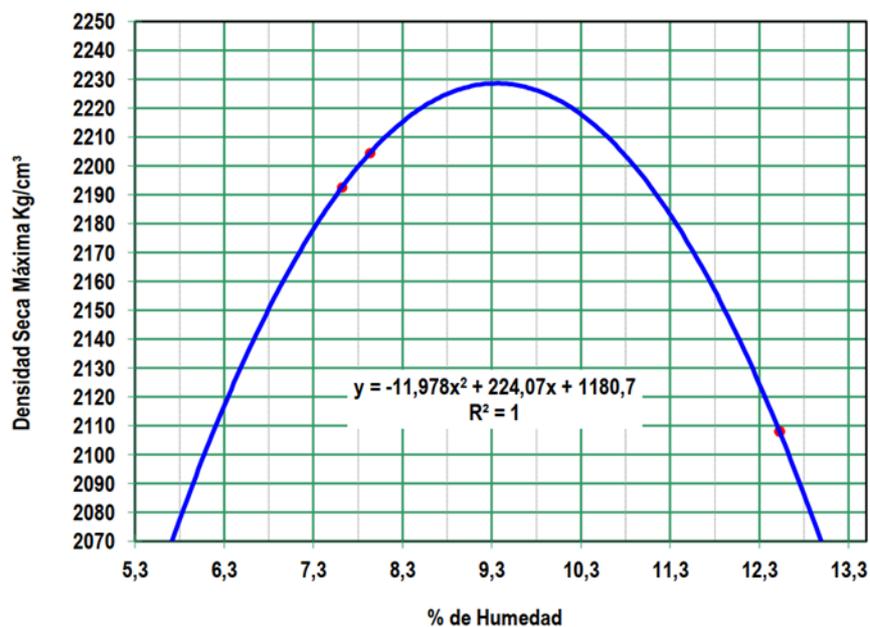
Ensayo Proctor Modificado

PROCTOR MODIFICADO	
Masa del cilindro (P7)	7465
Volumen del cilindro (V)	2032
Masa del martillo de compactación (kg)	4,54
Altura de caída (cm)	45,72
Tipo de ensayo	Modificado
N° de capas	5
N° de golpes por capa	56

DATOS DEL ENSAYO						
PUNTO	1		2		3	
MATERIAL PARA ENSAYAR	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
N° DE RECIPIENTE	F1		K		LL	
Masa de recipiente+muestra húmeda P1	34,2		39,50		43,5	
Masa de recipiente+muestra seca P2	32,96		37,90		40,5	
Masa de agua P3=P1-P2	1,24		1,60		3,00	
Masa de recipiente P4	16,8		17		16,4	
Masa de muestra seca P5=P2-P4	16,16		20,9		24,1	
% De humedad $W=(P3/P5)*100$	7,67		7,7		12,45	
% DE HUMEDAD DE PROMEDIO						
% de humedad añadida al suelo	2%		4%		6%	
Masa cilindro+suelo húmedo (P6)	12260		12300		12285	
Masa del suelo húmedo P8=P6-P7	4795		4835		4820	
Densidad húmeda del suelo $D_h=(P8/V)1000$	2360		2379		2372	
Densidad seca del suelo $D_s=D_h/(1+w/100)$	2192		2210		2109	

Resultados	
Densidad Seca Máxima	2229
% de Humedad Óptima	9,35

Datos		
Muestra No	Densidad Seca del suelo kg/m^3	Porcentaje de Humedad (%)
1	2192	7,67
2	2210	7,66
3	2109	12,45



