



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR: CÉSAR ANTONIO VINUEZA ELIZALDE

**TEMA: “METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MICROPAVIMENTO DE BAJO
COSTO PARA SUELO TIPO LIMO ORGÁNICO ARENOSO (OL)”**

DIRECTOR: ING. MSC. FRANCO ROJAS RUALES

CODIRECTOR: ING. MSC. PATRICIO ROMERO FLORES

SANGOLQUÍ, FEBRERO 2014

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
CÉSAR ANTONIO VINUEZA ELIZALDE, como requerimiento parcial a la
obtención del título de INGENIERO CIVIL.

Sangolquí, 3 de Febrero de 2014

FECHA

ING. FRANCO H. ROJAS RUALES

Director de Tesis

ING. PATRICIO ROMERO FLORES

Codirector de Tesis

REVISADO POR

ING. PATRICIO ROMERO FLORES

Director de La Carrera de Ingeniería Civil

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

CÉSAR ANTONIO VINUEZA ELIZALDE

Declaro que:

El proyecto de grado denominado “METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MICROPAVIMENTO DE BAJO COSTO PARA SUELO TIPO LIMO ORGÁNICO ARENOSO (OL)”, ha sido desarrollado en base a una investigación adecuada, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en cada página correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención parcial a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Sangolquí, 3 de Febrero de 2014

CÉSAR ANTONIO VINUEZA ELIZALDE

AUTORIZACIÓN

YO, CÉSAR ANTONIO VINUEZA ELIZALDE

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo “METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MICROPAVIMENTO DE BAJO COSTO PARA SUELO TIPO LIMO ORGÁNICO ARENOSO (OL)”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

3 de Febrero de 2014

FECHA

CÉSAR ANTONIO VINUEZA ELIZALDE

DEDICATORIA

Dedico mi proyecto de tesis con mucho cariño a mis padres César y Dora, ya que ellos son los seres que me dieron la vida y gracias a ellos soy profesional. A mis hermanos Henry y Leonardo quienes han sido más que mis hermanos, mis mejores amigos y siempre me han respaldado. A mi novia María José por ser la persona con la que he compartido mi vida universitaria, ha sido mi respaldo día a día y me ha ayudado siempre incondicionalmente. Y por supuesto a toda mi familia que estoy completamente feliz por tenerlos a mi lado.

CESAR ANTONIO VINUEZA ELIZALDE

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecerle primero a mi Dios, ya que él ha sido mi fortaleza para seguir adelante en todos estos años de estudio universitario, porque siempre ha estado dándome su bendición.

A mis padres Dora Elizalde Rivera y César Giovani Vinueza Barrera que los amo, primero quiero agradecerles por haberme dado la vida y darme la oportunidad de estar aquí, ya que ellos han hecho un esfuerzo muy grande para darme el estudio, aunque por cuestiones de trabajo no hemos podido estar juntos, pero siempre se han dado modos para estar pendientes de nosotros, sobre todo han estado en las buenas y en las malas apoyándome incondicionalmente en toda mi vida, y gracias a Dios me han sabido guiar por un buen camino.

A mis hermanos Henry Alexander Vinueza Elizalde y Leonardo Paul Vinueza Elizalde que hemos compartido momentos únicos de hermanos y me han sabido ayudar y apoyar a lo largo de mi vida, gracias por ser esos compañeros y amigos con los que siempre he contado.

Al amor de mi vida María José Patiño que la amo y la respeto, siempre ha estado apoyándome en todo, se ha convertido en mi compañera sentimental con la que hemos compartido muchas cosas hermosas y una de ellas es la universidad.

A mi Director y Coodirector de tesis Franco Rojas y Patricio Romero, por ayudarme a que ésta tesis sea un éxito, por sus enseñanzas a lo largo de mi carrera universitaria, y por sus consejos que me supieron brindar cuando lo necesité.

A mis tías Cecilia Elizalde y a Mayra Elizalde, que han sido como mis hermanas, y toda la vida han estado apoyándome, aunque desde lejos pero siempre se han preocupado y me han dado consejos muy valiosos.

A mis tíos Dioselina Vinueza, Wilfrido Elizalde, Irene Vinueza, Guillermo Morillo y Juana Elizalde que siempre han sido como unos padres para mí, ya que ellos siempre me han hecho sentir ése calor de hogar con su cariño, por todo lo que hemos compartido.

A mi abuelito Gonzalo Vinueza ya que él ha sido otro padre para mí que con sus consejos, sus vivencias ha sabido guiarme de la mejor manera.

A toda la familia Patiño Peralta, ya que todos han sido muy buenos conmigo, me han hecho sentir un miembro más de la familia, sus consejos, sus preocupaciones y por su apoyo.

De una manera muy especial agradezco a todos mis profesores especialmente a los Ingenieros: Roberto Aguiar, Ricardo Durán, Jorge Zuñiga, Martha Pazmiño, Estuardo Peñaherrera, Washington Sandoval y Blanquita Chávez que han sido mi fuente de aprendizaje, mis amigos, que a través de su exigencia, he aprendido la parte profesional y de lo importante que significa ser un buen Ingeniero Civil y especialmente una excelente persona.

A todos mis amigos, compañeros, que hemos compartido muchos momentos sensacionales, estudios, risas y me han hecho una mejor persona.

A la empresa BREM y EMULDEC, con su personal administrativo, especialmente al Ing. Patricio Burbano y al Ing. Patricio Chan, por haberme dado la oportunidad de realizar los ensayos para el Diseño del Micropavimento, y por todo el apoyo brindado.

CÉSAR ANTONIO VINUEZA ELIZALDE

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR

CÉSAR ANTONIO VINUEZA ELIZALDE

DIRECTOR DE LA CARRERA DE

Ing. Patricio Romero

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO

Ing. Fanny Cevallos

Lugar y fecha: Sangolquí, Febrero de 2014

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARACIÓN.....	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
HOJA DE LEGALIZACIÓN.....	IX
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XXII
RESUMEN.....	XXXV
ABSTRACT.....	XXXVI
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 ÁREA DE INFLUENCIA.....	3
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER.....	4
CAPÍTULO II: GENERALIDADES.....	6
2.1 SUELO.....	6

2.2 LIMO.....	6
2.3. ARENA.....	7
2.4 CEMENTO.....	8
2.5 CAL.....	9
2.6 ÓRGANO-SILANOS.....	10
2.7 ASFALTO.....	11
2.7.1 Tipos de Asfalto.....	12
2.7.1.1 Asfaltos Oxidados o Soplados.....	12
2.7.1.2 Asfáltos Sólidos o Duros.....	13
2.7.1.3 Fluxante o Aceite Fluxante.....	13
2.7.1.4 Asfaltos Fillerizados.....	14
2.7.1.5 Asfaltos Líquidos.....	14
2.7.1.6 Asfaltos Emulsificados.....	15
2.7.1.6.1 Emulsiones Asfálticas.....	15
2.7.1.6.2 Emulsión Asfáltica Inversa.....	18
2.8 MICROPAVIMENTO.....	18
2.8.1 Tipos de Micropavimentos de acuerdo a la Gradación del agregado.....	19
2.9 ENSAYOS PARA SUELOS.....	20
2.9.1 Granulometría (ASTM D-2487).....	20
2.9.2 Humedad Natural (ASTM D-2216).....	26
2.9.3 Índice de Plasticidad (ASTM D-4318).....	28

2.9.4 Límite Líquido LL (ASTM D-4318).....	29
2.9.5 Límite Plástico LP (ASTM D-4318).....	30
2.9.6 Relación de Peso Unitario – Humedad en los Suelos (ASTM D-422).....	32
2.9.7 Ensayo de California Bearing Ratio CBR (ASTM D-1883).....	35
2.10 ENSAYOS PARA MICROPAVIMENTOS.....	38
2.10.1 Azul de Metileno (ISSA TB-145).....	38
2.10.2 Ensayo de la Rueda Cargada (ISSA TB-109).....	39
2.10.3 Ensayo de Abrasión en Húmedo (ISSA TB-100).....	40
2.10.4 Ensayo de Cohesión (ISSA TB-139).....	41
2.10.5 Ensayo de Consistencia con el Cono (ISSA TB-106).....	43
CAPÍTULO III: ENSAYOS EN LIMOS ARENOSOS.....	45
3.1 Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D-136).....	45
3.2 Equivalente de Arena (ASTM D-2419).....	47
3.3 Ensayos de Estabilización en Suelo Natural.....	48
3.3.1 Ensayos de Índice de Plasticidad (ASTM D-4318) para suelo de tipo Limo Arenoso en Estado Natural.....	48
3.3.2 Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422).....	51
3.3.3 Ensayo de CBR (ASTM D-1883).....	53
3.3.4 Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126).....	57

3.3.5 Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273).....	58
3.4 Estabilización del Suelo con Cemento.....	59
3.4.1 Ensayos de Índice de Plasticidad (ASTM D-4318) para suelo de tipo Limo Arenoso Mezclado con el porcentaje óptimo de Cemento.....	60
3.4.2 Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422).....	62
3.4.3 Ensayo de CBR (ASTM D-1883).....	64
3.4.4 Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126).....	68
3.4.5 Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273).....	70
3.5 Estabilización del Suelo con Cal.....	72
3.5.1 Ensayos de Índice de Plasticidad (ASTM D-4318) para suelo de tipo Limo Arenoso Mezclado con el porcentaje óptimo de Cal.....	72
3.5.2 Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422).....	75
3.5.3 Ensayo de CBR (ASTM D-1883).....	77
3.5.4 Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126).....	81
3.5.5 Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273).....	82
3.6 Estabilización del Suelo con Emulsión Asfáltica.....	85

3.6.1 Ensayos de Porcentaje de Agua de la Emulsión	
Asfáltica.....	85
3.6.2 Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422).....	87
3.6.3 Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126).....	89
3.6.4 Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad	
(AASHTO T-273).....	91
3.7 Estabilización del Suelo con Organo-silanos.....	93
3.7.1 Próctor Modificado en Suelo Natural (ASTM D-422)....	94
3.7.2 Ensayo de CBR (ASTM D-1883).....	96
3.7.3 Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126).....	100
3.7.5 Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad	
(AASHTO T-273).....	102
3.8 Comparación de Relación Soporte California CBR.....	104
CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN LIMO ORGÁNICO ARENOSO.....	106
4.1 Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D-136).....	106
4.2 Equivalente de Arena (ASTM D-2419).....	108
4.3 Ensayos de Estabilización en Suelo Natural.....	109
4.3.1 Ensayos de Índice de Plasticidad (ASTM D-4318) para	
suelo de tipo Limo Orgánico Arenoso en Estado Natural....	109
4.3.2 Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422).....	111
4.3.3 Ensayo de CBR (ASTM D-1883).....	113
4.3.4 Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126).....	117

4.3.5 Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273).....	118
4.4 Estabilización del Suelo con Cemento.....	120
4.4.1 Ensayos de Índice de Plasticidad (ASTM D-4318) para suelo de tipo Limo Orgánico Arenoso Mezclado con el porcentaje óptimo de Cemento.....	120
4.4.2 Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422).....	123
4.4.3 Ensayo de CBR (ASTM D-1883).....	125
4.4.4 Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126).....	129
4.4.5 Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273).....	132
4.5 Estabilización del Suelo con Cal.....	135
4.5.1 Ensayos de Índice de Plasticidad (ASTM D-4318) para suelo de tipo Limo Arenoso Mezclado con el porcentaje óptimo de Cal.....	135
4.5.2 Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422).....	138
4.5.3 Ensayo de CBR (ASTM D-1883).....	140
4.5.4 Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126).....	145
4.5.5 Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273).....	148
4.6 Estabilización del Suelo con Emulsión Asfáltica.....	151

4.6.1 Ensayos de Porcentaje de Agua de la Emulsión Asfáltica.....	151
4.6.2 Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422).....	153
4.6.3 Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126).....	154
4.6.4 Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273).....	157
4.7 Estabilización del Suelo con Organo-silanos.....	160
4.7.1 Próctor Modificado en Suelo Natural (ASTM D-422).....	161
4.7.2 Ensayo de CBR (ASTM D-1883).....	163
4.7.3 Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126).....	167
4.7.5 Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273).....	169
4.8 Comparación de los Materiales de Estabilización.....	171
4.8.1 Relación Soporte California CBR.....	171
4.8.2 Resistencia a la Compresión.....	173
4.8.3 Absorción Capilar de las Mezclas.....	174
CAPÍTULO V: DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO.....	176
5.1 Trabajos de Laboratorio.....	176
5.2 Caracterización de los Agregados.....	177
5.3 Ligante Asfáltico.....	180
5.3.1 Emulsión Asfáltica CSS-1H-P.....	180

5.4 Formulaciones de Trabajo.....	181
5.5 Tiempo de Mezclado (ISSA TB-102).....	182
5.6 Ensayo de Consistencia (ISSA TB-106).....	182
5.7 Ensayo de Cohesión (ISSA TB-139).....	183
5.8 Porcentaje óptimo de Emulsión.....	186
CAPITULO VI: ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	190
6.1 Datos Generales de la Vía.....	190
6.2 Costo de los Materiales Estabilizantes.....	190
6.3 Dosificación Óptima de cada Material Estabilizante.....	191
6.4 Costo de Estabilización del Proyecto.....	191
6.4.1 Precios Unitarios de Estabilización.....	191
6.4.1.1 Análisis de Precios Unitarios para Estabilización con Cemento.....	191
6.4.1.2 Análisis de Precios Unitarios para Estabilización con Cal.....	193
6.4.1.3 Análisis de Precios Unitarios para Estabilización con Emulsión Asfáltica.....	194
6.4.1.4 Análisis de Precios Unitarios para Estabilización con Organo-Silanos.....	196
6.5 Costo del Proyecto con Micropavimento.....	198
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	199
7.1 ANTECEDENTES.....	199
7.2 CONCLUSIONES.....	200

7.3 RECOMENDACIONES..... 201

BIBLIOGRAFÍA..... 203

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO II: GENERALIDADES

Tabla 2.1: Tabla de Gradación del Agregado en función al porcentaje que pasa.....	20
Tabla 2.2: Nombres de grupo para suelos de grano grueso (ASTM D-2487).....	23
Tabla 2.3: Nombres de grupo para suelos inorgánicos de grano fino (ASTM D-2487).....	24
Tabla 2.4: Nombres de grupo para suelos orgánicos de grano fino (basados en ASTM D-2487).....	25
Tabla 2.5: Tipos de suelo con respecto a su Índice de Plasticidad....	31
Tabla 2.6: Especificaciones de pruebas en laboratorio.....	32
Tabla 2.7: Valores de Carga Unitaria.....	35
Tabla 2.8: Energías de Compactación.....	36
Tabla 2.9: Clasificación de suelos para Infraestructura de Pavimentos.....	37
Tabla 2.10: Valor de Azul de Metileno y Comportamiento de la mezcla asfáltica.....	38

CAPITULO III: ENSAYOS EN LIMOS ARENOSOS

Tabla 3.1: Cuadro de Granulometrías del Suelos de Tipo Limo Arenoso.....	46
Tabla 3.2: Cuadro de valores resultantes del ensayo de Equivalente de arena.....	47
Tabla 3.3: Cuadro de Parámetros para obtener el índice de Plasticidad del Suelo.....	48
Tabla 3.4: Cuadro Resumen para Clasificación SUCS del suelo.....	50
Tabla 3.5: Cuadro de los Valores de los CBR en función de la Densidad.....	56
Tabla 3.6: Resultados obtenidos de Ensayo de Compresión Simple.....	57
Tabla 3.7: Cuadro para obtener el índice de plasticidad del suelo modificado con cemento.....	60
Tabla 3.8: Cuadro Resumen del Índice de Plasticidad.....	61
Tabla 3.9: Cuadro de CBR en función a la Densidad máxima Seca.....	67
Tabla 3.10: Cuadro de valores de resistencia de las probetas ensayadas.....	68
Tabla 3.11: Cuadro Resumen del Índice de Plasticidad del suelo Modificado.....	74
Tabla 3.12: Cuadro de CBR en función de la densidad máxima Seca.....	80
Tabla 3.13: Cuadro de resistencias de las probetas ensayadas.....	81
Tabla 3.14: Cuadro de valores de resistencias de las probetas ensayadas con el 1.5% de Emulsión Asfáltica.....	89

Tabla 3.15: Cuadro de CBR en función de la densidad máxima seca.....	99
Tabla 3.16: Cuadro de resistencias obtenidas de las probetas al 1Kg/m ³ de Organo-Silanos.....	100

CAPITULO IV: ENSAYOS EN LIMO ORGÁNICO ARENOSO

Tabla 4.1: Cuadro de resultados de la granulometría.....	107
Tabla 4.2: Cuadro de resultados del ensayo de Equivalente de Arena en el Suelo.....	109
Tabla 4.3: Cuadro de resumen para definir la clasificación del Suelo.....	110
Tabla 4.4: Cuadro de CBR en función a la Densidad Máxima Seca.....	116
Tabla 4.5: Cuadro de valores de resistencia obtenidos de las Probetas ensayadas.....	117
Tabla 4.6: Cuadro de resultados para Ensayos de Índice de Plasticidad.....	121
Tabla 4.7: Cuadro de Resumen para Índice de Plasticidad.....	122
Tabla 4.8: Cuadro de CBR en función de la Densidad Máxima Seca.....	128
Tabla 4.9: Cuadro de Resultados de resistencia a la compresión para las probetas ensayadas.....	129
Tabla 4.10: Cuadro para el Índice de Plasticidad del Suelo-Cal.....	137
Tabla 4.11: Cuadro Resumen de CBR en Función de la Densidad Máxima del Suelo-Cal.....	144

Tabla 4.12: Cuadro de resultados obtenidos del ensayo de compresión y resistencias de las Probetas Suelo-Cal.....	146
Tabla 4.13: Cuadro de resultados de Densidades para obtener el porcentaje óptimo de Emulsión Asfáltica en el suelo.....	153
Tabla 4.14: Cuadro de resistencias de Suelo-Emulsión para las probetas de cada uno de los porcentajes de Emulsión.....	155
Tabla 4.15: Cuadro de CBR del Suelo-OrganoSilano en función de la Densidad Máxima Seca.....	166
Tabla 4.16: Cuadro de resultados de resistencias de las probetas de Suelo-OrganoSilanos.....	168

CAPITULO V: DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO

Tabla 5.1: Cuadro de la fórmula Maestra para el Micropavimento.....	189
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II: GENERALIDADES

Figura 2.1: Suelo en Terraplenes.....	6
Figura 2.2: Suelo Limoso.....	7
Figura 2.3: Suelo Arenoso.....	7
Figura 2.4: Saco de Cemento Comercial.....	8
Figura 2.5: Cal Viva.....	9
Figura 2.6: Distribución Química de los Organo-silanos.....	11
Figura 2.7: Colocación de Asfalto en Vías.....	12
Figura 2.8: Planta de Emulsión Asfáltica.....	15
Figura 2.9: Tipos de Emulsiones Asfálticas.....	17
Figura 2.10: Colocación de un Micropavimento en la Vía.....	18
Figura 2.11: Curva Granulométrica de los Agregados.....	22
Figura 2.12: Gráfica de Plasticidad.....	26
Figura 2.13: Plasticidad del Material. Límites de Atterberg.....	27
Figura 2.14: Diagrama de Plasticidad según los Límites de Atterberg.....	29
Figura 2.15: Límite Líquido. Método Casagrande.....	30
Figura 2.16: Gráfica de Próctor Modificado.....	34
Figura 2.17: Gráfica de % CBR.....	37
Figura 2.18: Equipo para ensayo de Azul de Metileno.....	38
Figura 2.19: Elementos para el Ensayo de la Rueda Cargada.....	39

Figura 2.20: Equipo para Ensayo de Abrasión en Húmedo.....	40
Figura 2.21: Clasificación de Mezclas en función del par de torsión y del tiempo de curado.....	41
Figura 2.22: Equipo para Cohesión de micropavimentos.....	42
Figura 2.23: Ensayo de Consistencia de mezclas asfálticas.....	44