Anexo 5

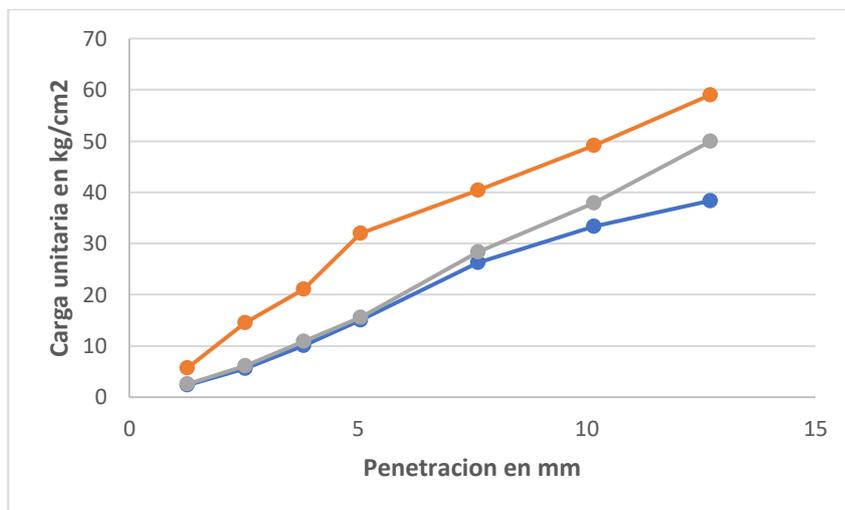
Ensayo de CBR

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
MOLDE Nº	1	2	3	PESO DEL MARTILLO:	10,00 lb	
PESO MOLDE	7022000	7097000	6867000		ALTURA DEL MARTILLO:	18,00 ''
VOLUMEN MOLDE	3212	3237	3230			
No DE GOLPES CAPA:	12	25	56			
Nº de ensayo:	1	2	3			
ANTES DE LA INMERSION						
No DE GOLPES CAPA:	12 golpes x capa		25 Golpes x capa		56 golpes x capa	
HUMEDAD	Nº recipiente	D	K	4		
	Wh + r	79,53	93,89	86,96		
	Ws + r	75,4	88,65	82,5		
	Ww	4,13	5,24	4,46		
	r	16,56	16,42	15,87		
	Ws	58,84	72,23	66,63		
	w (%)	7,02	7,25	6,69		
MOLDE NUMERO	1	2	3			
Molde + suelo húmedo (P)	10759000	10740000	10936000			
Molde	7022000	7097000	6867000			
Suelo húmedo (W)	3737000	3643000	4069000			
Suelo seco (Ws)	3491902,18	3396590,81	3813721,62			
Contenido de agua (w)	7,02	7,25	6,69			
Densidad húmeda (H)	1163,45	1125,42	1259,75			
Densidad seca (S)	1087,14	1049,30	1180,72			

DESPUES DE LA INMERSION							
No DE GOLPES CAPA:		12 Golpes x capa		25 Golpes x capa		56 Golpes x capa	
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
HUMEDAD	Nº recipiente	KL	M1	15	67	ER	D1
	Wh + r	67,45	84,35	66,12	87,34	112,35	80,43
	Ws + r	64,56	79,67	60,23	82,33	108,16	77,12
	Ww	2,89	4,68	5,89	5,01	4,19	3,31
	r	17,14	17,13	16,85	16,73	16,55	16,24
	Ws	47,42	62,54	43,38	65,6	91,61	60,88
	w (%)	6,09	7,48	13,58	7,64	4,57	5,44
Promedio w (%)		6,79		10,61		5,01	
Molde + suelo húmedo (P)		10836000		11753000		11633000	
Molde		7022000		7097000		6867000	
Suelo húmedo (W)		3814000		4656000		4766000	
Suelo seco (Ws)		3571534,159		4209481,736		4538817,186	
Contenido de agua (w)		6,79		10,61		5,01	
Densidad húmeda (H)		1187,42		1438,37		1475,54	
Densidad seca (S)		1111,93		1300,43		1405,21	
HINCHAMIENTO							
Lectura inicial		0,27		0,47		0,04	
24 horas		0,3		0,5		0,04	
48 horas		0,3		0,5		0,04	
72 horas		0,3		0,5		0,04	
HINCHAMIENTO %		0,60		0,60		0,00	

C.B. R	%	1087			1049		1181	
Densidad seca	γ_S	1	2	3	1	2	3	
NUMERO DE ENSAYO		1	2	3	1	2	3	
Tamiz ASTM Abertura / Nº.		CARGA DE PENETRACION EN Lb			CARGA DE PENETRACION EN Kg			
1,27 mm	(0.05")	167,2	231	104,72	76	105	47,6	
2,54 mm	(0.10")	551,1	699,6	229,9	250,5	318	104,5	
3,81 mm	(0.15")	965,8	1117,6	400,4	439	508	182	
5,06 mm	(0.20")	1368,4	1658,8	646,8	622	754	294	
7,62 mm	(0.30")	864,6	2587,2	1192,4	393	1176	542	
10,16 mm	(0.40")	2648,8	3502,4	1806,2	1204	1592	821	
12,70 mm	(0.50")	3177,9	4391,2	2549,8	1444,5	1996	1159	

Tamiz ASTM Abertura / N°.		CARGA UNITARIA EN Lb/pulg ²			CARGA UNITARIA EN Kg/cm ²		
1,27 mm	(0.05")	54,94	75,90	34,41	3,87	5,35	2,42
2,54 mm	(0.10")	181,08	229,87	75,54	12,76	16,20	5,32
3,81 mm	(0.15")	317,34	367,22	131,56	22,36	25,87	9,27
5,06 mm	(0.20")	449,63	545,04	212,52	31,68	38,40	14,97
7,62 mm	(0.30")	284,09	850,10	391,80	20,02	59,89	27,60
10,16 mm	(0.40")	870,34	1150,81	593,48	61,32	81,08	41,81
12,70 mm	(0.50")	1044,19	1442,85	837,81	73,57	101,66	59,03