CAPITULO III: ENSAYOS EN LIMOS ARENOSOS

Figura 3.1: Muestra de Suelo de Tipo Limo Arenoso.....	45
Figura 3.2: Proceso de tamizado según Norma ASTM D-136.....	45
Figura 3.3: Curva Granulométrica.....	46
Figura 3.4: Resultados y Proceso de Ensayo de Equivalente de Arena.....	47
Figura 3.5: Ensayo de Límite Líquido y Límite Plástico.....	48
Figura 3.6: Gráfica de Humedad Óptima para obtener la densidad máxima seca.....	52
Figura 3.7: Gráfica Presión vs Penetración para CBR.....	56
Figura 3.8: Gráfica del CBR Corregido vs Densidad Seca.....	56
Figura 3.9: Ensayo de Compresión en Probeta de Suelo Natural....	57
Figura 3.10: Probeta de los 0 min a los 30 min del Ensayo.....	58
Figura 3.11: Suelo mezclado con el 1% de Cemento.....	59
Figura 3.12: Ensayo de Límite Líquido.....	59
Figura 3.13: Ensayo de Límite de Plasticidad.....	60
Figura 3.14: Gráfica de Humedad vs # de Golpes.....	60

Figura 3.15: Curva de Humedad Óptima para obtener la Densidad Máxima del suelo.....	63
Figura 3.16: Gráfica Presión vs Penetración para CBR.....	67
Figura 3.17: Gráfica del CBR Corregido vs Densidad Seca.....	67
Figura 3.18: Ensayo de Compresión en Probeta de Suelo Cemento.....	68
Figura 3.19: Comparación de las Resistencias Obtenidas a los 28 días entre suelo Natural y Suelo-Cemento.....	69
Figura 3.20: Comparación de las Resistencias Obtenidas a los 14 días entre suelo Natural y Suelo-Cemento.....	69
Figura 3.21: Probeta de Suelo-Cemento 1% durante el Ensayo.....	70
Figura 3.22: Gráfica de Resultados de Capilaridad en función del Tiempo de ensayo.....	71
Figura 3.23: Gráfica de aumento de humedad en función del tiempo.....	71
Figura 3.24: Suelo Modificado con el 2% de Cal.....	72
Figura 3.25: Gráfica Humedad vs # de golpes.....	73
Figura 3.26: Ensayo de Límite Líquido. Casa Grande.....	73
Figura 3.27: Ensayo de Límite plástico.....	74
Figura 3.28: Curva para obtener la Humedad óptima en la densidad máxima seca.....	76

Figura 3.29: Gráfica de Presión vs Penetración para obtener CBR.....	80
Figura 3.30: Gráfica de CBR corregido vs Densidad Seca.....	80
Figura 3.31: Ensayo de Compresión a la Probeta Suelo-Cal.....	81
Figura 3.32: Comparación de resultados obtenidos de resistencia a los 28 días.....	81
Figura 3.33: Comparación de resultados obtenidos de resistencia a los 14 días entre el suelo normal, suelo – cemento y suelo-cal.....	82
Figura 3.34: Gráfica de ascenso capilar en función del tiempo Ensayado.....	83
Figura 3.35: Gráfico del Aumento de la Humedad de las probetas en función del tiempo.....	84
Figura 3.36: Probeta de Suelo-Cal en el Ensayo de Capilaridad.....	84
Figura 3.37: Mezcla de Suelo – 1.5% de Emulsión Asfáltica.....	85
Figura 3.38: Muestras de Emulsión para obtener porcentaje de agua.....	86
Figura 3.39: Curva para la obtención porcentaje óptimo de Emulsión.....	88
Figura 3.40: Ensayo de Compresión para la probeta Suelo-Emulsión Asfáltica.	89
Figura 3.41: Comparación de resistencias a los 28 días entre suelo normal, Suelo-Cemento, Suelo-Cal y Suelo-Emulsión Asfáltica.....	90
Figura 3.42: Comparación de resistencias a los 14 días entre suelo normal, Suelo-Cemento, Suelo-Cal y Suelo-Emulsión Asfáltica.....	90

Figura 3.43: Gráfica de Ascenso Capilar en función del tiempo ensayado.	91
Figura 3.44: Gráfica de Humedad en función del tiempo Ensayado.....	92
Figura 3.45: Probeta en proceso de Ensayo de Capilaridad.....	92
Figura 3.46: Mezcla de Suelo con Organo-Silanos.....	93
Figura 3.47: Gráfica de Próctor para obtener el porcentaje óptimo de humedad para la compactación máxima.....	95
Figura 3.48: Gráfica de Presión vs Penetración para CBR.....	99
Figura 3.49: Gráfica de CBR corregido vs Densidad Seca.....	99
Figura 3.50: Ensayo de Compresión en Probeta de Suelo-Organo Silanos.....	100
Figura 3.51: Comparación de resistencia a los 28 días entre todos los materiales estabilizantes.....	101
Figura 3.52: Comparación de resistencia a los 14 días entre todos los materiales estabilizantes.....	101
Figura 3.53: Gráfica de Ascenso Capilar de las probetas en función del tiempo ensayado.....	102
Figura 3.54: Gráfica del aumento de Humedad en las probetas en función del tiempo ensayado.	103
Figura 3.55: Probeta de Suelo-OrganoSilano (Impermeable).....	103
Figura 3.56: Comparación de los materiales estabilizantes en función de la Densidad máxima Seca al 100%.....	104

Figura 3.57: Comparación de los materiales estabilizantes en función de la Densidad máxima Seca al 95%.....	104
Figura 3.58: Comparación de los materiales estabilizantes en función del CBR al 100%.....	105
Figura 3.59: Comparación de los materiales estabilizantes en función del CBR al 95%.....	105

CAPITULO IV: ENSAYOS EN LIMO ORGÁNICO ARENOSO

Figura 4.1: Muestra de Suelo de Tipo Limo Orgánico Arenoso.....	106
Figura 4.2: Ensayo granulométrico del Suelo.....	106
Figura 4.3: Curva Granulométrica del Suelo Tamizado.....	107
Figura 4.4: Ensayo de Equivalente de Arena en el Suelo.....	108
Figura 4.5: Gráfica de Porcentaje de Humedad Número de Golpes.....	109
Figura 4.6: Gráfica de Próctor para obtener la Humedad óptima.....	110
Figura 4.7: Gráfica Presión vs Penetración para CBR.....	116
Figura 4.8: Gráfica Densidad Seca vs CBR Corregido.....	116
Figura 4.9: Gráfica de ascenso Capilar en función al tiempo.....	119
Figura 4.10: Probetas Ensayadas de Suelo Natural por Capilaridad.....	119
Figura 4.11: Suelo Mezclado con el 4% de Cemento.....	120
Figura 4.12: Ensayo de Límite Líquido.....	120

Figura 4.13: Ensayo de límite de plasticidad.....	121
Figura 4.14: Gráfica de humedad vs Número de Golpes.....	121
Figura 4.15: Gráfica Densidad Seca vs Humedad para definir la Humedad Óptima del Suelo.....	124
Figura 4.16: Gráfica Presión vs Penetración para CBR.....	128
Figura 4.17: Gráfica Densidad seca vs CBR Corregido.....	128
Figura 4.18: Ensayo de Compresión en Suelo – Cemento.....	129
Figura 4.19: Gráfico de Resistencia a la compresión a los 28 días para cada porcentaje de Cemento en el Suelo.....	130
Figura 4.20: Gráfico de Resistencia a la compresión a los 14 días para cada porcentaje de Cemento en el Suelo.....	131
Figura 4.21: Probetas Suelo Cemento ensayadas por Capilaridad.....	135
Figura 4.22: Gráfica de Ascenso Capilar para cada porcentaje de Suelo-Cemento en función del Tiempo.....	135
Figura 4.23: Gráfica de aumento de humedad para cada porcentaje de Suelo-Cemento en función del Suelo.....	136
Figura 4.24: Mezcla de Suelo con el 8% de Cal.....	137
Figura 4.25: Gráfica Humedad vs Número de Golpes.....	138
Figura 4.26: Ensayo de límite líquido. Casa Grande.....	138
Figura 4.27: Ensayo de límite plástico.....	139

Figura 4.28: Gráfica de Próctor para obtener la humedad óptima para la compactación máxima.....	139
Figura 4.29: Gráfica de Presión vs Penetración para hallar el CBR del Suelo-Cal.....	143
Figura 4.30: Gráfica Densidad Seca vs CBR Corregido.....	144
Figura 4.31: Ensayo de Compresión en las Probetas de Suelo-Cal.....	145
Figura 4.32: Probetas Ensayadas y con Falla Vertical.....	145
Figura 4.33: Gráficas de resistencias de las probetas de Suelo-Cal a los 28 y 14 días para cada porcentaje de cal.....	147
Figura 4.34: Gráfica de Ascenso Capilar para cada porcentaje de Cal en función del tiempo transcurrido.....	149
Figura 4.35: Gráfica de incremento de Humedad en cada una de las probetas de cada porcentaje de cal en función del tiempo transcurrido.....	149
Figura 4.36: Probetas de Suelo-Cal en proceso de Ensayo de Capilaridad.....	150
Figura 4.37: Suelo mezclado con el 3% de Emulsión Asfáltica.....	151
Figura 4.38: Ensayo de Contenido de Agua en la Emulsión Asfáltica.....	151
Figura 4.39: Gráfica de Próctor para definir el porcentaje óptimo de Emulsión Asfáltica en el Suelo.....	154

Figura 4.40: Ensayo de Compresión de Probeta	
Suelo-Emulsión.....	154
Figura 4.41: Gráficas de Resistencias de cada una de las	
Probetas a los 28 y 14 días para cada porcentaje de Emulsión	
Asfáltica en el Suelo.....	156
Figura 4.42: Gráfica de Ascenso Capilar para cada porcentaje de	
Emulsión en función al tiempo transcurrido.....	158
Figura 4.43: Gráfica de Incremento de Humedad para cada	
Porcentaje de Emulsión en función al tiempo transcurrido.....	158
Figura 4.44: Probetas de Suelo-Emulsión Asfáltica sometidas al	
Ensayo de Capilaridad.....	159
Figura 4.46: Gráfica de Próctor para hallar la humedad óptima del	
Suelo-OrganoSilano.....	162
Figura 4.47: Gráfica Presión vs Penetración para hallar el	
CBR.....	166
Figura 4.48: Gráfica Densidad Seca vs CBR Corregido.....	166
Figura 4.49: Ensayo de Compresión Probeta	
Suelo-OrganoSilano	167
Figura 4.50: Gráficos de Resistencias a los 28 y 14 días en probetas	
de Suelo-OrganoSilanos.....	168
Figura 4.51: Gráfica de Ascenso Capilar Nulo a causa de la	
Impermeabilización con OrganoSilanos.....	169

Figura 4.52: Gráfica de Incremento de Humedad Nula por Impermeabilización de los OrganoSilanos.....	170
Figura 4.53: Probeta sumergida en agua Absorción Capilar Nula.....	170
Figura 4.54: Gráfica de la Densidad Máxima Seca al 100% para cada uno de los Productos estabilizantes.....	171
Figura 4.55: Gráfica de la Densidad Máxima Seca al 95% para cada uno de los Productos estabilizantes.....	171
Figura 4.56: Gráfica de los valores de CBR al 100% para cada uno de los Productos estabilizantes.....	172
Figura 4.57: Gráfica de los valores de CBR al 100% para cada uno de los Productos estabilizantes.....	172
Figura 4.58: Gráfica de los valores de Resistencia a la Compresión a los 28 días para cada uno de los Productos estabilizantes.....	173
Figura 4.59: Gráfica de los valores de Resistencia a la Compresión a los 14 días para cada uno de los Productos estabilizantes.....	174
Figura 4.60: Gráfica de Ascenso Capilar para cada uno de los Productos estabilizantes en función al tiempo.....	174
Figura 4.61: Gráfica de Incremento de Humedad para cada uno de los Productos estabilizantes en función al tiempo.....	175

CAPITULO V: DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO

Figura 5.1: Agregado de la Mina de Pintag	177
---	-----

Figura 5.2: Ensayo de Equivalente de Arena	178
Figura 5.3: Ensayo de Azul de Metileno	178
Figura 5.4: Gráfica granulométrica MicroPavimento de Tipo III	179
Figura 5.5: Emulsión Asfáltica de Tipo CSS-1H-P	180
Figura 5.6: Ensayo de Consistencia de la Mezcla Asfáltica	182
Figura 5.7: Gráfica para la determinación del Porcentaje Óptimo de Agua en función al Flujo del Cono	183
Figura 5.8: Ensayo de Cohesión al Micropavimento.....	183
Figura 5.9: Muestras ensayadas por Cohesión de Micropavimento los 30 minutos	184
Figura 5.10: Muestras ensayadas por Cohesión de Micropavimento a los 60 minutos	184
Figura 5.11: Muestras ensayadas por Cohesión de Micropavimento a los 120 minutos	185
Figura 5.12: Características de Curado en Función a la Cohesión que tiene el Micropavimento	185
Figura 5.13: Moldes de Micropavimento para el Ensayo de Abrasión.....	186
Figura 5.14: Ensayo de Abrasión en Húmedo del Micropavimento.....	187
Figura 5.15: Ensayo de Rueda Cargada para Micropavimento.....	187

Figura 5.16: Moldes después del Ensayo de Rueda

Cargada.....188

Figura 5.17: Gráfica para la Determinación del Contenido de Asfalto

en función Contenido de Asfalto (Emulsión Asfáltica).....188

RESUMEN

El proyecto de tesis “Metodología de Diseño de Micropavimento de bajo costo para suelo tipo limo orgánico arenoso (OL)”, tiene como principal objetivo, brindar al lector una guía básica para el manejo adecuado en la parte de estabilizaciones de suelo de tipo limo orgánico arenoso (OL), y de tipo limo arenoso (OM), ya que para estos dos tipos de suelo se está realizando una estabilización con cemento, cal, emulsión asfáltica y órgano-silanos. Éste documento deberá ser tomado de manera referencial y como ayuda para que los profesionales y usuarios establezcan sus propias especificaciones en sus proyectos en base al tipo de suelo con el que se encuentren, siempre y cuando se encuentren con cualquiera de los dos tipos de suelo anteriormente nombrados; como es de conocimiento general, el diseño de la estructura de un pavimento o micropavimento está en función del porcentaje de CBR de la subrasante o de la base mejorada, por esa razón se realizó la investigación para poder abaratar costos, estabilizando la subrasante. El diseño del micropavimento se lo realizó con emulsión catiónica de tipo CSS-1H-P, ya que ésta emulsión es de rotura lenta, se trabajó con el agregado de la Mina de Pintag, el mismo que sirvió para realizar un micropavimento de tipo 3, en el que su diseño se destaca el estar compuesto del 14.15% de Emulsión Asfáltica, valor obtenido por el Método de Duriez.

Palabras Claves:

- Suelos
- Estabilización
- Pavimentos
- Micropavimentos
- CBR

ABSTRACT

The thesis project " Design Methodology microsurfacing low-cost soil sandy organic silt (OL) type ", whose main objective is to provide the reader a basic guide for the proper management of stabilization in silt soil type sandy organic (OL), and type sandy loam (OM), since for these two soil types is underway stabilization with cement, cal, asphalt emulsion and organosilanes. This document should be taken for reference purposes and as an aid for practitioners and users to establish their own specifications in their projects based on the type of soil they are in, as long as they are with any of the above two types of soil appointed, as is generally known, the design of the structure of a pavement or microsurfacing is based on the percentage of CBR subgrade or improved base, which is why the research was conducted to reduce costs, stabilizing the subgrade. The design microsurfacing it performed with cationic emulsion CSS- 1H-P type as this emulsion is slow break, we worked with the addition Mine Pintag, the same that was used to perform microsurfacing type 3, its design highlights consist of 14.15% of Asphalt Emulsion, value obtained by the method Duriez.

Keywords:

- Soils
- Stabilization
- Pavements
- Micro-pavements
- CBR

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El Ecuador es un país que se encuentra al Noroccidente de América Latina, es considerado como un país tercermundista, pero es rico en petróleo y otras materias primas que se encuentran distribuidas en la Costa, Sierra y Oriente; el turismo es otra actividad muy importante para el país por sus hermosos paisajes y lugares turísticos existentes en todo el país.

Las vías en el país son fundamentales para el desarrollo de un país, ya que a través de éstas se puede desarrollar las actividades más importantes, que son el comercio y el turismo. En la actualidad el gobierno ecuatoriano a puesto mucho empeño en la construcción y ampliaciones de carreteras en todo el país, gracias a esto ha mejorado la calidad del transporte y por ende se ha podido tener más turismo en el Ecuador.

El pavimento en el Ecuador actualmente se desarrolla en dos tipos muy importantes que son los pavimentos rígidos y los pavimentos flexibles, los mismos que han dado muy buen resultado en el país especialmente los recientemente construidos o puestos en práctica que son los pavimentos rígidos, ya que éstos tienen una mayor vida útil que los pavimentos flexibles, gracias a las nuevas tecnologías e instrumentación podemos realizar con mayor eficacia la construcción de éstos. El pavimento más utilizado en los últimos 40 años es el pavimento flexible, y en la actualidad

sigue siendo el más utilizado, por la facilidad y su economía en su construcción.

La explotación de productos propios de una comunidad, está relacionado directamente con la economía de un país, es por esto que la construcción de carreteras es indispensable para la comercialización de las mismas.

El transporte de estos productos al mercado, permite el desarrollo de estas comunidades, mejorando la calidad de vida de los productores e incrementando la economía de un país.

Sin embargo, estas carreteras, no siempre llegan a ser construidas hacia los sectores productivos por el alto costo que significa su construcción, teniendo como resultado un desinterés por parte de las autoridades, quienes no ponen énfasis en la investigación de pavimentos de bajo costo, impidiendo que estas comunidades sean competitivas y se desarrollen.

La tecnología ha ido desarrollándose con el paso del tiempo y con ésta el descubrimiento de nuevos métodos para diseñar pavimentos a un bajo costo que los tradicionales, pero no se lo aplica, ya que existe el factor suelo o rasante, la misma que constituye la base para realizar un ahorro en la estructura del pavimento, ya que de éste depende los espesores de cada una de las capas del pavimento.

1.2 ÁREA DE INFLUENCIA

Los beneficiarios de la investigación de este Proyecto de Grado serán los profesionales dedicados a la rama vial de la Ingeniería Civil, ya que a través de éste proyecto se tendrá una base teórica-práctica en cuanto a cómo realizar un diseño de micropavimento de bajo costo en base a un suelo estabilizado sea con cemento, cal, emulsión asfáltica u órganosilanos para un limo orgánico arenoso (OL).

Otros beneficiarios serán los habitantes del barrio La Joya; ya que en todo éste sector los suelos son similares, y se podría utilizar éste proyecto para fines de apoyo para estos lugares que carecen de vías pavimentadas.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 Objetivo General

- Definir una metodología de bajo costo para diseño de micropavimentos en suelos de tipo limo orgánico arenoso (OL), estabilizando con cal, cemento, emulsión asfáltica y órganosilanos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer un procedimiento de toma de muestras.
- Analizar opciones de estabilización del suelo de tipo limo orgánico arenoso (OL) y de un suelo patrón, limo arenoso (ML).

- Realizar los ensayos necesarios para encontrar el porcentaje óptimo de cal, cemento, emulsión asfáltica y órganosilanos para la estabilización del suelo tipo limo orgánico arenoso.
- Determinar el diseño óptimo de la mezcla asfáltica para suelos estabilizados de tipo limo orgánico arenoso y un limo arenoso.
- Comparar los resultados obtenidos entre el suelo limo orgánico arenoso (OL) y el limo arenoso (ML).
- Indicar la mejor opción de estabilización para el suelo limo orgánico arenoso.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER

En conocimiento de la problemática vial en algunos sectores que existen en el Ecuador por los tipos de suelos complicados por su composición como son los limos orgánicos arenosos.

El problema vial ha venido dándose en el Ecuador desde hace muchos años atrás por la falta de control de parte del estado, en las diferentes construcciones y reconstrucciones de las vías del Ecuador.

Actualmente existe preocupación por parte del estado por mejorar las vías del Ecuador, pero existe todavía carencias de carreteras para el sector productivo.

Es importante acotar que en la actualidad existen maneras de estabilización de la sub-rasante como son las cuatro opciones; con cal, con cemento, con emulsión asfáltica y con órganosilanos, las mismas que

dándoles un manejo adecuado se llegarían a abaratar costos con respecto a cada una de las capas que conforman la estructura del pavimento.

El proyecto de tesis es importante dado que a través de esta investigación se tendrá como resultado un micropavimento de bajo costo, el mismo que beneficiará a los habitantes del sector y a los profesionales que indaguen en este campo, puesto que, a través de éste proyecto de tesis, se podrá tener una referencia de micropavimentos económicos para suelos limos orgánicos arenosos.

Y de esta manera pueden los diseñadores ahorrar tiempo y por consecuencia dinero, ya que estos dos factores en el ámbito de la construcción son muy importantes.

Con la estabilización del suelo con las cuatro opciones, cal, cemento, emulsión asfáltica y órganosilanos, se podría llegar a tener una rasante más resistente a la Humedad y a la compresión, por ende éste factor garantiza a que la estructura del pavimento sea de menos espesor, ya que se podría definir tranquilamente espesores mínimos tanto de sub-base, base, solamente para brindarle un buen drenaje a la vía, para finalmente colocar la imprimación asfáltica y seguidamente la capa de rodadura.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1. SUELO

Suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas), junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas. (Braja M. Das, 1999).



Figura 2.1: Suelo en terraplenes

Fuente Gráfica: <http://www.articulosweb.net>

2.2. LIMO

Son fracciones microscópicas de suelo que consisten en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas que son fragmentos de minerales. Para que se clasifique como tal, el diámetro de las partículas de limo varía de 0,002 mm a 0,06 mm. (Braja M. Das, 1999).

El limo orgánico se encuentra constituido por barro, lodo y restos vegetales.



Figura 2.2: Suelo Limoso

Fuente Gráfica: <http://www.articulosweb.net>

2.3. ARENA

Están formados principalmente por cuarzo y feldespatos, aunque también están presentes, a veces otros granos minerales. El diámetro de las partículas de arena varía de 0.06mm a 2mm. (Braja M. Das, 1999).



Figura 2.3: Suelo Arenoso

Fuente Gráfica: <http://www.articulosweb.net>

2.4. CEMENTO

Es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada clinker, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso o puzolana, este le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse.

El clinker es el resultado de la calcinación de calizas y arcillas que son extraídas de las canteras y trituradas junto al hierro. (VICAT, 2002).



Figura 2.4: Saco de Cemento Comercial

Fuente Gráfica: <http://www.articulosweb.net>

2.5. CAL

Es un término que designa todas las formas físicas en las que pueden aparecer el óxido de calcio (CaO) y el óxido de calcio de magnesio (CaMgO_2), denominados también, cal viva (o generalmente cal) y dolomía calcinada respectivamente. Estos productos se obtienen como resultado de la calcinación de las rocas (calizas o dolomías). Adicionalmente, existe la posibilidad de añadir agua a la cal viva y a la dolomía calcinada obteniendo productos hidratados denominados comúnmente cal apagada o hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) y dolomía hidratada (CaMg(OH)_4). (J.A.H., 1998).



Figura 2.5: Cal Viva

Fuente Gráfica: J.A.H, 1998

2.6. ÓRGANO-SILANOS

Los enlaces carbono - silicio son más largos en comparación con los enlaces carbono-carbono (longitud de enlace de 186 vs 154 del peso molecular) y son más débiles, con una energía de disociación del enlace de 451 kJ/mol frente a 607 kJ/mol. El enlace C-Si está algo polarizado hacia el carbono debido a su mayor electronegatividad (C=2,55 vs Si=1,90). Una manifestación de la polaridad de estos enlaces en los órganossilanos se encuentra en la reacción de Sakurai, la misma que es la reacción química en donde se parte de un compuesto con un carbono electrofílico (comúnmente de una cetona) y se le hace reaccionar con alil silanos por catálisis con ácidos de Lewis fuertes (acepta un par de electrones al mismo tiempo, debe tener su octeto de electrones incompleto). (Butterworth, 1981)

Los Órgano-Silanos son solubles al agua, estables al calor, rayos UV y reaccionan con grupos de silanol propensos a Húmedecerse con el agua (hidrofílicos) como arena, limos, arcillas y agregados para convertirlos en uniones Alquil-Siloxano, que son altamente estables y que repelen el agua, formando una membrana transpirable in-situ. (BREM, 2013)

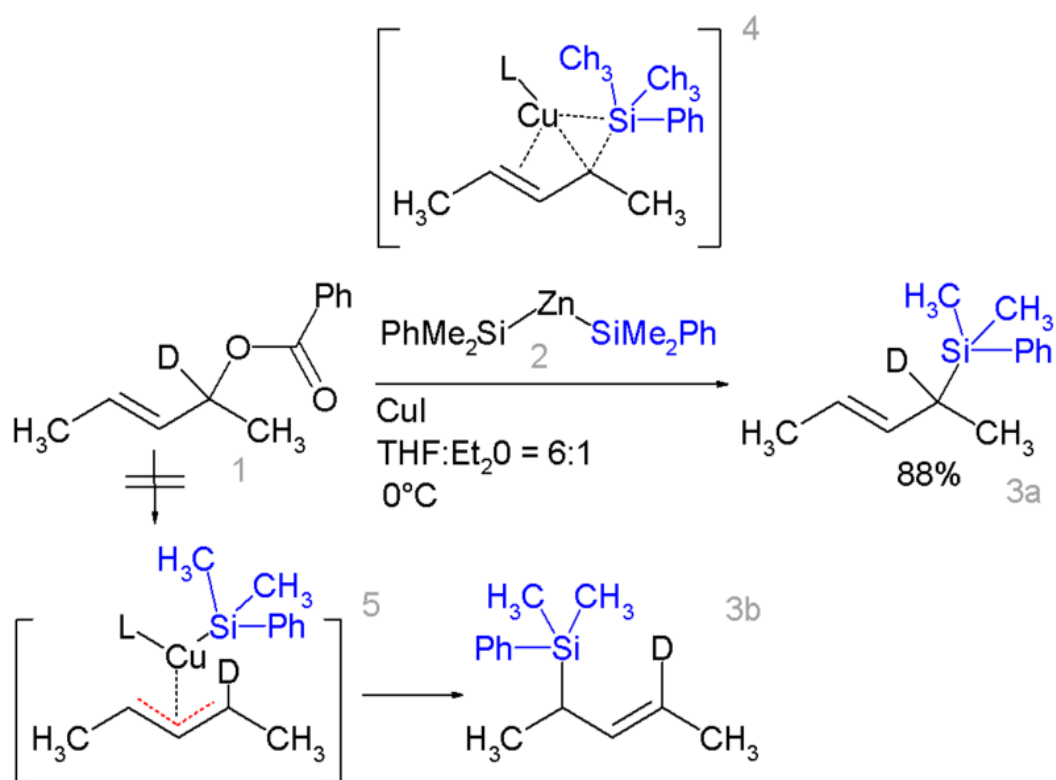


Figura 2.6: Distribución Química de los Órgano-silanos

Fuente Gráfica: (Butterworth, 1981)

2.7. ASFALTO

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Como aplicación de estas propiedades el asfalto puede cumplir, en la construcción de pavimentos, las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la Humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.

- Proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos.

Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor. (Wong, 1995)



Figura 2.7: Colocación de asfalto en vías

Fuente Gráfica: <http://www.webquest.es/webquest/danos-en-pavimentos-flexibles>

2.7.1. Tipos de Asfaltos¹

2.7.1.1. Asfaltos Oxidados o Soplados

Estos son asfaltos que han sido sometidos a un proceso de deshidrogenación y posteriormente a un proceso de polimeración.

¹ (ASEFMA) Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas

Este asfalto es expuesto a una elevada temperatura pasándole una corriente de aire con el objetivo de mejorar sus características y ser empleado en aplicaciones más especializadas.

El proceso de oxidación en los asfaltos presenta las siguientes modificaciones físicas:

- Aumento del peso específico.
- Aumento de la viscosidad.
- Disminución de la susceptibilidad térmica.

2.7.1.2. Asfaltos Sólidos o Duros

Asfaltos con una penetración a temperatura ambiente menor que 10.

Además de ser aglutinante e impermeabilizante, se caracteriza por su flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos, sales y alcoholes.

2.7.1.3. Fluxante o Aceite Fluxante

Fracción de petróleo relativamente poco volátil empleada en ocasiones para ablandar el asfalto hasta la consistencia deseada; frecuentemente se emplea como producto básico para la fabricación de materiales asfálticos para revestimientos de cubiertas.

2.7.1.4. Asfaltos Fillerizados

Asfaltos en cuya composición hay materias minerales finamente molidas que pasan por el tamiz # 200.

2.7.1.5. Asfaltos Líquidos

Son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida, por ello no se incluyen en el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300. También se los denomina asfaltos rebajados o cutbacks.

Se componen por una base asfáltica y un fluidificante volátil, que puede ser bencina, queroseno o aceite. Los fluidificantes se evaporan (proceso de curado), quedando el residuo asfáltico el cual envuelve y cohesiona las partículas del agregado.

Dentro de los asfaltos líquidos encontramos los siguientes productos:

- **Asfalto de curado rápido.-** Es aquel cuyo disolvente es del tipo de la nafta o gasolina, se obtienen los asfaltos rebajados de curado rápido y se designan con las letras RC (Rapid Curing), seguidos por un número que indica el grado de viscosidad cinemática en centiéstokes.
- **Asfalto de curado medio.-** El disolvente de este asfalto es queroseno, y se designa con las letras MC (Medium Curing), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiéstokes.

- **Asfalto de curado lento.-** El disolvente o fluidificante es aceite liviano, relativamente poco volátil, y se designa por las letras SC (Slow Curing), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiestokes.
- **Road oil.-** Es la fracción pesada del petróleo, usualmente uno de los grados de asfalto líquido de curado lento (SC, Slow Curing).

2.7.1.6. Asfaltos Emulsificados

2.7.1.6.1. Emulsiones Asfálticas:

Son parte de los asfaltos líquidos.

Es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles (no se mezclan), como son el asfalto y el agua, al que se le incorpora una pequeña cantidad de un agente activador de superficie, tenso activo o emulsificante de base jabonosa o solución alcalina, que mantiene en dispersión el sistema, siendo la fase continua el agua y la discontinua los glóbulos del asfalto, en tamaño, entre uno a diez micrones.

El asfalto es emulsificado en un molino coloidal con 40 - 50% por peso de agua que contiene entre 0.5 y 1.5% por peso de emulsificante. Permite la aplicación del asfalto donde no es posible calentar el material.



Figura 2.8: Planta de Emulsión Asfáltica

Fuente: http://es.made-in-china.com/co_dagang2012/product_Asphalt-Emulsion-Plant_horhehihg.html

Cuando la emulsión se pone en contacto con el agregado se produce un desequilibrio que la rompe, llevando a las partículas del asfalto a unirse a la superficie del agregado.

El agua fluye o se evapora, separándose de las partículas pétreas recubiertas por el asfalto. Existen emulsificantes que permiten que esta rotura sea instantánea y otros que retardan éste fenómeno.

De acuerdo con la velocidad de rotura, las emulsiones asfálticas pueden ser:

- **Emulsiones de Rotura Rápida: RS (Rapid Setting).**- Interactúan rápidamente con el agregado, y revierte la emulsión a asfalto. Forman una capa relativamente dura y principalmente se usan para aplicaciones en spray sobre agregados y arenas de

sello, así como penetración sobre piedra quebrada; que por ser de alta viscosidad sirve de impermeabilizante.

- **Emulsiones de Rotura Media MS (Medium Setting).**- No rompen inmediatamente al contacto con el agregado, por esta razón, algunas pueden ser elaboradas en una planta.
- **Emulsiones de Rotura Lenta SS (Slow Setting).**- Son diseñadas para un tiempo prolongado de mezcla con los agregados. Sirven especialmente para una máxima estabilidad de mezclado. Se las emplea para dar un buen acabado con agregados compactos y asegurar una buena mezcla estabilizada.
- **Emulsiones de Rotura Controlada QS (Controlled Setting).**- Son diseñadas para un tiempo controlado de rotura de acuerdo a los requerimientos.

El tipo de emulsión a utilizar depende de varios factores, tales como las condiciones climáticas durante la construcción, tipos de agregados, etc.

Las emulsiones asfálticas deben tener una buena adherencia.

Esta cualidad la confiere el emulsificante, que puede darle polaridad negativa o positiva, tomando el nombre de aniónicas, las primeras, afines a los áridos de cargas positivas y catiónica, las segundas, afines a áridos de cargas negativas; como son las de origen cuarzoso o silíceo.

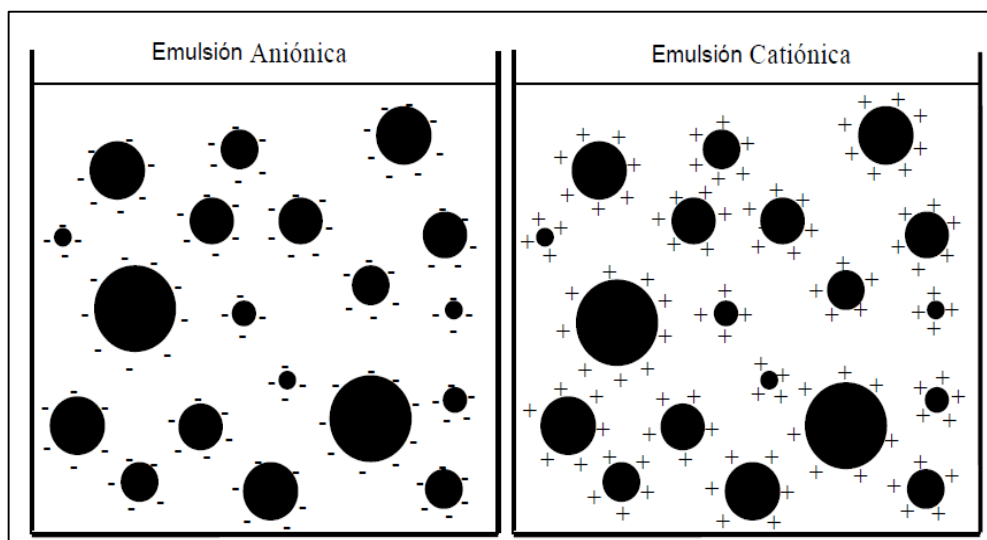


Figura 2.9: Tipos de Emulsiones Asfálticas por su Carga Eléctrica

Fuente Gráfica: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141

2.7.1.6.2. Emulsión Asfáltica Inversa

Emulsión asfáltica en la que la fase continua es asfalto de tipo líquido, y la fase discontinua está constituida por diminutos glóbulos de agua en porción relativamente pequeña.

Este tipo de emulsión puede ser también aniónica o catiónica.

2.8. MICROPAVIMENTO

El Micropavimento (micro-surfacing), es un sistema de pavimentación superficial por capas delgadas compuesto por emulsión asfáltica modificada con polímeros, 100% agregado triturado, finos minerales, agua y aditivo de control de campo según sea necesario. Es aplicado como tratamientos superficiales delgados de 10 a 13mm de espesor, para mejorar características de fricción en pavimentos

principalmente. Su segundo mayor uso es en recuperación de ahuellamientos, en vías con moderado y alto tráfico vehicular.



Figura 2.10: Colocación de un Micropavimento en la vía

Fuente Gráfica: micropavimentos.blogspot.com

La vida útil de servicio de un micropavimento es de 4 a 7 años, ya que este se adhiere perfectamente a la capa de rodadura existente. Una de sus principales características es que puede ser abierto el tráfico después de una hora de su aplicación. (ISSA, 2010)

2.8.1. Tipos de Micropavimentos de acuerdo a la Gradación del agregado

Para realizar la elección del tipo de Micropavimento a realizar se utiliza la Tabla 2.1, en la cual se cuantifica los porcentajes que pasan por cada uno de los tamices, y se realiza la comparación.

Tabla 2.1: Tabla de Gradación del Agregado en función al porcentaje que pasa

TAMIZ	TIPO II	TIPO III	TOLERANCIA
NÚMERO	% PASA	% PASA	EXISTENTE
3/8 (9.5mm)	100	100	± 5 %
# 4 (4.75mm)	90 - 100	70 - 90	± 5 %
# 8 (2.36mm)	65 - 90	45 - 70	± 5 %
# 16 (1.18mm)	45 - 70	28 - 50	± 5 %
# 30 (600um)	30 - 50	19 - 34	± 5 %
# 50 (330um)	18 - 30	12 - 25	± 4 %
# 100 (150um)	10 - 21	7 - 18	± 3 %
# 200 (75um)	5 - 15	5 - 15	± 2 %

Fuente: (ISSA, 2010)

Tipo II.- Esta gradación del agregado es utilizado para llenar superficies huecas, redireccionar la superficie, sello, y proporcionar una superficie de desgaste duradera

Tipo III.- Esta gradación del agregado ofrece la máxima resistencia a deslizamiento y una superficie de desgaste mejorada. Este tipo de micropavimento es apropiada para vías muy transitadas, o para la colocación en superficies altamente texturadas que requieren mayor tamaño agregado para rellenar huecos.

2.9. ENSAYOS PARA SUELOS

2.9.1. Granulometría (ASTM D-2487)²

La granulometría de una base de agregados se define como la distribución del tamaño de sus partículas. Esta granulometría se

² (Braja M. Das, "Principles of Foundation Engineering ", 4th Ed., 1999)

determina haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices ordenados, por abertura, de mayor a menor.

La granulometría de los agregados es un factor muy importante en el hormigón asfáltico, ya que de este factor depende la economía, manejabilidad y la resistencia de la mezcla.

El análisis o prueba de tamices se lleva a cabo tamizando los agregados a través de una serie de tamices enumerados. Estos tamices están en números ascendentes, esto es, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y bandeja para agregados finos y en orden de tamaño descendente 1- ½ ", 1", ¾ ", ½ ", 3/8", #4, #8 y bandeja, para agregado grueso. El número de los tamices nos indica las aperturas del tamiz por pulgada lineal.

El uso de todos los tamices dependerá de la precisión que se requiera o de las especificaciones, ya que en ocasiones sólo se utilizaran algunos de ellos. Se conoce como agregado fino a todo aquel que pasa a través del tamiz de 3/8" y el #4 y es retenido casi completamente en el tamiz #200. Agregado grueso es aquel que se retiene en el tamiz #4.

Los resultados de un análisis granulométrico también se representan en forma gráfica y en tal caso se llaman curvas granulométricas. Éstas gráficas se representan por medio de dos ejes perpendiculares entre sí, horizontal y vertical, en donde las

ordenadas representan el porcentaje que pasa y en el eje de las abscisas la abertura del tamiz cuya escala puede ser aritmética, logarítmica o en algunos casos mixtos.

Las curvas granulométricas permiten visualizar mejor la distribución de tamaños dentro de una masa de agregados y permite conocer además que tan grueso o fino es.