N° de Golpes	Esfuerzo de penetración	
	0.10 pulg	0.20 pulg
12	12,76	31,68
25	16,20	38,40
56	5,32	14,97

C.B.R	%	
12	18,11	29,98
25	22,99	36,34
56	7,55	14,17

12 25 56

COMPACTACION				
Contenido de Humedad		6,79	10,61	5,01
Densidad Seca		1087,14	1049,30	1180,72
CBR (%)				
CBR%	0,1 in	18,11	22,99	7,55
	0,2in	29,98	36,34	14,17
	Promedio	24,04	29,66	10,86
Densidad Seca		1111,93	1300,43	1405,21

A 0,1 de penetración		
Densidad Max	1180,72	CBR Dis.
95%	1121,683	35,82

Anexo 6

Ensayo de Abrasión de los Ángeles

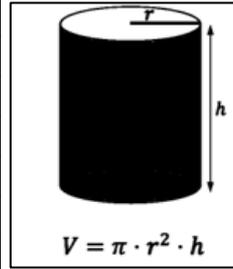
UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
				
%				
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ			
3"	2 ½"			
2 ½"	2"			
2"	1 ½"			
ESFERAS				
REVOLUCIONES				
TOTAL				
TIPO DE GRADACION				
PESO DEL MATERIAL A EMPLEAR				
2502				
2532				
5022				
12				
1000				
10056				
Peso total de la muestra gr. (W1)				
10056				
Peso retenido en el tamiz N° 12 gr. (W2)				
6034				
Porcentaje de desgaste %				
40,00				
RELLENO				
MÉTODO		1	2	3
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A USAR (g)		
<i>Que pasa</i>	<i>Retenido</i>			
3"	2 ½"	2 500 ± 50		
2 ½"	2"	2 500 ± 50		
2"	1 ½"	5 000 ± 50	5 000 ± 50	
1 ½"	1"		5 000 ± 25	5 000 ± 25
1"	½"			5 000 ± 25
PESO		10 000 ± 100	10 000 ± 75	10 000 ± 50
No. de esferas		12	12	12
No. de revoluciones		1 000	1 000	1 000
Tiempo de rotación		30	30	30

Anexo 7

Dosificación de Probetas

DOSIFICACIÓN EN CILINDROS PEQUEÑOS (10x20)					
DATOS OBTENIDOS DE ENSAYOS ANTERIORES					
% DE HUMEDAD OPTIMA	9,35	%			
DENSIDAD SECA MÁXIMA	2229	Kg/m ³			
VOL. DE CILINDRO	1570,8	cm ³	→	0,0015708	m ³
PESO SECO DEL MATERIAL	3,501	Kg	→	3501,3	gr

% DE CEMENTOS A UTILIZAR	
3	%
4	%
5	%
6	%
7	%
9	%



FÓRMULAS

PESO SECO DEL MATERIAL= (DENSIDAD SECA MÁXIMA)*(VOL. DEL CILINDRO)→ SUBBASE
 CEMENTO =(SUBBASE *%DE CEMENTO)*(% DE DESPERDICIO)
 SUBBASE=(SUBBASE)*(% DE DESPERDICIO)
 AGUA=(CEMENTO+SUBBASE)*(% DE CONTENIDO DE HUMEDAD)

DOSIFICACIÓN AL 3% DE CEMENTO					
DATOS		MATERIAL A USAR PARA DOS CILINDROS			
SUBBASE	3501,3	CEMENTO	→	225,83	gr
HUMEDAD	0,0935	SUBBASE	→	7527,8	gr
CEMENTO	0,03	AGUA	→	724,97	MI

DOSIFICACIÓN AL 4% DE CEMENTO					
DATOS		MATERIAL A USAR PARA DOS CILINDROS			
SUBBASE	3501,3	CEMENTO	→	301,11	gr
HUMEDAD	0,0935	SUBBASE	→	7527,8	gr
CEMENTO	0,04	AGUA	→	732,00	MI

DOSIFICACIÓN AL 5% DE CEMENTO					
DATOS		MATERIAL A USAR PARA DOS CILINDROS			
SUBBASE	3501,3	CEMENTO	→	376,39	gr
HUMEDAD	0,0935	SUBBASE	→	7527,8	gr
CEMENTO	0,05	AGUA	→	739,04	MI

DOSIFICACIÓN AL 6% DE CEMENTO					
DATOS		MATERIAL A USAR PARA DOS CILINDROS			
SUBBASE	3501,3	CEMENTO	→	451,67	gr
HUMEDAD	0,0935	SUBBASE	→	7527,8	gr
CEMENTO	0,06	AGUA	→	746,08	MI