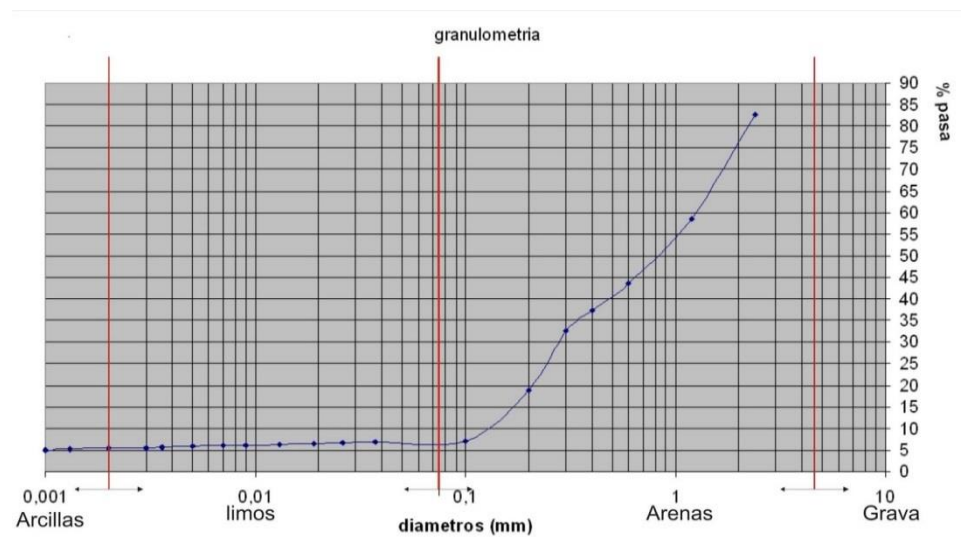


Figura 2.11: Curva Granulométrica de Agregados

Fuente Gráfica: <http://mecanicadelossuelos.blogspot.com/p/grafica-granulometrica.html>

Tabla 2.2: Nombres de grupo para suelos de grano grueso
(ASTM D-2487)

Símbolo de grupo	Criterio		Nombre de grupo
	Fracción de grava (%)	Fracción de arena (%)	
GW	< 15	< 15	Grava bien gradada
	≥ 15	< 15	Grava bien gradada con arena
GP	< 15	< 15	Grava pobremente gradada
	≥ 15	< 15	Grava pobremente gradada con arena
GM	< 15	< 15	Grava limosa
	≥ 15	< 15	Grava limosa con arena
GC	< 15	< 15	Grava arcillosa
	≥ 15	< 15	Grava arcillosa con arena
GC-GM	< 15	< 15	Grava limo arcillosa
	≥ 15	< 15	Grava limo arcillosa con arena
GW-GM	< 15	< 15	Grava bien gradada con limo
	≥ 15	< 15	Grava bien gradada con limo y arena
GW-GC	< 15	< 15	Grava bien gradada con arcilla
	≥ 15	< 15	Grava bien gradada con arcilla y arena
GP-GM	< 15	< 15	Grava pobremente gradada con limo
	≥ 15	< 15	Grava pobremente gradada con limo y arena
GP-GC	< 15	< 15	Grava pobremente gradada con arcilla
	≥ 15	< 15	Grava pobremente gradada con arcilla y arena
SW	< 15	< 15	Arena bien gradada
	≥ 15	< 15	Arena bien gradada con grava
SP	< 15	< 15	Arena pobremente gradada
	≥ 15	< 15	Arena pobremente gradada con grava
SM	< 15	< 15	Arena limosa
	≥ 15	< 15	Arena limosa con grava
SC	< 15	< 15	Arena arcillosa
	≥ 15	< 15	Arena arcillosa con grava
SM-SC	< 15	< 15	Arena limosa arcillosa
	≥ 15	< 15	Arena limosa arcillosa con grava
SW-SM	< 15	< 15	Arena bien gradada con limo
	≥ 15	< 15	Arena bien gradada con limo y grava
SW-SC	< 15	< 15	Arena bien gradada con arcilla
	≥ 15	< 15	Arena bien gradada con arcilla y grava
SP-SM	< 15	< 15	Arena pobremente gradada con limo
	≥ 15	< 15	Arena pobremente gradada con limo y grava
SP-SC	< 15	< 15	Arena pobremente gradada con arcilla
	≥ 15	< 15	Arena pobremente gradada con arcilla y grava

Fuente: (Das, 1999)

Nota: Fracción de arena = porcentaje del suelo que pasa el tamiz No. 4 pero es retenido por el tamiz No. 200 = $R_{200} - R_4$; fracción de grava = porcentaje de suelo que pasa el tamiz de 3-in. Pero es retenido por el tamiz No. 4 = R_4 .

Tabla 2.3: Nombres de grupo para suelos inorgánicos de grano fino

(ASTM D-2487).

Símbolo de Grupo	Criterio				Nombre de Grupo
	R ₂₀₀	Fracción de Arena	Fracción de Grava (%)	Fracción de Arena (%)	
		Fracción de Grava			
CL	<15				Arcilla magra
	15 a 29	≥1			Arcilla magra con arena
		<1			Arcilla magra con grava
	≥30	≥1	<15		Arcilla magra arenosa
		≥1	≥15		Arcilla magra arenosa con grava
		<1		<15	Arcilla magra gravosa
<1			≥15	Arcilla magra gravosa con arena	
ML	<15				Limo
	15 a 29	≥1			Limo con arena
		<1			Limo con grava
	≥30	≥1	<15		Limo arenoso
		≥1	≥15		Limo arenoso con grava
		<1		<15	Limo gravoso
<1			≥15	Limo gravoso con arena	
CL-ML	<15				Arcilla limosa
	15 a 29	≥1			Arcilla limosa con arena
		<1			Arcilla limosa con grava
	≥30	≥1	<15		Arcilla limosa arenosa
		≥1	≥15		Arcilla limosa arenosa con grava
		<1		<15	Arcilla limosa gravosa
<1			≥15	Arcilla limosa gravosa con arena	
CH	<15				Arcilla grasa
	15 a 29	≥1			Arcilla grasa con arena
		<1			Arcilla grasa con grava
	≥30	≥1	<15		Arcilla grasa arenosa
		≥1	≥15		Arcilla grasa arenosa con grava
		<1		<15	Arcilla grasa gravosa
<1			≥15	Arcilla grasa gravosa con arena	
MH	<15				Limo elástico
	15 a 29	≥1			Limo elástico con arena
		<1			Limo elástico con grava
	≥30	≥1	<15		Limo elástico arenoso
		≥1	≥15		Limo elástico arenoso con grava
		<1		<15	Limo elástico gravoso
<1			≥15	Limo elástico gravoso con arena	

Fuente: (Das, 1999)

Nota: R₂₀₀ = porcentaje de suelo retenido sobre el tamiz No. 200; fracción de arena = porcentaje del suelo que pasa el tamiz No. 4 pero retenidos sobre el tamiz No. 200 = R₂₀₀ – R₄; fracción de grava = porcentaje del suelo que pasa el tamiz de 3 pulgadas pero retenido sobre el tamiz No. 4 = R₄.

Tabla 2.4: Nombres de grupo para suelos orgánicos de grano fino (basados en ASTM D-2487)

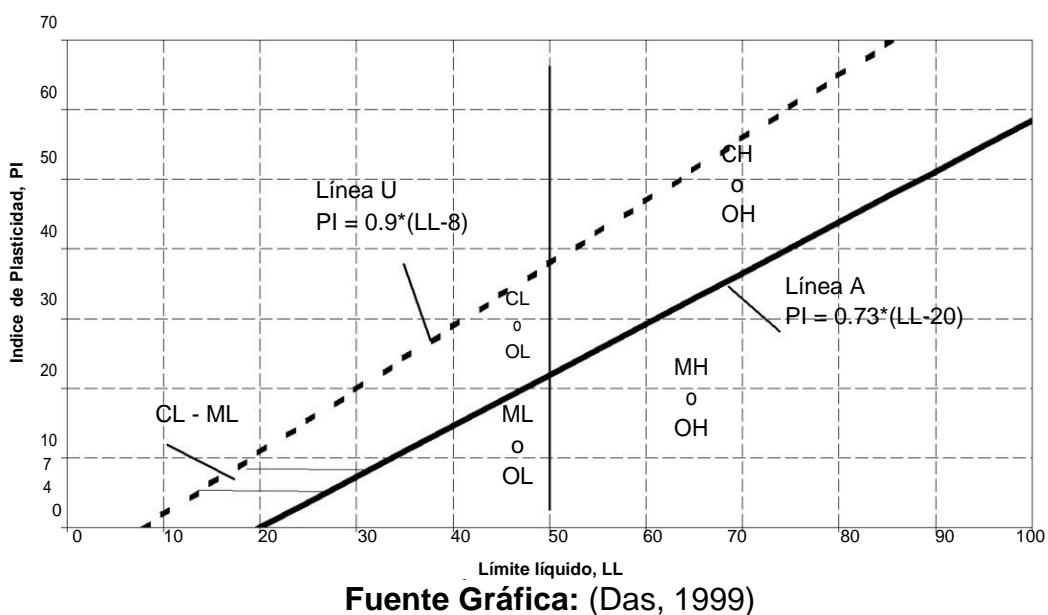
Símbolo de Grupo	Plasticidad	Criterio			Nombre de Grupo	
		R ₂₀₀	Fracción de arena	Fracción de grava		Fracción de arena
			Fracción de grava	(%)		(%)
OL	PI ≥ 4, y los límites de Atterberg están en o sobre la línea A	<15	≥1		Arcilla orgánica	
		15 a 29	<1		Arcilla orgánica con arena	
		≥30	≥1	<15		Arcilla orgánica arenosa
			<1	≥15		Arcilla orgánica arenosa con grava
				<15		Arcilla orgánica gravosa
				≥15		Arcilla orgánica gravosa con arena
	PI < 4, y los límites de Atterberg están bajo la línea A	<15	≥1		Limo orgánico	
		15 a 29	<1		Limo orgánico con arena	
		≥30	≥1	<15		Limo orgánico con grava
			<1	≥15		Limo orgánico arenoso
				<15		Limo orgánico arenoso con grava
				≥15		Limo orgánico arenoso con grava
OH	PI ≥ 4, y los límites de Atterberg están en o sobre la línea A	<15	≥1		Arcilla orgánica	
		15 a 29	<1		Arcilla orgánica con arena	
		≥30	≥1	<15		Arcilla orgánica con arena
			<1	≥15		Arcilla orgánica arenosa
				<15		Arcilla orgánica arenosa con grava
				≥15		Arcilla orgánica arenosa con grava
	PI < 4, y los límites de Atterberg están bajo la línea A	<15	≥1		Limo orgánico	
		15 a 29	<1		Limo orgánico con arena	
		≥30	≥1	<15		Limo orgánico con grava
			<1	≥15		Limo orgánico arenoso
				<15		Limo orgánico arenoso con grava
				≥15		Limo orgánico arenoso con grava

Fuente: (Das, 1999)

Nota: R₂₀₀ = porcentaje de suelo retenido sobre el tamiz No. 200;
fracción de arena = porcentaje del suelo que pasa el tamiz No. 4 pero es retenido sobre el tamiz No. 200 = R₂₀₀ – R₄; fracción de grava = porcentaje del suelo que pasa el tamiz de 3 in. pero es retenido sobre el tamiz No. 4 = R₄

Según la siguiente gráfica se puede apreciar los tipos de suelo existentes en función del límite líquido y el índice de plasticidad del suelo.

Figura 2.12: Gráfica de Plasticidad



2.9.2. Humedad Natural (ASTM D-2216)³

La Humedad natural de un suelo no es más que la relación o el cociente que existe entre el peso de agua de una partícula de suelo y el peso sólido de esta partícula, el valor de la Humedad está expresado en porcentaje ósea que luego de dividir los pesos se multiplica por cien. La Humedad es muy importante determinarla al momento de querer hacer cualquier obra civil en el suelo ya que por medio de esta sabemos la cuanto resiste y como se va a comportar el suelo donde se construye.

³ (Das, 1999)

Determinación de la consistencia del suelo utilizando los límites de Atterberg.

La consistencia de una muestra de suelo cambia según la cantidad de agua presente. Estos cambios en la consistencia del suelo se pueden medir con exactitud en el laboratorio, utilizando las normas preestablecidas que determinan los Límites de Atterberg. Estos Límites se pueden utilizar para juzgar la aptitud del suelo para la construcción de diques de estanque y pequeñas presas de tierra. Para la mejor comprensión del diseño y la construcción de los estanques piscícolas, y su análisis con los técnicos especializados, debe familiarizarse con la terminología relacionada con este proceso, así como con su importancia general.

Un límite de Atterberg corresponde al *contenido de Humedad* con que una muestra de suelo cambia de una consistencia a otra. Dos de los límites de Atterberg resultan de especial interés para la acuicultura, el límite líquido y el límite plástico, cuya definición se basa en tres consistencias del suelo:

- *Consistencia líquida* - barro fluido o líquido;
- *Consistencia plástica* - se puede amasar y moldear;

- *Consistencia semisólida* - ya no se puede moldear y el volumen disminuye (contracción) a medida que se seca la muestra.

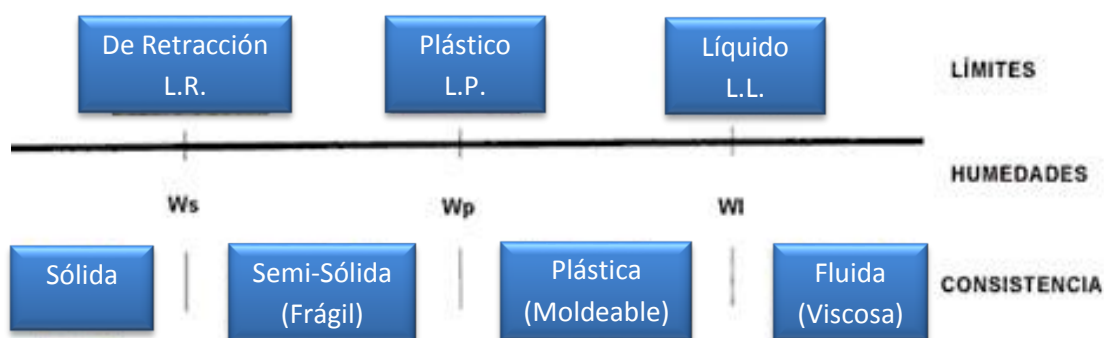


Figura 2.13: Plasticidad del material. Límites de Atterberg

Fuente Gráfica: www.construmatica.com/construpedia/EnsayodeSuelos

2.9.3. Índice de Plasticidad (ASTM D-4318)⁴

El Índice de plasticidad se define como la diferencia numérica entre el Limite Líquido y el Limite Plástico:

$$I_p = LL - LP$$

Un Índice de plasticidad bajo, como por ejemplo del 5%, significa que un pequeño incremento en el contenido de Humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de Humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, como por ejemplo del 20%, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua.

⁴ (Das, 1999)

En suelos no plásticos, no es posible determinar el Índice de plasticidad. El día grama de plasticidad indicada en la figura 1.7, según los Límites de Atterberg, permite diferenciar - el índice de plasticidad de limos y arcillas, en función del Limite Líquido LL. y del contenido normal de Humedad w_N .

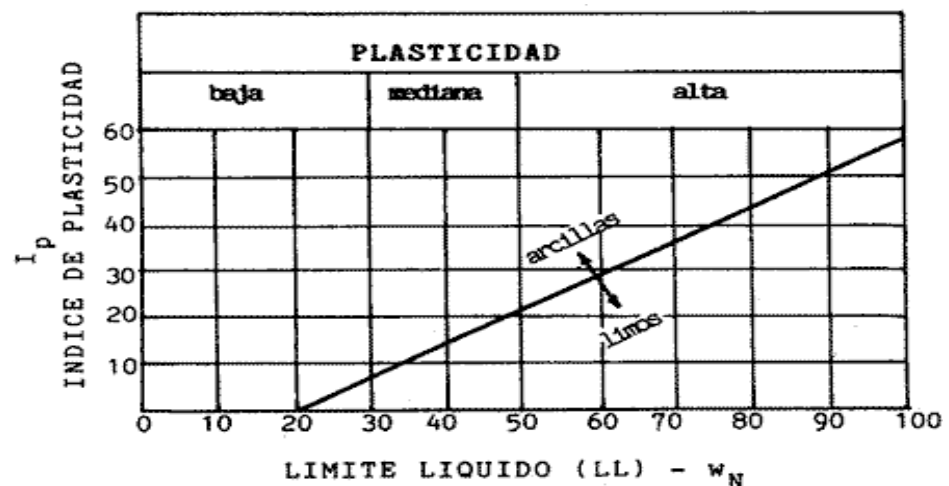


Figura 2.14: Diagrama de Plasticidad según los Límites de Atterberg

Fuente Gráfica: (Das, 1999)

El Índice de plasticidad define el campo plástico de un suelo y representa el porcentaje de Humedad que deben tener las arcillas para conservarse en estado plástico. Este valor permite determinar los parámetros de asentamiento de un suelo y su expansividad potencial. (Das, 1999)

2.9.4. Límite líquido (LL) (ASTM D-4318)

Porcentaje de contenido de Humedad con que un suelo cambia, al disminuir su Humedad, de la consistencia líquida a la plástica, o, al

umentar su Humedad, de la consistencia plástica a la líquida. (Das, 1999)

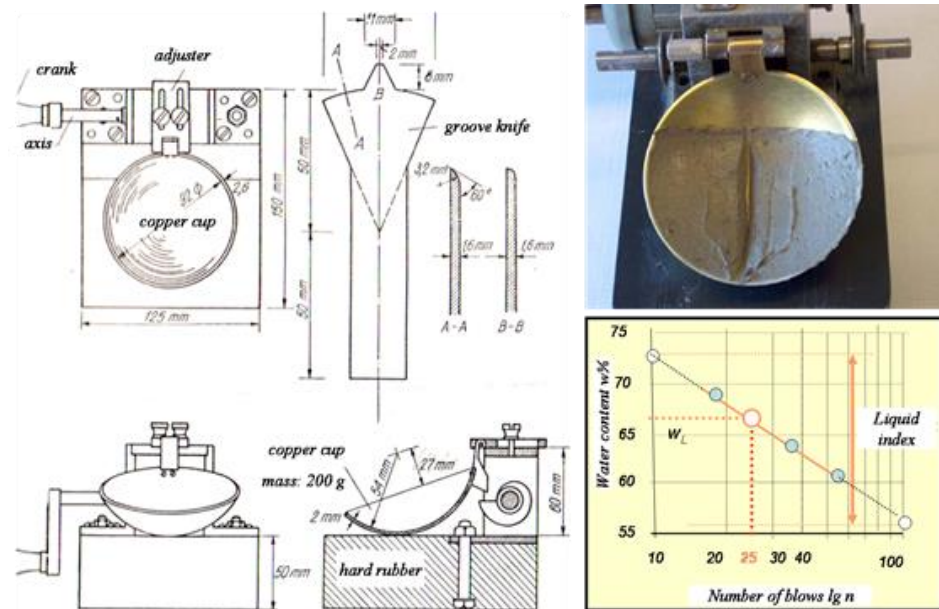


Figura 2.15: Límite líquido. Método Casagrande

Fuente Gráfica: http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de_19.html

2.9.5. Límite plástico (LP) (ASTM D-4318)⁵

Porcentaje de contenido de Humedad con que un suelo cambia al disminuir su Humedad de la consistencia plástica a la semisólida, o, al aumentar su Humedad, de la consistencia semisólida a la plástica.

⁵ (Das, 1999)

El límite plástico es el límite inferior del estado plástico. Un pequeño aumento en la Humedad sobre el límite plástico destruye la cohesión del suelo.

Nota: estos límites se pueden determinar en el laboratorio de forma fácil y poco costosa, utilizando muestras alteradas y sin alterar.

Los límites líquido y plástico dependen de la *cantidad y el tipo de arcilla* presentes en el suelo:

- Un suelo con un alto contenido de arcilla generalmente posee altos LL y LP;
- Las arcillas coloidales poseen un LL y un LP superiores a los de las arcillas no coloidales;
- La arena, la grava y la turba no tienen plasticidad. su LP = 0;
- Los limos presentan plasticidad sólo ocasionalmente, su LP es igual o ligeramente superior a 0.

Tabla 2.5: Tipos de suelo con respecto a su Índice de Plasticidad

Tipo de suelo	LL	PL	IP
Arenas	20	0	0
Limos	27	20	7
Arcillas	100	45	55
Arcillas coloidales	399	46	

2.9.6. RELACIÓN DE PESO UNITARIO – HUMEDAD EN LOS SUELOS (ASTM D-422)⁶

Pruebas de compactación

Actualmente existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente, en laboratorio las condiciones dadas de compactación en terreno. Históricamente, el primer método, respecto a la técnica que se utiliza actualmente, es el debido R.R. Próctor y que es conocido como Prueba Próctor estándar. El más empleado, actualmente, es la denominada prueba Próctor modificado en el que se aplica mayor energía de compactación que el estándar siendo el que está más de acuerdo con las solicitaciones que las modernas estructuras imponen al suelo. También para algunas condiciones se utiliza el que se conoce como Próctor de 15 golpes.

Todos ellos consisten en compactar el suelo, con condiciones variables que se especifican a continuación:

Tabla 2.6: Especificaciones de pruebas en laboratorio

Método Próctor	N	Tamaño molde (cm)	Volumen molde (cm)	Pisón (kg)	Nº Ca pas	Altura caída (cm)	Nº Golpes	Energía compac. / volumen (kg*m/m3)
ESTÁNDAR	1	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	25	60.500
ESTÁNDAR	2	11.64*15.24	2123.03	2.49	3	30.48	55	60.500
MODIFICADO	3	11.64*10.16	943.33	2.49	5	45.72	25	275.275
MODIFICADO	4	11.64*15.24	2123.03	2.49	5	45.72	55	275.275
15 GOLPES	5	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	15	36.400

⁶ <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/mecanica6.htm>

Los métodos 1 y 3 se emplean con suelos que tienen un alto % de partículas bajo la malla #4 = 4.76 mm, un buen criterio es considerar 80% en peso como mínimo. Los métodos 2 y 4 se emplean con suelos que tienen un % importante de partículas mayores a la malla #4 y menores que $\frac{3}{4}$.

La energía específica de compactación se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$Ee = \frac{N * n * W * h}{V}$$

Dónde:

- Ee = Energía específica
- N = Numero de golpes por capa
- n = Número de capas de suelo
- W = Peso del pisón
- H = Altura de caída libre del pisón
- V = Volumen del suelo compactado.

Con este procedimiento de compactación, Próctor estudió la influencia que ejercía en el proceso el contenido inicial de agua de suelo. Observó que a contenidos de Humedad crecientes, a partir de valores bajos, se obtenían más altos pesos específicos secos y, por lo

tanto, mejores compactaciones de suelo, pero que esa tendencia no se mantenía indefinidamente, sino que al pasar la Humedad de un cierto valor, los pesos específicos secos obtenidos disminuían, resultando peores compactaciones en la muestra. Es decir, que existe una Humedad inicial denominada Humedad óptima, que produce el máximo peso específico seco que puede lograrse con este procedimiento de compactación y, por consiguiente, la mejor compactación del suelo.

Los resultados de las pruebas de compactación se grafican en curvas que relacionan la Densidad seca versus el contenido de agua, lo que se puede apreciar en la Figura 2.15, para diferentes suelos.

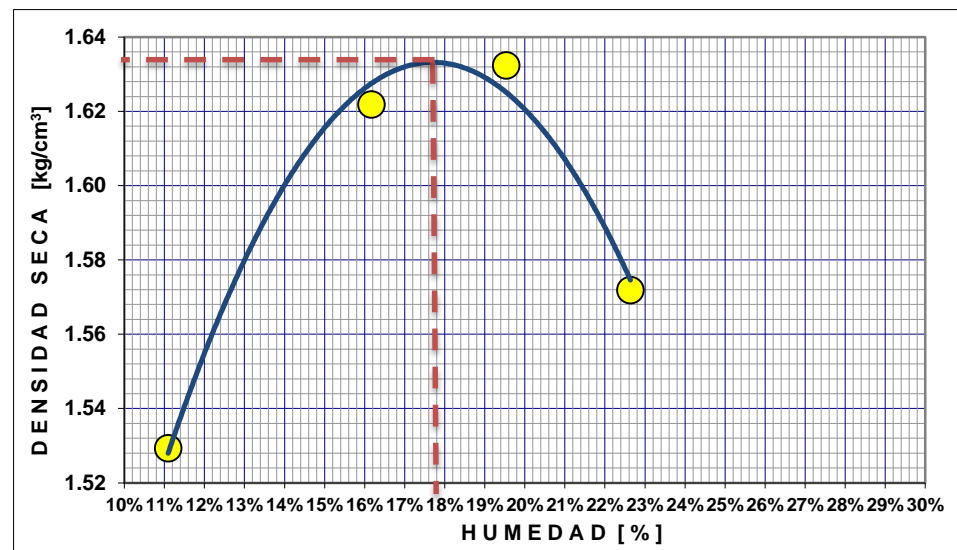


Figura 2.16: Gráfica de Próctor Modificado

Fuente Gráfica: Ensayo de Laboratorio

2.9.7. Ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R) (ASTM D-1883)⁷

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kilos/cm² (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 centímetros cuadrados) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de Humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada, en ecuación, esto se expresa:

$$CBR = \frac{\text{Carga Unitaria de ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100$$

Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación son:

Tabla 2.7: Valores de Carga Unitaria

Penetración		Carga unitaria patrón		
mm	Pulgada	Mpa	Kg/cm ²	psi
2,54	0,1	6,90	70,00	1000
5,08	0,2	10,30	105,00	1500
7,62	0,3	13,10	133,00	1900
10,16	0,4	15,80	162,00	2300
12,7	0,5	17,90	183,00	2600

El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0,1”), sin embargo, si el valor del CBR

⁷ <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/mecanica7.htm>

para una penetración de 5.08 mm (0,2") es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de Humedad óptimo para el suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar. A continuación, utilizando los métodos 2 o 4 de las normas ASTM D698-70 ó D1557-70 (para el molde de 15.5 cm de diámetro), se debe compactar muestras utilizando las siguientes energías de compactación:

Tabla 2.8: Energías de Compactación

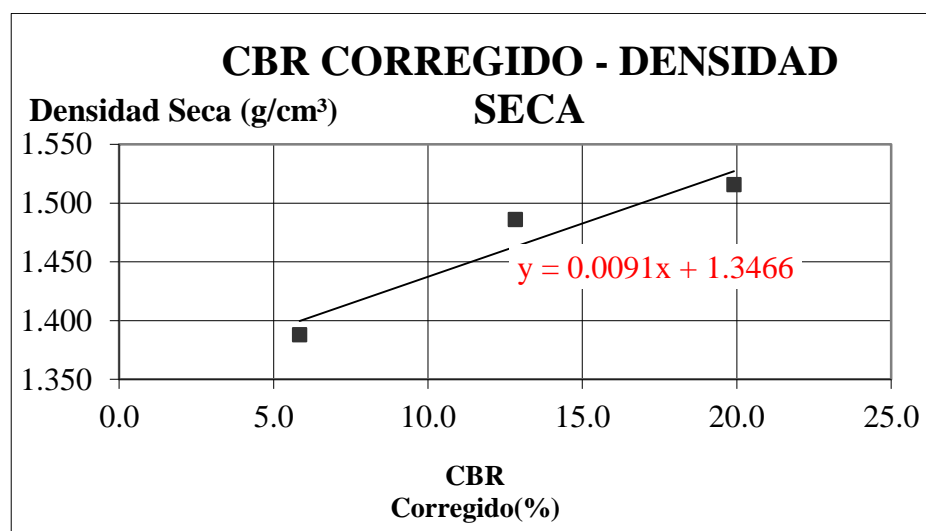
Método		Golpes	Capas	Peso del martillo N
D698	2 (suelos de grano fino)	56	3	24,5
	4 (suelos gruesos)	56	3	24,5
D1557	2 (suelos de grano fino)	56	5	44,5
	4 (suelos gruesos)	56	5	44,5

El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y sub-rasantes bajo el pavimento de carreteras y aeropistas, la siguiente tabla da una clasificación típica:

Tabla 2.9: Clasificación de suelos para Infraestructura de Pavimentos

CBR	Clasificación general	usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	muy pobre	subrasante	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3 - 7	pobre a regular	subrasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 - 20	regular	sub-base	OL,CL,ML,SC	A2,A4,A6,A7
			SM,SP	
20 - 50	bueno	base,subbase	GM,GC,W,SM	A1b,A2-5,A3
			SP,GP	A2-6
> 50	excelente	base	GW,GM	A1-a,A2-4,A3

Existen algunos métodos de diseño de pavimentos en los cuales se leen tablas utilizando directamente el número CBR y se lee el espesor de la sub-rasante (“Principios de diseño de pavimentos”, Jhon Wiley & Sons, 1959).

**Figura 2.17:** Gráfica de % CBR

Fuente Gráfica: [http://ingenieriasalva.blogspot.com/2008/](http://ingenieriasalva.blogspot.com/2008/12/clculos-y-grficos-ensayo-cbr.html)

[12/clculos-y-grficos-ensayo-cbr.html](http://ingenieriasalva.blogspot.com/2008/12/clculos-y-grficos-ensayo-cbr.html)

2.10. ENSAYOS PARA MICROPAVIMENTOS

2.10.1. Azul de Metileno (ISSA TB-145)

Este ensayo a través de los valores de reactividad de los finos del agregado nos determina las características del emulsificante químico a utilizar en el diseño de la emulsión asfáltica y porcentaje de aditivo retardador. (Guía Básica para el diseño de Micropavimentos)

Tabla 2.10: Valor de Azul de Metileno y Comportamiento de la mezcla asfáltica

Valor de Azul de Metileno (mg/g)	Desempeño Anticipado
≤ 6	Excelente
7 - 12	Marginalmente aceptable
13 - 19	Problemas / Posible Falla
≥ 20	Fallado



Figura 2.18: Equipo para ensayo de Azul de Metileno

Fuente Gráfica: <http://www.earth-auroville.com/>

[nigeria_transfer_en.php](http://www.earth-auroville.com/nigeria_transfer_en.php)

2.10.2. Ensayo de la Rueda Cargada (ISSATB-109)

El ensayo de rueda cargada es una simulación a escala de laboratorio que fue desarrollada para reproducir los efectos que las cargas del tránsito y la temperatura producen sobre una mezcla asfáltica, es decir, generar de manera acelerada deformaciones permanentes en la mezcla. Este ensayo permite conocer en laboratorio la performance de una dada mezcla asfáltica antes de ser colocada en el pavimento, lo que lo convierte en una herramienta importante a la hora del diseño de una mezcla asfáltica.

Sin embargo en nuestro país no es normalmente utilizada en esta etapa sino como comprobación una vez que surgen problemas en el camino.

Las propiedades reológicas (estudio de la relación entre el esfuerzo y la deformación de los fluidos) se utilizan para caracterizar a los ligantes asfálticos en relación con el desempeño de las mezclas en lo referente a los modos de falla que se suscitan en el pavimento.

El proceso de ahuellamiento es un tipo de defecto o falla que se produce en pavimentos asfálticos, que consiste en una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos. Se produce en pavimentos asfálticos sometidos a una combinación de elevados niveles de tránsito, tráfico pesado y/o lento, y altas temperaturas de servicio a escala del material compuesto, esto es en concretos asfálticos. (ISSA, 2010)



Figura 2.19: Elementos para el Ensayo de la Rueda Cargada

Fuente Gráfica: http://www.e-asphalt.com/laboratorio_asfaltos/

2.10.3. Ensayo de Abrasión en Húmedo (ISSA TB-100)

Este método define la cantidad mínima de emulsión necesaria para obtener un micropavimento con la cohesión suficiente para resistir la acción abrasiva producida por el tráfico.

El procedimiento consiste en ensayar una probeta circular de micropavimento, secada en horno a 60°C hasta lograr masa constante, la cual se sumerge en un baño de agua a 25°C durante una hora, para posteriormente ser sometida a la acción abrasiva de un cilindro de goma que roza su superficie en forma orbital.

Como resultado del ensaye se obtiene la pérdida de masa que experimenta la probeta.

La pérdida máxima que puede sufrir la probeta es de 540 g/m² al estar sumergida durante una hora.

(ISSA, 2010)



Figura 2.20: Equipo para Ensayo de Abrasión en Húmedo

2.10.4. Ensayo de Cohesión (ISSA TB-139)

El ensayo consiste en la simulación del giro torsional del neumático de un vehículo, que mide el torque necesario para desintegrar una muestra de mezcla, de 6 - 8 mm de espesor por 600 mm de diámetro bajo la acción de un vástago neumático con almohadilla de caucho de 32 mm de diámetro a una presión de 200 kPa. (ISSA, 2010)

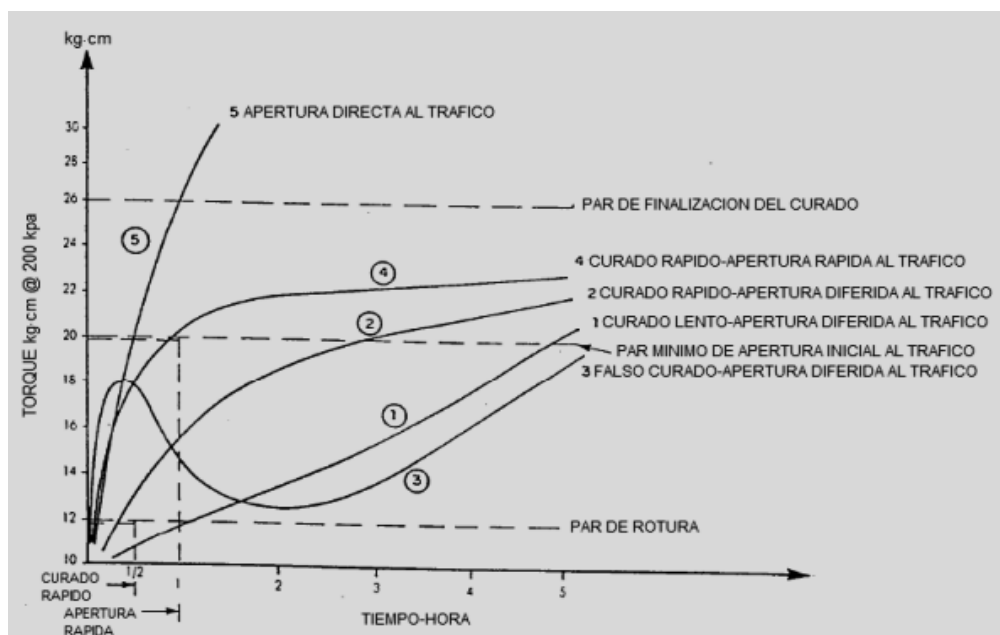


Figura 2.21: Clasificación de Mezclas en función del par de torsión y del tiempo de curado

Fuente Gráfica: (ISSA, 2010)

Esta curva proporciona información relativa a la evolución de la cohesión de la mezcla, lo que a su vez permite definir los tiempos de apertura al tráfico.

Establece una clasificación de acuerdo a las siguientes definiciones:

Tiempo de rotura: Es el tiempo que transcurre entre la fabricación de la mezcla hasta que ésta no puede ser remezclada homogéneamente; no se producen desplazamientos laterales al presionar suavemente la muestra con el dedo; no mancha un papel de fieltro colocado y presionado ligeramente sobre la superficie de la mezcla; o, cuando la emulsión ha quebrado y ésta no puede diluirse o arrastrarse al añadir agua a la mezcla. Esto ocurre cuando la torsión alcanza el valor de 12 kg.cm medidos en el torsiómetro.

Tiempo de apertura al tráfico: Es el tiempo que se requiere desde que se extiende la mezcla hasta que se pueda permitir el tráfico de

vehículos sobre ella sin causar desperfectos en la misma. Este tiempo queda definido por el valor de 20 kg.cm en el torsiómetro.

Mezcla de curado rápido: Es la mezcla que alcanza 12 - 13 kg.cm en el par de torsión dentro de los primeros 30 min.

Mezcla de apertura rápida al tráfico: Es la mezcla que alcanza 20 - 21 kg.cm en el torsiómetro dentro de los primeros 60 min.

Como anteriormente se mencionó, el requisito que presenta el micropavimento es que sea de curado rápido - apertura rápida al tráfico, lo que implica que requiere valores de 12 - 13 kg.cm a los 30 min y de 20 - 21 kg.cm a los 60 min marcados en el torsiómetro.



Figura 2.22: Equipo para Cohesión de micropavimentos

2.10.5. Ensayo de Consistencia con el Cono (ISSA TB-106)

El ensayo consiste en ir variando la cantidad de agua de premezcla, de forma de obtener la cantidad necesaria de agua en la mezcla, que produzca una fluidez entre 2 y 3 cm, una vez que se levanta el molde

cónico lleno con mezcla. Esta fluidez se mide en una placa de escurrimiento para ensaye de consistencia. (ISSA, 2010)



Figura 2.23: Ensayo de Consistencia de mezclas asfálticas

Fuente Gráfica: (ISSA, 2010)

La cantidad de agua total en la mezcla se calcula de la siguiente manera.

$$W = W1 + Et (1 - R)$$

Donde

W : Porcentaje de agua total en la mezcla (%).

W1 : Porcentaje de agua de premezcla referido al agregado seco (%).

Et : Contenido de emulsión teórico referido al agregado seco (%).

R : Residuo asfáltico de la emulsión (expresado en forma decimal).

CAPITULO III

ENSAYOS EN LIMOS ARENOSOS



Figura 3.1: Muestra de Suelo de Tipo Limo Arenoso

3.1. Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D-136)



Figura 3.2: Proceso de tamizado según Norma ASTM D-136

Para éste ensayo se utilizó los siguientes tamices:

Tabla 3.1: Cuadro de Granulometría del Suelo de Tipo Limo Arenoso

GRANULOMETRÍA				
Tamiz #	RETENIDO			PASA
	Parcial	Total	%	%
1 "	0	0	0,0%	100%
3/4"	0	0	0,0%	100%
1/2"	0	0	0,0%	100%
3/8"	0	0	0,0%	100%
Nº 4	2,48	2,48	1,1%	99%
Nº10	13,89	16,37	7,4%	93%
Nº 40	11,03	27,4	12,5%	88%
Nº 200	186	213,4	97,0%	3%
Pasa Nº 200	6,6			
		Total Húmedo		243,7
		Total Seco		220,0
PORCENTAJE DE GRAVA				1%
PORCENTAJE DE ARENA				96%
PORCENTAJE DE FINOS				3%

Como se puede observar el 96% del suelo pertenece a granulometría de arena.

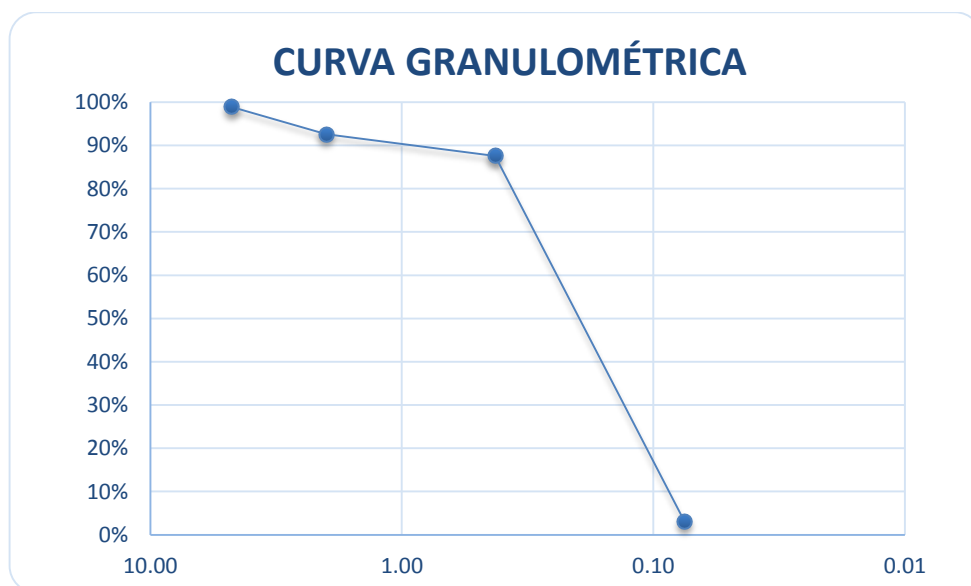


Figura 3.3: Curva Granulométrica

3.2. Equivalente de Arena (ASTM D-2419)



Figura 3.4: Resultados y proceso de Ensayo de Equivalente de Arena

Después de realizar cuatro ensayos siguiendo el procedimiento debido de la norma ASTM D-2419 para éste ensayo, se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 3.2: Cuadro de valores resultantes del ensayo de Equivalente de arena

MUESTRA	H(Altura original de la arena antes de introducir el pistón)	h (Altura original de la arena después de introducir el pistón)	EQUIVALENTE DE ARENA (%)
1	4,6	1,3	28,26%
2	4,5	1,5	33,33%
3	4,5	1,4	31,11%
4	4,7	1,3	27,66%
PROMEDIO:			30,1%

El cuadro define el porcentaje de arena en el material fino, lo que se puede observar que el 69.9% del material pasante del tamiz N°4, es material limoso (completamente fino).

3.3. Ensayos de Estabilización en Suelo Natural

3.3.1. Ensayos de Índice de Plasticidad (ASTM D-4318) para el suelo de Tipo Limo Arenoso en Estado Natural.



Figura 3.5: Ensayo de Límite Líquido y Límite Plástico

El procedimiento para la obtención de los siguientes datos, se sigue en base a la norma ASTM D-4318, y los datos están detallados en la siguiente tabla.

Tabla 3.3: Cuadro de Parámetros para obtener el índice de Plasticidad del Suelo

Golpes	Capsula	PC+SH	PC+SS	P Cap	Humedad
#	#	gr.	gr.	gr.	%
HUMEDAD NATURAL					
	6	182,94	177,04	122,27	10,77%
	PRI	191,87	185,05	121,52	10,74%
	B140	181,25	175,25	120,02	10,86%
LIMITE LÍQUIDO					
47	103	25,90	23,50	14,60	26,97%
28	G60	21,40	19,21	11,00	26,67%
17	P4	27,00	23,50	13,40	34,65%

LIMITE LÍQUIDO

El gráfico muestra la relación entre el número de golpes y la humedad del suelo para el límite líquido. El eje vertical representa la humedad en porcentaje, desde 0% hasta 35%. El eje horizontal representa el número de golpes, desde 10 hasta 100. Tres puntos de datos están marcados con diamantes azules y conectados por una línea negra. Los puntos corresponden a: 103 golpes con una humedad del 26,97%, 60 golpes con una humedad del 26,67%, y 4 golpes con una humedad del 34,65%.