DOSIFICACIÓN AL 7% DE CEMENTO						
DATOS		MATERIAL A USAR PARA DOS CILINDROS				
SUBBASE	3501,3		CEMENTO	→	526,95	gr
HUMEDAD	0,0935		SUBBASE	→	7527,8	gr
CEMENTO	0,07		AGUA	→	753,12	MI

DOSIFICACIÓN AL 9% DE CEMENTO						
DATOS		MATERIAL A USAR PARA DOS CILINDROS				
SUBBASE	3501,3		CEMENTO	→	677,50	gr
HUMEDAD	0,0935		SUBBASE	→	7527,8	gr
CEMENTO	0,09		AGUA	→	767,20	MI

Anexo 8

Dosificación con % Óptimo de Cemento

DOSIFICACIÓN EN CILINDROS PEQUEÑOS (10x20)						
DATOS OBTENIDOS DE ENSAYOS ANTERIORES						
% DE HUMEDAD OPTIMA	9,35	%				
DENSIDAD SECA MÁXIMA	2229	Kg/m ³				
VOL. DE CILINDRO	1570,8	cm ³	→	0,0015708	m ³	
PESO SECO DEL MATERIAL	3,501	Kg	→	3501,3	gr	

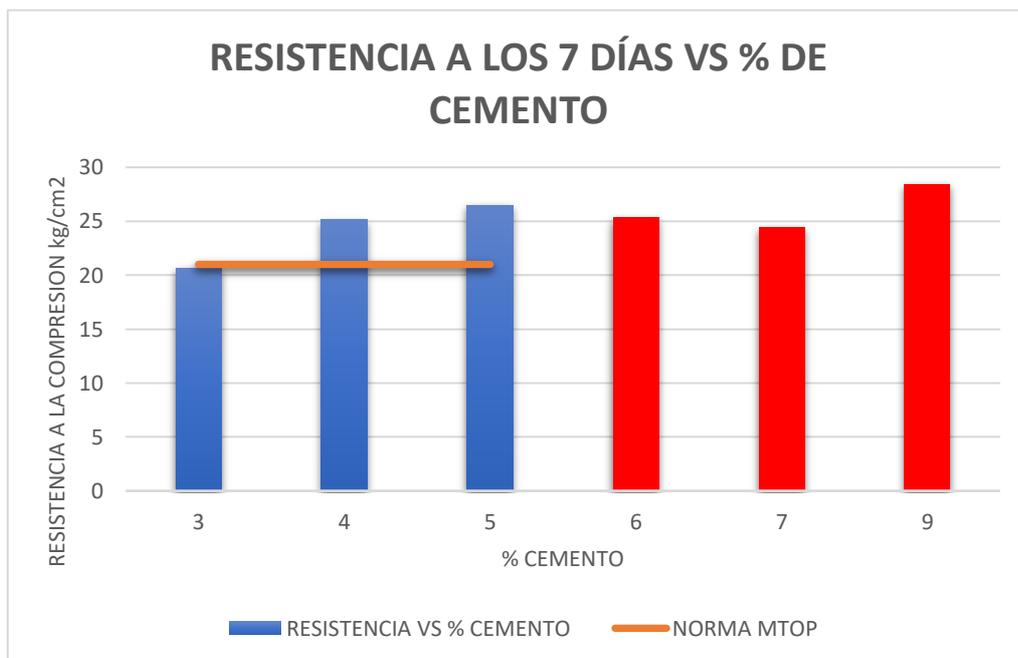
% DE CEMENTOS A UTILIZAR	
3	%
4	%
5	%
6	%
7	%
9	%

PORCENTAJE ÓPTIMO						
DOSIFICACIÓN AL 5% DE CEMENTO						
DATOS		MATERIAL A USAR PARA SEIS CILINDROS				
SUBBASE	3501,3		CEMENTO	→	1076,65	gr
HUMEDAD	0,0935		SUBBASE	→	21533,0	gr
CEMENTO	0,05		AGUA	→	2114,00	MI

Anexo 9

Resistencia a la Compresión

RESISTENCIA A LA COMPRESION				
% CEMENTO	PROBETA 1	PROBETA 2	PROMEDIO	
3	20,56	19,57	20,065	KG/CM2
4	25,8	24,47	25,135	KG/CM2
5	29,47	23,45	26,46	KG/CM2
6	25,28	25,39	25,335	KG/CM2
7	23,75	25,18	24,465	KG/CM2
9	31,81	25,08	28,445	KG/CM2



Anexo 10

Resistencia a la Compresión Simple (Saturados y No saturados)

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 4 DÍAS						
	% CEMENTO	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	
NO SATURADOS	5	16,93	13,97	13,36	14,75	KG/CM2
SATURADOS	5	16,83	15,81	17,03	16,55	KG/CM2
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DÍAS						
NO SATURADOS	5	29,47	23,45	25,5	26,14	KG/CM2
SATURADOS	5	26,4	27,35	28,36	27,37	KG/CM2