LIMITE PLÁSTICO					
	36	8,20	7,89	6,70	26,05%
	76	7,40	7,17	6,00	19,66%
	A0	7,40	7,16	6,10	22,64%

Tabla 3.4: Cuadro Resumen para Clasificación SUCS del suelo.

RESUMEN	
Limite Líquido	30%
Limite Plástico	23%
Índice de Plasticidad	8%
Humedad Natural	11%
Clasificación SUCS	OM

El Índice de Plasticidad de éste suelo es bajo por lo tanto para estabilizar éste suelo no se va a tener altos porcentajes de material estabilizante.

3.3.2. Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422)

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD										
No. de Capas		Golpes por capa		Peso Martillo		Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA		
5		25		11 lb		18"		2493 g		
MUESTRA >>>			1	2	3	4				
Molde No.		M3								
Peso suelo húmedo + molde		A	5890	6040	6151	6103				
Peso del molde		B	4262	4262	4262	4262				
Peso suelo húmedo		C=A-B	1628	1778	1889	1841				
Volúmen del molde		D	939	939	939	939				
Densidad húmeda		E=C/D	1.73	1.89	2.01	1.96				
Tarro No.		44m	B1	PE23	40	P	J0	67	PR	
Tarro + suelo húmedo		F	160.10	163.60	169.60	175.70	199.40	167.00	174.90	191.90
Tarro + suelo seco		G	155.81	159.00	163.48	168.70	187.28	159.29	165.19	178.95
Peso de agua		H=F-G	4.29	4.60	6.12	7.00	12.12	7.71	9.71	12.95
Peso del tarro		I	120.60	121.60	121.80	122.50	122.30	118.40	121.70	121.40
Peso del suelo seco		J=G-I	35.21	37.40	41.68	46.20	64.98	40.89	43.49	57.55
Contenido de agua		K=H/J	12.18%	12.30%	14.68%	15.15%	18.65%	18.86%	22.33%	22.50%
Contenido promedio		L	12.24%	14.92%	18.75%	22.41%				
Densidad seca		M	1.545	1.648	1.694	1.602				

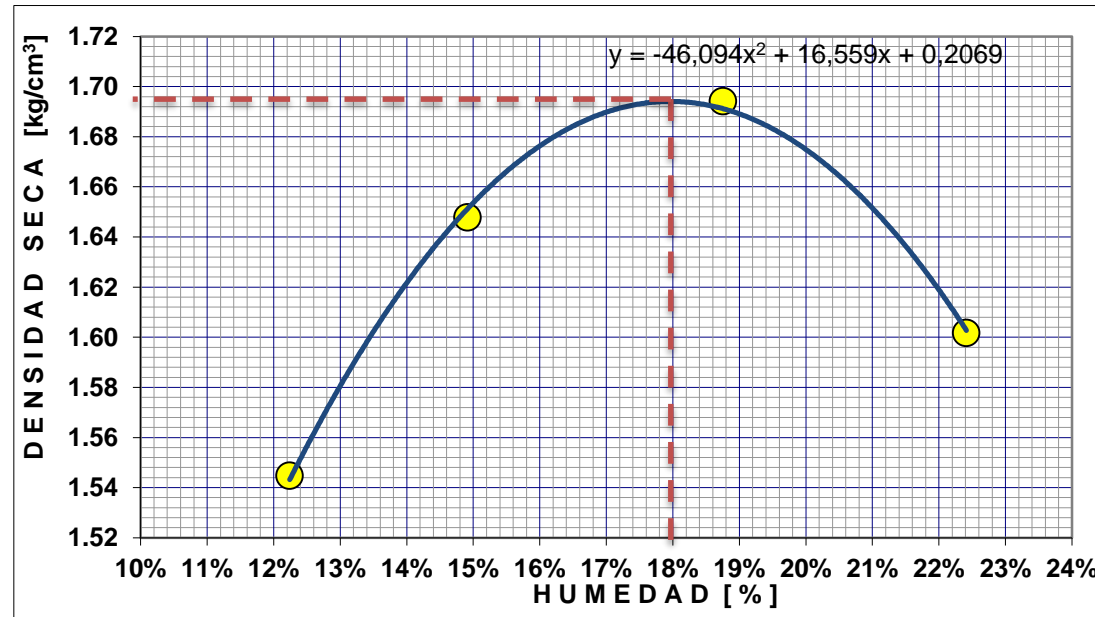


Figura 3.6: Gráfica de Humedad Óptima para obtener la Densidad Máxima Seca

Densidad Máxima:	1,694 g/cm³	Humedad óptima:	17,96%
-------------------------	--------------------	------------------------	---------------

La Humedad óptima del suelo de tipo limo arenoso para obtener la compactación máxima es del 17,96%.

3.3.3. Ensayo de CBR (ASTM D-1883)

		AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA (CBR)				ASTM - D 1883	
MOLDE NUMERO			1B		9			PA2	
No. DE CAPAS			5		5			5	
No. DE GOPES POR CAPA			12		25			56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA			ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	g	11255		11636	11395	11721	11478	11699	
PESO MOLDE	g	7263		7263	7261	7261	7105	7105	
PESO MUESTRA HÚMEDA	g	3992		4373	4134	4460	4373	4594	
VOLUMEN DE LA MUESTRA CTE	cm ³	2325		2327.0 1	2325	2325.6 1	2325	2326.0 8	
PESO UNITARIO HÚMEDO	g/cm ₃	1.717		1.879	1.778	1.918	1.881	1.975	
PESO UNITARIO SECO	g/cm ₃	1.461		1.483	1.536	1.499	1.615	1.577 Siguiete →	

CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.	
		ARRIB A	ABAJO	ARRIB A	ABAJO	ARRIB A	ABAJO	ARRIB A	ABAJO	ARRIB A	ABAJO	ARRIB A	ABAJO
CONTENIDO DE AGUA													
CAPSULA A	Nº	11	P12	39	2H	B2	110	6M	3	M59	J6-1	NB35	M2L
PESO DE LA CAPSULA	g	122.0	121.3	118.1	121.8	123.1	121.0	121.2	122.0	121.1	121.2	120.0	121.7
PESO DE MUESTRA HÚMEDA + CAP.	g	189.4	180.2	177.0	186.1	183.0	188.3	178.9	182.4	192.0	185.4	188.6	191.4
PESO DE MUESTRA SECA + CAP.	g	179.4	171.4	164.7	172.4	174.7	179.3	166.5	169.0	182.0	176.3	174.7	177.4
HUMEDAD	%	17.42	17.56	26.39	27.08	16.09	15.44	27.37	28.51	16.42	16.52	25.41	25.13
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	17.49		26.73		15.76		27.94		16.47		25.27	

DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA	TIEMPO EN DIAS	MOL. Nº	1B	H (cm) = 12.7	MOL. Nº	9	H (cm) = 12.7	MOL. Nº	PA2	H (cm) = 12.7
HORAS		DIAL		ESPONJAMIENTO	DIAL		ESPONJAMIENTO	DIAL		ESPONJAMIENTO
	0	162	0	0.00	147	0	0.00	400	0	0.00
	1	166	4	0.08	147	0	0.00	402	2	0.04
	2	166	4	0.08	148	1	0.02	402	2	0.04

DATOS DE PENETRACION

CONSTANTE ANILLO

0.0109819X

CI066

Siguiete →

PENETRACION EN PULGADAS	CARGA S	MOLD E N°			MOLD E N°			MOLD E N°			
		1B			9			PA2			
		TIPO	CARGA DE		CBR	CARGA DE		CBR	CARGA DE		CBR
			ENSAYO	CORREGIDO	ENSAYO	CORREGIDO	ENSAYO	CORREGIDO			
	lbs/pulg 2	dial	lbs/pulg 2	%	dial	lbs/pul g ²	%	dial	lbs/pul g ²	%	
0		0	0		0	0		0	0		
0.025		8	6.58		11	9.05		57	46.89		
0.050		21	17.27		44	36.20		145	119.28		
0.075		34	27.97		85	69.92		210	172.75		
0.100	1000	45	37.02	3.7	116	95.42	9.5	266	218.82	21.9	
0.200	1500	68	55.94	3.7	192	157.94	10.5	433	356.19	23.7	
0.300		85	69.92		264	217.17		562	462.31		
0.400		104	85.55		329	270.64		685	563.49		
0.500		128	105.29		386	317.53		802	659.74		

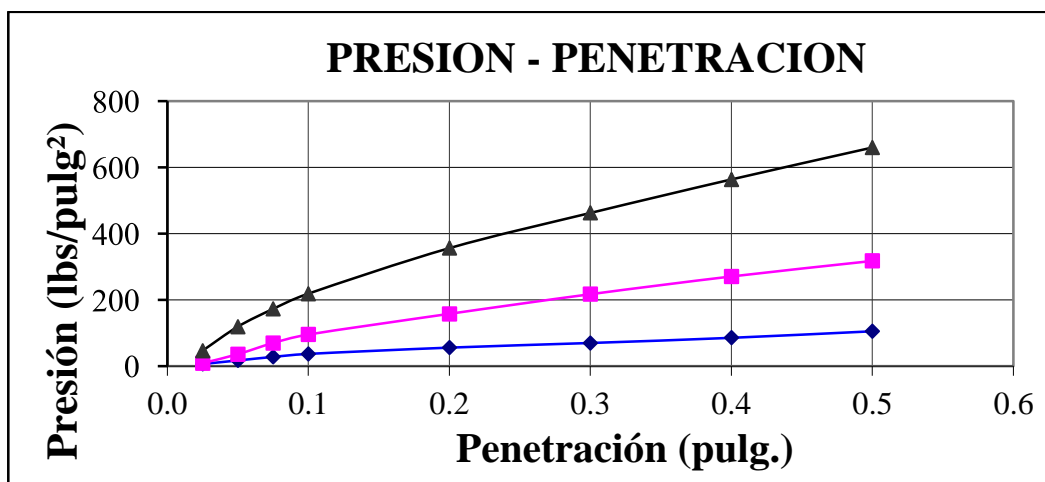


Figura 3.7: Gráfica Presión vs Penetración para CBR

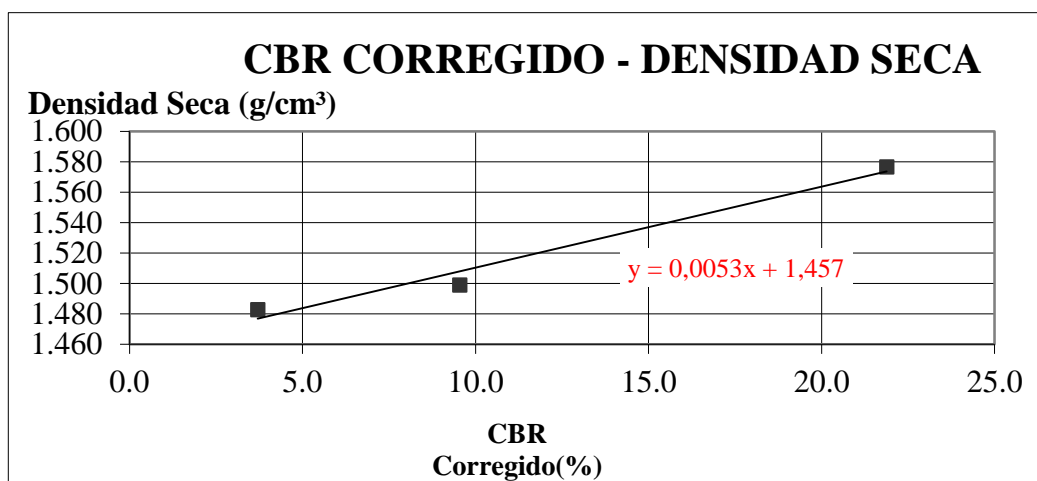


Figura 3.8: Gráfica del CBR Corregido vs Densidad Seca

Tabla 3.5: Cuadro de los Valores de los CBR en función de la Densidad

VALOR CBR		
MAXIMA DENSIDAD	CBR	
%		%
95	1609	28,8
100	1694	44,7

El CBR del suelo de tipo limo arenoso al 95% que es el que simula los datos reales de capacidad portante que tiene el suelo, es de 28.8%, que es un valor

muy bajo para el diseño del micropavimento, y se procederá a realizar una estabilización con cal, cemento, emulsión asfáltica y órgano-silanos.

3.3.4. Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126)



Figura 3.9: Ensayo de Compresión en Probeta de Suelo Natural

Tabla 3.6: Resultados obtenidos de Ensayo de Compresión Simple

PROBETA	PESO		DIAS ROT.	H	Ds	Dm	Di	CARGA	DEF.	RESISTENCIA		TIPO FALLA
	HÚM	SECO								Kg/cm ²		
NQ1	229,28	194,36	28	8,82	4,12	4,11	4,24	99,92	0,79	7,36	6,55	VERT
NQ2	201,88	171,03	28	8,36	4,17	4,00	4,09	75,24	1,02	5,74	6,55	VERT
NQ3	200,98	185,76	14	8,65	4,12	4,08	4,08	31,43	0,50	2,39	2,39	VERT

La compresión del suelo sometido a su compactación máxima a los 28 días de curado se obtuvo una resistencia promedio entre las dos probetas de 6.55 Kg/cm².

3.3.5. Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273)

MATERIAL		NATURAL	
PROBETA		0%	
F. moldeo		02/10/2013	
F. inicio		02/10/2013	
hora inicio		9:00	
Húm %		17%	
P. Húm		254,99	
P. seco		217,47	
P 50%		236,23	
P. inicial		236,23	
Húm. Inic		9%	
Perd. %		9%	
TIEMPO	ASC. CAP	PESO	HÚM.
minutos	mm	gr	%
5	50	241,4	11,03%
10	65	247,21	13,70%
30	80	251,50	15,67%
60	100	254,92	17,25%
100	100	255,19	17,37%
150	100	256,98	18,20%
240	100	259,98	19,58%
480	100	262,11	20,55%
600	100	265,18	21,97%

Se puede apreciar que éste tipo de suelo por el alto contenido de granulometría fina (limos), es un material completamente permeable lo cual en 30 minutos tuvo un ascenso capilar total de la probeta. Y la probeta se deshizo completamente como se puede apreciar en el siguiente gráfico.



Figura 3.10: Probeta a los 0 min y a los 30min del Ensayo

3.4. Estabilización del Suelo con Cemento

Para estabilizar el suelo de tipo limo arenoso se hizo algunos ensayos para determinar el porcentaje óptimo de cemento.



Figura 3.11: Suelo mezclado con el 1% de Cemento

3.4.1. Ensayos de Índice de Plasticidad (ASTM D-4318) para el suelo de Tipo Limo Arenoso Mezclado con el porcentaje óptimo de Cemento.



Figura 3.12: Ensayo de límite líquido



Figura 3.13: Ensayo de límite de plasticidad

Tabla 3.7: Cuadro para obtener el índice de plasticidad del suelo modificado con cemento

Golpes	Capsula	PC+SH	PC+SS	P Cap	Humedad
#	#	gr.	gr.	gr.	%
HUMEDAD NATURAL					
	6	182,94	177,04	122,27	10,77%
	PRI	191,87	185,05	121,52	10,74%
	B140	181,25	175,25	120,02	10,86%

LIMITE LÍQUIDO					
44	81-1	24,00	21,90	14,36	27,25%
37	3	22,40	20,41	12,60	25,48%
23	65	22,20	19,87	11,10	26,57%
16	P2	23,40	21,36	13,70	26,63%

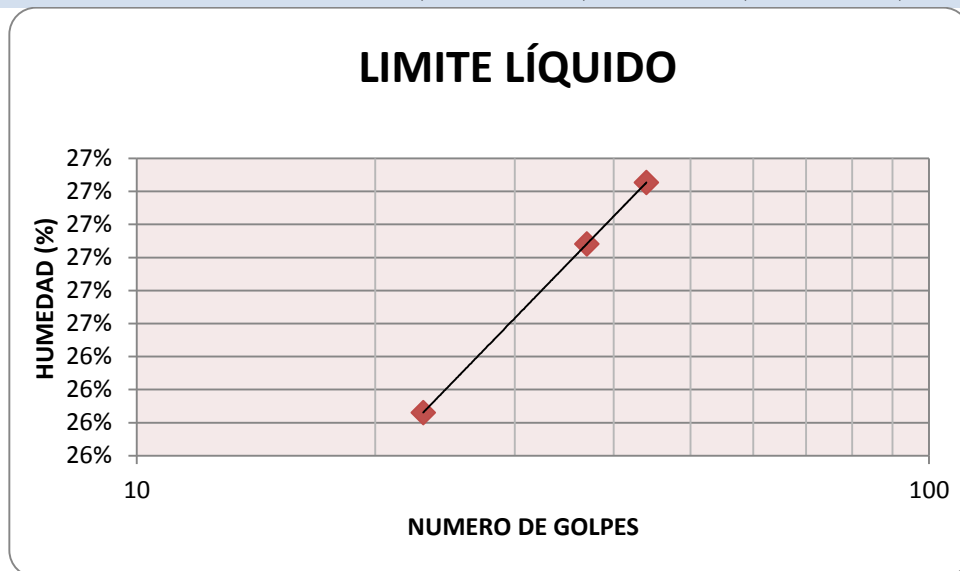


Figura 3.14: Gráfica de Humedad vs # de Golpes

Siguiente →

LIMITE PLÁSTICO					
65	7,59	7,31	6,28	27,08%	
5	8,21	7,89	6,63	25,40%	
72	7,48	7,22	6,22	26,00%	

Tabla 3.8: Cuadro Resumen del Índice de Plasticidad

RESUMEN	
Limite Líquido	26%
Limite Plástico	26%
Índice de Plasticidad	0%

Por lo tanto el Suelo se encuentra estabilizado ya que se obtuvo un Índice de Plasticidad del 0%.

3.4.2. Ensayo de Próctor Modificado para Suelo Limo Arenoso mezclado con Cemento (ASTM D-422).

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD									
No. de Capas		Golpes por capa		Peso Martillo		Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA	
5		25		11 lb		18"		2174 g	
MUESTRA >>>			1		2		3		4
Molde No. M3									
Peso suelo húmedo + molde		A		5889		6007		6124 6144	
Peso del molde		B		4180		4180		4180 4180	
Peso suelo húmedo		C=A-B		1709		1827		1944 1964	
Volúmen del molde		D		939		939		939 939	
Densidad húmeda		E=C/D		1.82		1.95		2.07 2.09	
Tarro No.		303		ep14		a27		i2 e46 z2000 4 s32	
Tarro + suelo húmedo		F		38.50 35.00		41.10 44.20		48.30 41.50 35.30 34.40	
Tarro + suelo seco		G		36.10 33.10		37.80 41.10		43.40 37.70 31.40 30.60	
Peso de agua		H=F-G		2.40 1.90		3.30 3.10		4.90 3.80 3.90 3.80	
Peso del tarro		I		11.70 13.40		13.80 14.00		14.40 14.40 11.10 10.80	
Peso del suelo seco		J=G-I		24.40 19.70		24.00 27.10		29.00 23.30 20.30 19.80	
Contenido de agua		K=H/J		9.84% 9.64%		13.75% 11.44%		16.90% 16.31% 19.21% 19.19%	
Contenido promedio		L		9.74%		12.59%		16.60% 19.20%	
Densidad seca		M		1.659		1.728		1.776 1.755	

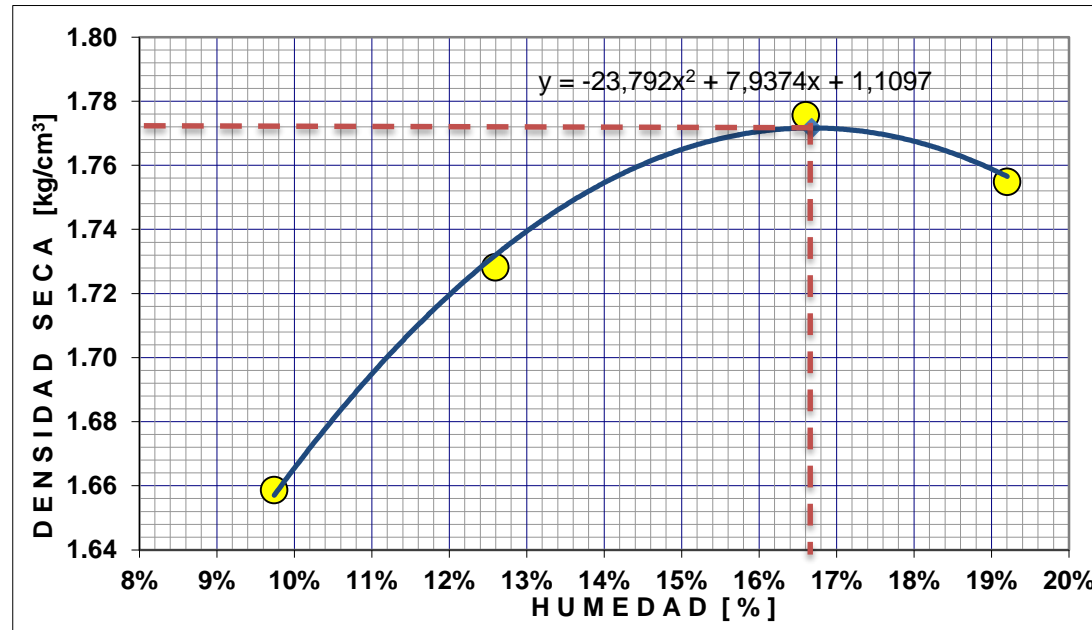


Figura 3.15: Curva de Humedad óptima para obtener la densidad máxima del suelo.

Densidad Máxima:	1,772 g/cm³	Humedad óptima:	16,68%
-----------------------------	--------------------	----------------------------	---------------

La mezcla del suelo de tipo limo arenoso con el 1% de cemento, se obtuvo una humedad óptima del 16,68%, la cual ayuda a que el suelo estabilizado llegue a tener una compactación máxima.

3.4.3. Ensayo de CBR (ASTM D-1883)

		AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA (CBR)				ASTM - D 1883	
MOLDE NUMERO				M3		4		2MG64	
No. DE CAPAS				5		5		5	
No. DE GOPES POR CAPA				12		56		25	
CONDICIONES DE LA MUESTRA				ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE	g	10999		11423	11074	11380		11271	11626
PESO MOLDE	g	7104		7104	6801	6801		7166	7166
PESO MUESTRA HUMEDA	g	3895		4319	4273	4579		4105	4460
VOLUMEN DE LA MUESTRA CTE	cm ³	2325		2325.61	2325	2326.08		2325	2326.08
PESO UNITARIO HUMEDO	g/cm ₃	1.675		1.857	1.838	1.969		1.765	1.917
PESO UNITARIO SECO	g/cm ₃	1.438		1.405	1.574	1.501		1.533	1.472

Siguiente →

CONTENIDO DE AGUA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
		A		A		A		A		A		A	
CAPSULA	Nº	R7	E46	J4	E38	PD37	P5	72	P34	78	304	22	3
PESO DE LA CAPSULA	g	13.8	14.4	13.9	11.9	12.1	14.4	14.0	12.1	14.6	11.4	13.7	12.4
PESO DE MUESTRA HUMEDA + CAP.	g	63.4	66.0	70.1	72.6	48.6	54.6	71.7	72.4	59.4	53.8	64.4	54.0
PESO DE MUESTRA SECA + CAP.	g	56.3	58.8	56.1	58.2	43.4	48.8	57.7	58.4	53.5	48.2	52.3	44.6
HUMEDAD	%	16.71	16.22	33.18	31.10	16.61	16.86	32.04	30.24	15.17	15.22	31.35	29.19
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	16.46		32.14		16.74		31.14		15.19		30.27	

DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA	TIEMPO	MOL. Nº	M3	H (cm) =	12.7	MOL. Nº	4	H (cm) =	12.7	MOL. Nº	2MG6	H (cm) =	12.7
HORAS	EN DIAS	DIAL		ESPONJAMIENTO		DIAL		ESPONJAMIENTO		DIAL		ESPONJAMIENTO	
				O				TO				O	
	0	151	0	0.00		231	0	0.00		331	0	0.00	
	1	151	0	0.00		233	2	0.04		332	1	0.02	
	2	152	1	0.02		233	2	0.04		333	2	0.04	

DATOS DE PENETRACION

CI066

CONSTANTE ANILLO

0.0109819X

Siguiete →

PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS	M3			4			2MG6 4		
	TIPO	CARGA DE		CBR	CARGA DE		CBR	CARGA DE		CBR
		ENSAYO		CORREGIDO	ENSAYO		CORREGIDO	ENSAYO		CORREGIDO
	lbs/pulg ²	dial	lbs/pul g ²	%	dial	lbs/pul g ²	%	dial	lbs/pulg ²	%
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		7	5.76		61	50.18		32	26.32	
0.050		16	13.16		111	91.31		64	52.65	
0.075		22	18.10		155	127.51		91	74.86	
0.100	1000	28	23.03	2.3	191	157.12	15.7	114	93.78	9.4
0.200	1500	55	45.24	3.0	291	239.38	16.0	177	145.60	9.7
0.300		83	68.28		374	307.66		231	190.02	
0.400		107	88.02		479	394.03		286	235.27	
0.500		137	112.70		563	463.13		332	273.11	

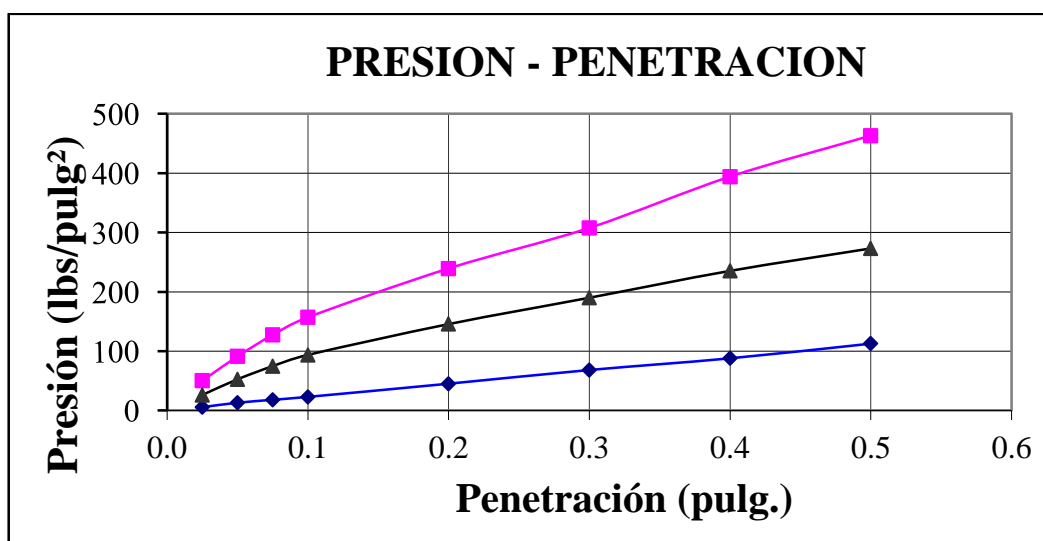


Figura 3.16: Gráfica Presión vs Penetración para CBR

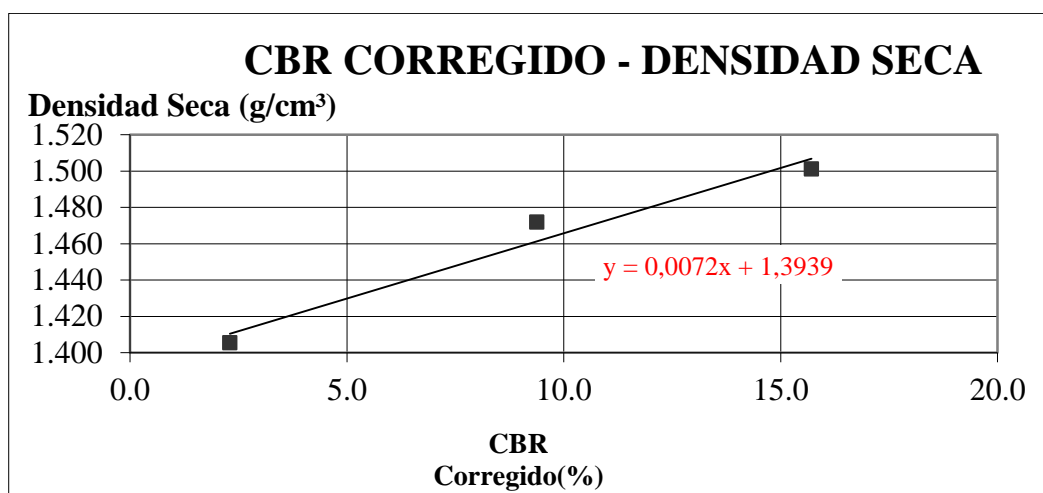


Figura 3.17: Gráfica de CBR Corregido vs Densidad Seca

Tabla 3.9: Cuadro de CBR en función a la Densidad máxima seca

VALOR CBR		
MAXIMA	CBR	
DENSIDAD		
%	%	
95	1683	40,2
100	1772	52,5

Estabilizando el suelo con cemento pudimos subir el CBR al 95% del limo arenoso del 28.8% del suelo normal al 40.2% que es el CBR del suelo estabilizado.

3.4.4. Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126)



Figura 3.18: Ensayo de Compresión Simple en Suelo Cemento

Tabla 3.10: Cuadro de valores de resistencia de las probetas ensayadas.

PROBETA	PESO		DIAS ROT	H cm	Ds cm	Dm cm	Di cm	CARGA Kg	DEF mm	RESISTENCIA		TIPO FALLA
	HÚM	SECO								Kg/cm ²		
IQ1	252,55	217,57	28	8,70	4,22	4,39	4,50	127,46	1,60	8,50		VERT
IQ3	155,71	135,35	28	7,95	3,54	3,58	3,66	128,40	1,02	12,66	13,74	VERT
IQ4	151,78	131,91	28	7,86	3,70	3,66	3,65	212,10	1,07	20,05		VERT
IQ5	155,26	135,18	14	7,75	3,77	3,60	3,72	45,32	1,70	4,22	4,22	VERT

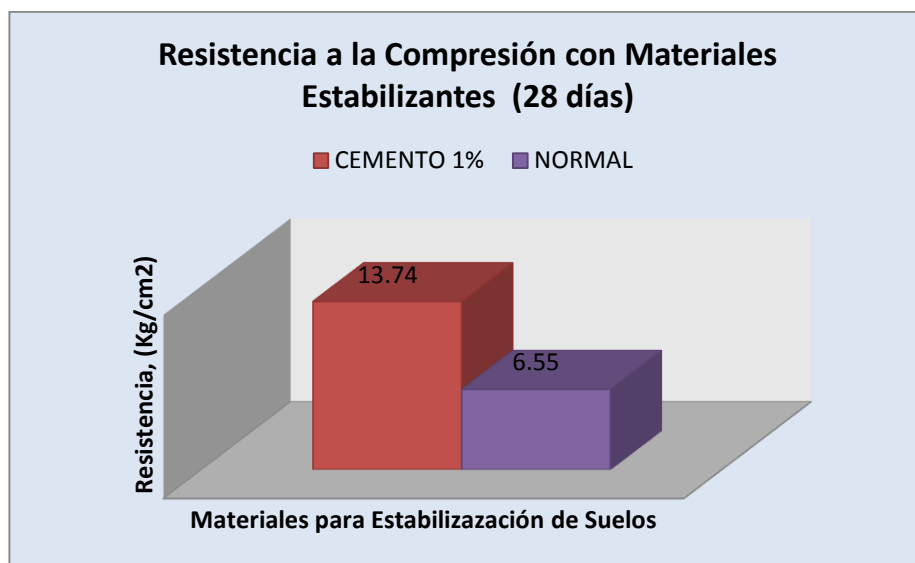


Figura 3.19: Comparación de las resistencias obtenidas a los 28 días entre suelo natural y suelo-cemento

La resistencia a la compresión a los 28 días subió de 6.55 a 13.74 Kg/cm², lo cual es una resistencia aceptable para tráfico vehicular.

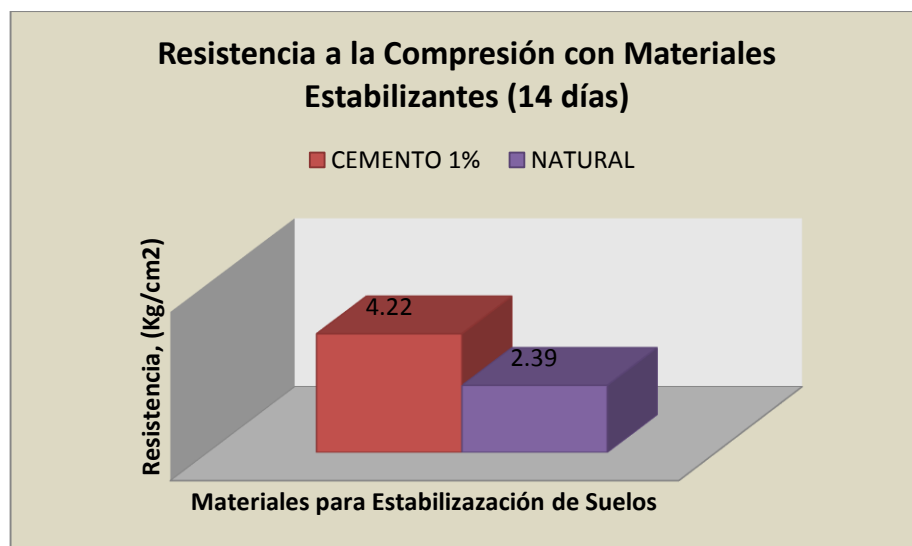


Figura 3.20: Comparación de las resistencias obtenidas a los 14 días entre suelo natural y suelo-cemento

3.4.5. Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273)

MATERIAL		CEMENTO	
PROBETA		1%	
F. moldeo		02/10/2013	
F. inicio		02/10/2013	
hora inicio		9:00	
Húm %		18%	
P. Húm		250,16	
P. seco		212,32	
P 50%		231,24	
P. inicial		231,24	
Húm. Inic		9%	
Perd. %		9%	
TIEMPO	ASC. CAP	PESO	HÚM.
minutos	mm	gr	%
5	50	232,43	9,47%
10	54	236,51	11,39%
30	67	240,14	13,10%
60	100	244,45	15,13%
100	100	247,56	16,60%
150	100	251,23	18,33%
240	100	254,87	20,04%
480	100	255,67	20,42%
600	100	259,79	22,36%

La mezcla de cemento con el suelo también se mantiene permeable, la cual el agua por capilaridad subió los 10cm en 60 minutos, en el siguiente gráfico se puede apreciar que la probeta se deshizo totalmente.



Figura 3.21: Probeta de Suelo-Cemento 1% durante el Ensayo

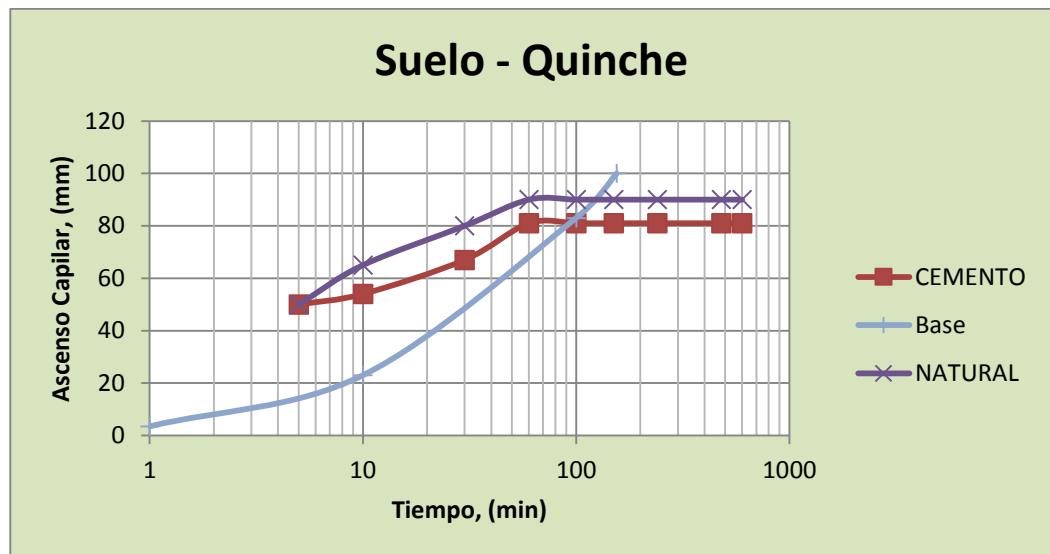


Figura 3.22: Gráfica resultados de capilaridad en función del tiempo de ensayo.

En la gráfica que se presenta se puede apreciar que la línea roja (cemento), se acerca más a la curva celeste que la púrpura, esto quiere decir que el suelo estabilizado con cemento es más resistente y funciona frente al ascenso capilar.

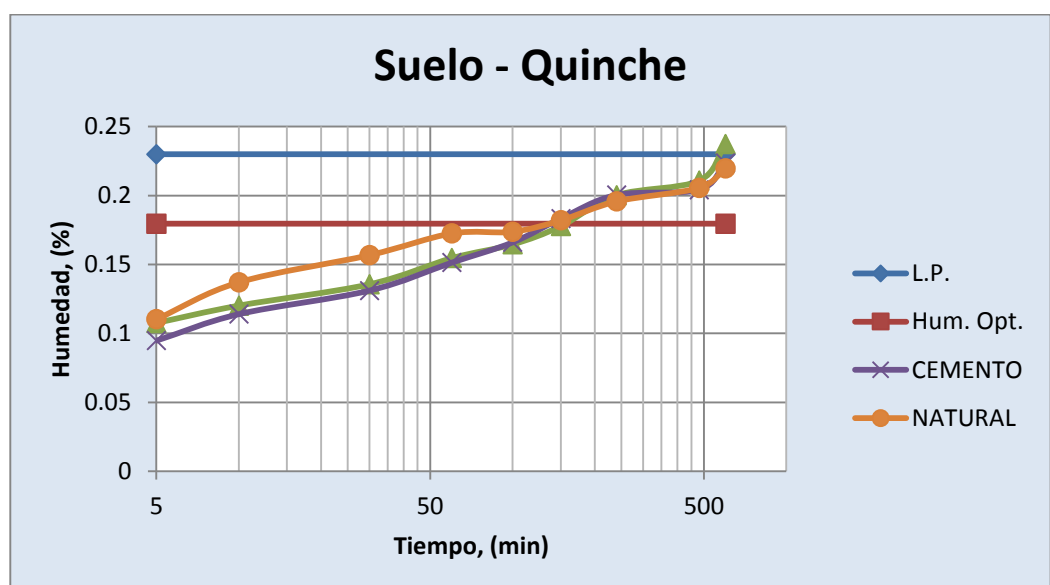


Figura 3.23: Gráfica de aumento de humedad en función del tiempo

En la gráfica se puede apreciar que los valores de humedad después de los 100 minutos se encuentran entre la humedad óptima y el límite de plasticidad del suelo estabilizado.

3.5. Estabilización de Suelo con Cal

Para estabilizar el suelo de tipo limo arenoso se hizo algunos ensayos para determinar el porcentaje óptimo de cal.



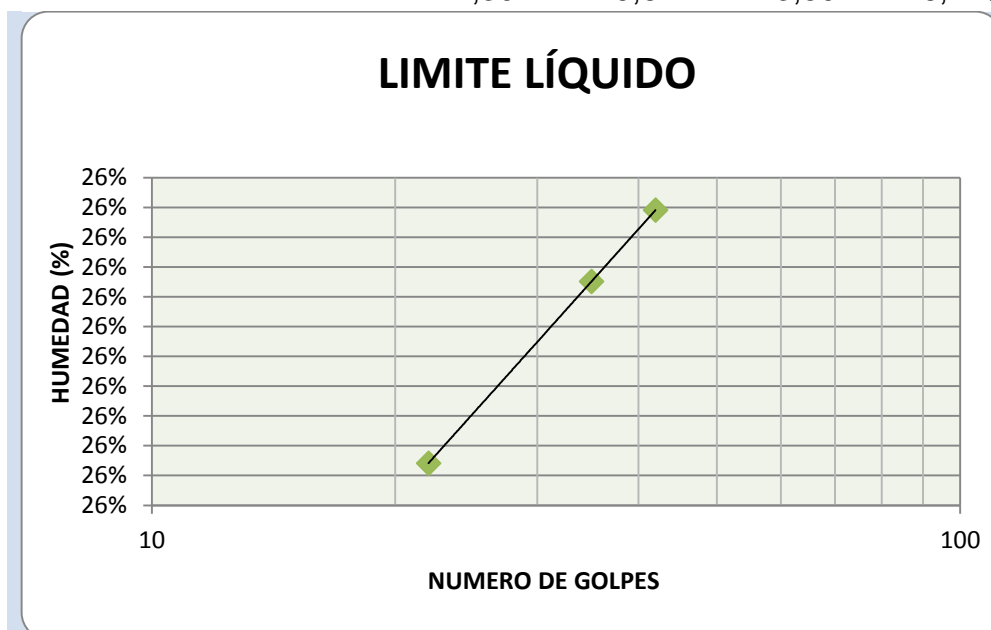
Figura 3.24: Suelo Modificado con el 2% de Cal.

3.5.1. Ensayos de Índice de Plasticidad (ASTM D-4318) para el suelo de Tipo Limo Arenoso Mezclado con el porcentaje óptimo de Cal.

Golpes #	Capsula #	PC+SH gr.	PC+SS gr.	P Cap. gr.	Humedad %
HUMEDAD NATURAL					
	6	182,94	177,04	122,27	10,77%
	PRI	191,87	185,05	121,52	10,74%
	B140	181,25	175,25	120,02	10,86%
					Siguiente →

LIMITE LÍQUIDO

42	82	22,50	20,51	12,90	26,15%
35	67	23,20	21,12	13,20	26,26%
22	32	22,10	20,15	12,70	26,17%
14	P7	21,30	19,67	13,50	26,42%

**Figura 3.25:** Gráfica Humedad vs # de golpes**LIMITE PLÁSTICO**

	23	7,61	7,32	6,21	26,13%
	6	8,19	7,83	6,44	25,90%
	P15	7,48	7,22	6,22	26,00%

**Figura 3.26:** Ensayo de límite líquido. Casa Grande



Figura 3.27: Ensayo de límite plástico

Tabla 3.11: Cuadro Resumen del Índice de Plasticidad del suelo modificado

RESUMEN	
Límite Líquido	26%
Límite Plástico	26%
Índice de Plasticidad	0%

Por lo tanto el suelo se encuentra estabilizado con el 2% de cal, obteniendo satisfactoriamente un índice de plasticidad de 0%.

3.5.2. Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422)

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD									
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	PESO INICIAL DE LA MUESTRA					
5	25	11 lb	18"	2174	g				
MUESTRA >>>		1	2	3	4				
Molde No.	M3								
Peso suelo húmedo + molde	A	4925	5099	5162	5140				
Peso del molde	B	3330	3330	3330	3330				
Peso suelo húmedo	C=A-B	1595	1769	1832	1810				
Volúmen del molde	D	939	939	939	939				
Densidad húmeda	E=C/D	1.70	1.88	1.95	1.93				
Tarro No.		PD37	A8	22	J17	304	J-13	I11	A26
Tarro + suelo húmedo	F	48.70	51.60	50.50	55.00	32.60	48.20	59.70	59.50
Tarro + suelo seco	G	44.90	47.90	45.40	49.10	29.30	42.30	51.00	50.70
Peso de agua	H=F-G	3.80	3.70	5.10	5.90	3.30	5.90	8.70	8.80
Peso del tarro	I	12.10	13.00	13.70	12.80	11.40	13.70	12.50	11.90
Peso del suelo seco	J=G-I	32.80	34.90	31.70	36.30	17.90	28.60	38.50	38.80
Contenido de agua	K=H/J	11.59%	10.60%	16.09%	16.25%	18.44%	20.63%	22.60%	22.68%
Contenido promedio	L	11.09%	16.17%	19.53%	22.64%				
Densidad seca	M	1.529	1.622	1.632	1.572				

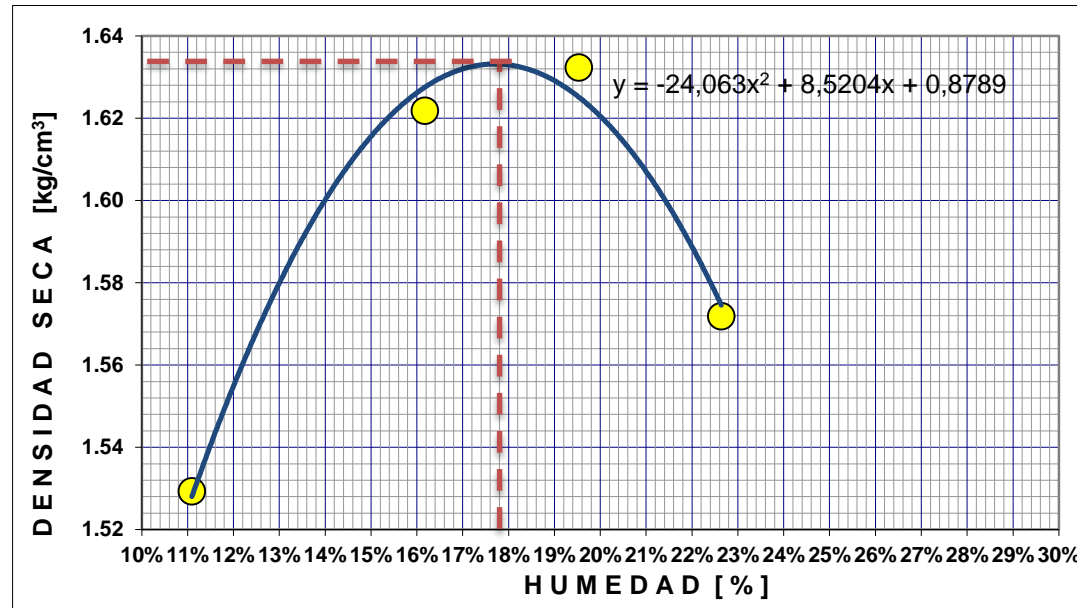


Figura 3.28: Curva para obtener la Humedad óptima en la densidad máxima seca

Densidad Máxima:	1,633	g/cm³	Humedad óptima:	17,70%
-----------------------------	--------------	--------------	----------------------------	---------------

La humedad óptima para llegar a una compactación máxima del suelo estabilizado con cal fue del 17.70%.

3.5.3. Ensayo de CBR (ASTM D-1883)

		AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA (CBR)				ASTM - D 1883	
MOLDE				1		2		3	
NUMERO									
No. DE CAPAS				3		3		3	
No. DE GOLPES				12		25		56	
POR CAPA									
CONDICIONES									
DE LA									
MUESTRA									
PESO									
MUESTRA									
HUMEDA +									
MOLDE									
	g	11301		11518	11469	11584	11532	11617	
PESO MOLDE	g	7256		7256	7163	7163	7124	7124	
PESO									
MUESTRA	g	4045		4262	4306	4421	4408	4493	
HUMEDA									
VOLUMEN DE									
LA MUESTRA	cm ³	2327.0		2327.0	2325.1	2325.1	2325.1	2325.1	
CTE									
PESO									
UNITARIO	g/cm ₃	1.740		1.832	1.852	1.901	1.896	1.932	
HUMEDO									
PESO									
UNITARIO	g/cm ₃	1.485		1.469	1.575	1.558	1.614	1.568	
SECO									

Siguiete →

CONTENIDO DE AGUA CAPSULA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
Nº	10	EA1	J0	39	C110	J1	GM	2H	EA2	3	N335	B5	
PESO DE LA CAPSULA	g	122.3	121.4	118.3	118.4	120.7	119.2	121.1	122.1	120.9	122.0	120.0	119.5
PESO DE MUESTRA HUMEDA + CAP.	g	187.5	181.2	169.5	181.2	191.8	172.5	210.7	205.9	183.5	168.8	202.3	207.9
PESO DE MUESTRA SECA + CAP.	g	178.0	172.4	159.9	168.1	181.1	164.6	194.7	190.6	174.1	161.9	188.5	189.5
HUMEDAD	%	17.06	17.25	23.08	26.36	17.72	17.40	21.74	22.34	17.67	17.29	20.15	26.29
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	17.16		24.72		17.56		22.04		17.48		23.22	

DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA	TIEMPO	MOL. N°	1	H (cm) = 12.7	MOL. N°	2	H (cm) = 12.7	MOL. N°	3	H (cm) = 12.7
HORAS	EN DIAS	DIAL	ESPONJAMIENTO	TO	DIAL	ESPONJAMIENTO	O	DIAL	ESPONJAMIENTO	O
0		163	0	0.00	228	0	0.00	429	0	0.00
1		165	2	0.04	228	0	0.00	425	-4	-0.08
2		167	4	0.08	228	0	0.00	420	-9	-0.18

DATOS DE PENETRACION

CI063

CONSTANTE ANILLO

0.0407117X

Siguiete →

PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS		MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
	TIPO	CARGA DE	CBR		CARGA DE	CBR		CARGA DE	CBR		
		ENSAYO	CORREGIDO		ENSAYO	CORREGIDO		ENSAYO	CORREGIDO		
	lbs/pul g ²	dial	lbs/pul g ²	%	dial	lbs/pulg ²	%	dial	lbs/pulg ²	%	
0		0	0		0	0		0	0		
0.025		50	152.48		51	155.53		68	207.37		
0.050		115	350.70		121	369.00		165	503.18		
0.075		151	460.48		190	579.42		245	747.14		
0.100	1000	170	518.43	51.8	232	707.50	70.7	287	875.23	87.5	
0.200	1500	216	658.71	43.9	349	1064.30	71.0	375	1143.59	76.2	
0.300		253	771.54		429	1308.26		450	1372.30		
0.400		276	841.68		516	1573.58		519	1582.72		
0.500		304	927.07		569	1735.20		599	1826.69		

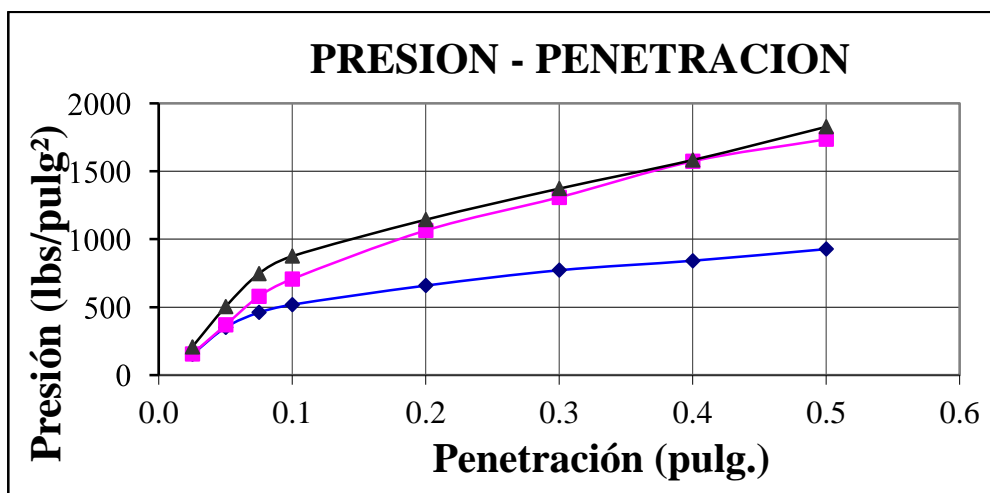


Figura 3.29: Gráfica de Presión vs Penetración para obtener CBR

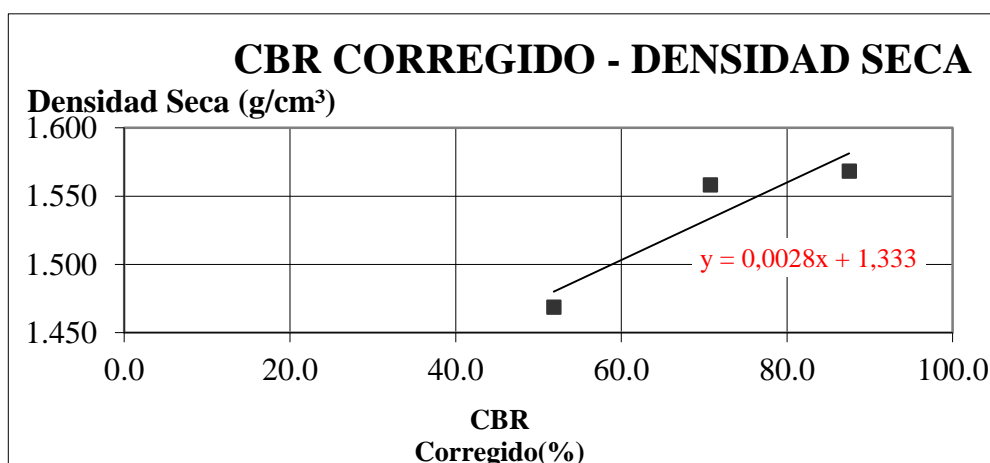


Figura 3.30: Gráfica de CBR corregido vs Densidad Seca

Tabla 3.12: Cuadro de CBR en función de la densidad máxima seca

VALOR CBR		
DENSIDAD	MAXIMA	CBR
%		%
95	1551	78,0
100	1633	107,2

El CBR del suelo estabilizado con cal es del 78%, lo cual brinda una capacidad portante del suelo muy grande, haciendo que se pueda colocar una capa de rodadura.

3.5.4. Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126)



Figura 3.31: Ensayo de Compresión a la Probeta Suelo-Cal

Tabla 3.13: Cuadro de resistencias de las probetas ensayadas

PROB	PESO		DIAS ROT	H cm	Ds cm	Dm cm	Di cm	CARGA Kg	DEF. mm	RESISTENCIA		TIPO FALLA
	HÚM	SECO								Kg/cm2	Kg/cm2	
CQ1	235,28	200,66	28	8,92	4,32	4,10	4,20	325,28	1,07	23,40		VERT
CQ2	260,87	222,83	28	9,13	4,40	4,40	4,40	275,32	0,69	18,11	29,67	VERT
CQ4	137,62	121,78	28	7,75	3,55	3,45	3,56	400,74	1,24	41,18		VERT
CQ5	137,49	121,11	28	7,83	3,30	3,25	3,40	311,00	1,40	36,00		VERT
CQ6	164,57	145,23	14	7,65	3,70	3,71	3,74	273,20	1,52	25,18	25,18	VERT

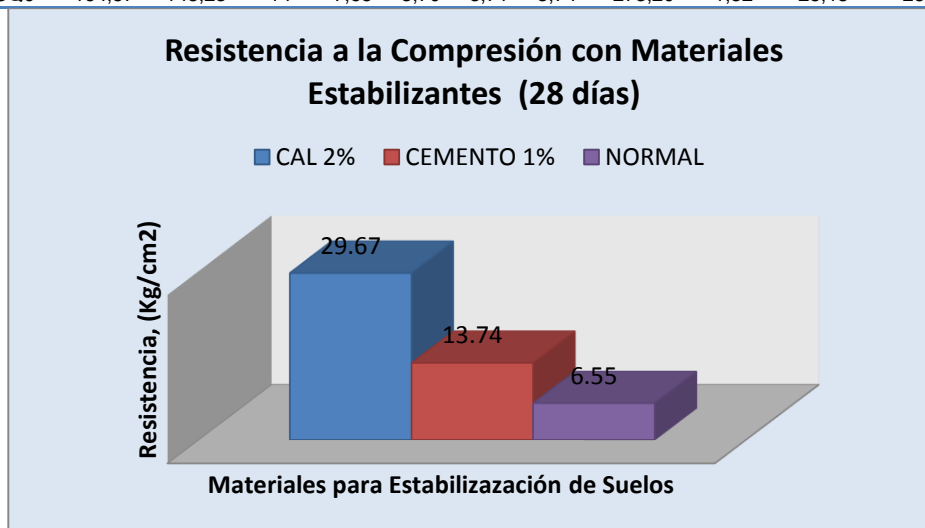


Figura 3.32: Comparación de resultados obtenidos de resistencia a los 28 días entre suelo normal, suelo-cemento y suelo-cal

La resistencia a la compresión del suelo a los 28 días es bastante buena con relación a los otros materiales de estabilización, y permite tener unos buenos resultados como subrasante, que tranquilamente, podría servir como sub-base.

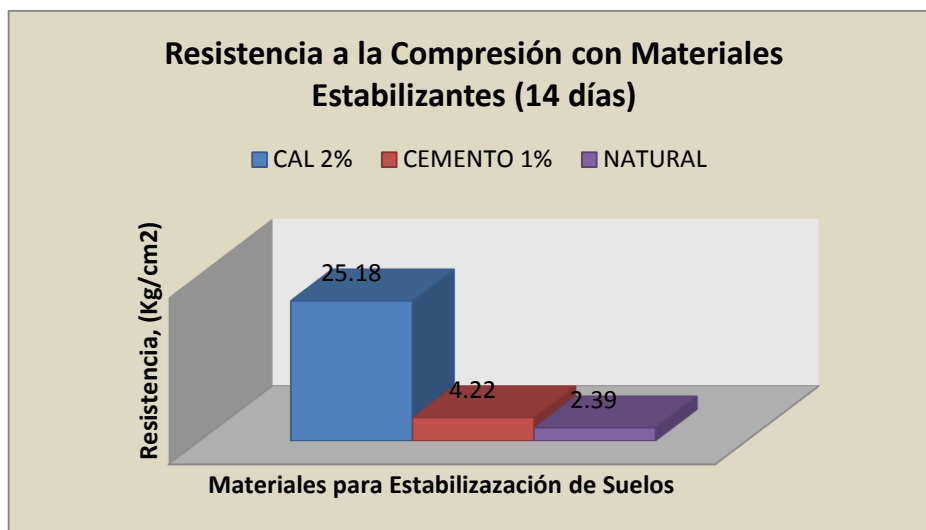


Figura 3.33: Comparación de resultados obtenidos de resistencia a los 14 días entre suelo normal, suelo-cemento y suelo-cal

3.5.5. Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273)

MATERIAL	CAL
PROBETA	2%
F. moldeo	02/10/2013
F. inicio	02/10/2013
hora inicio	9:00
Húm %	20%
P. Húm	240,25
P. seco	200,61
P 50%	220,43
P. inicial	220,43
Húm. Inic	10%
Perd. %	10%

Siguiente →

TIEMPO	ASC. CAP	PESO	HÚM.
minutos	mm	gr	%
5	40	222,19	10,76%
10	45	224,71	12,01%
30	57	227,81	13,56%
60	66	231,62	15,46%
100	71	233,62	16,45%
150	77	236,27	17,78%
240	87	240,78	20,02%
480	100	242,89	21,08%
600	100	248,23	23,74%

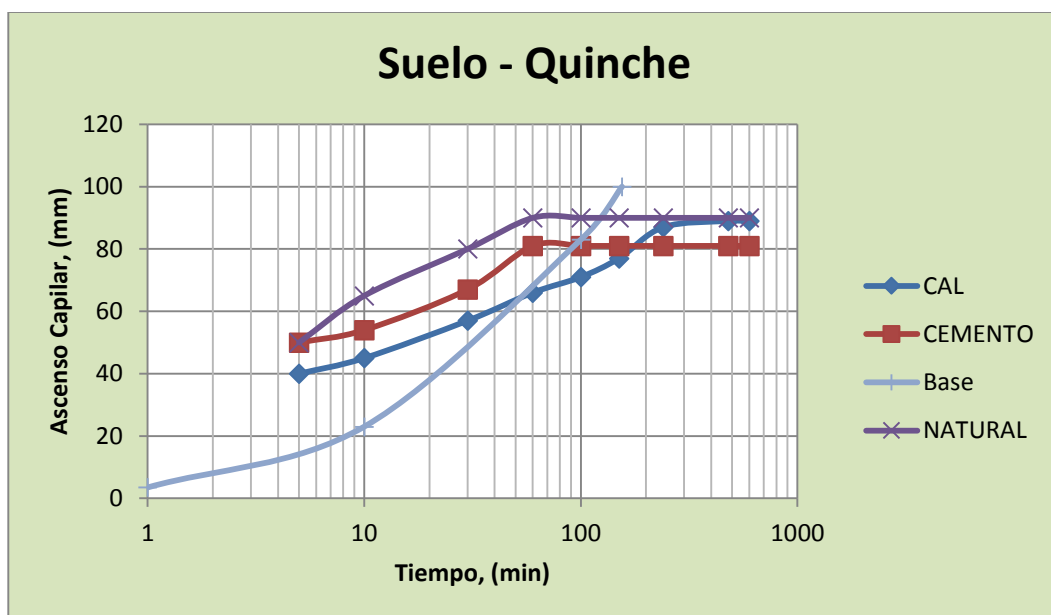


Figura 3.34: Gráfica de ascenso capilar en función del tiempo ensayado

Como se puede observar en el gráfico la curva azul, que es la que representa a la cal se encuentra más cercana a la curva celeste, que los otros materiales de estabilización, lo cual garantiza un ascenso capilar más lento.

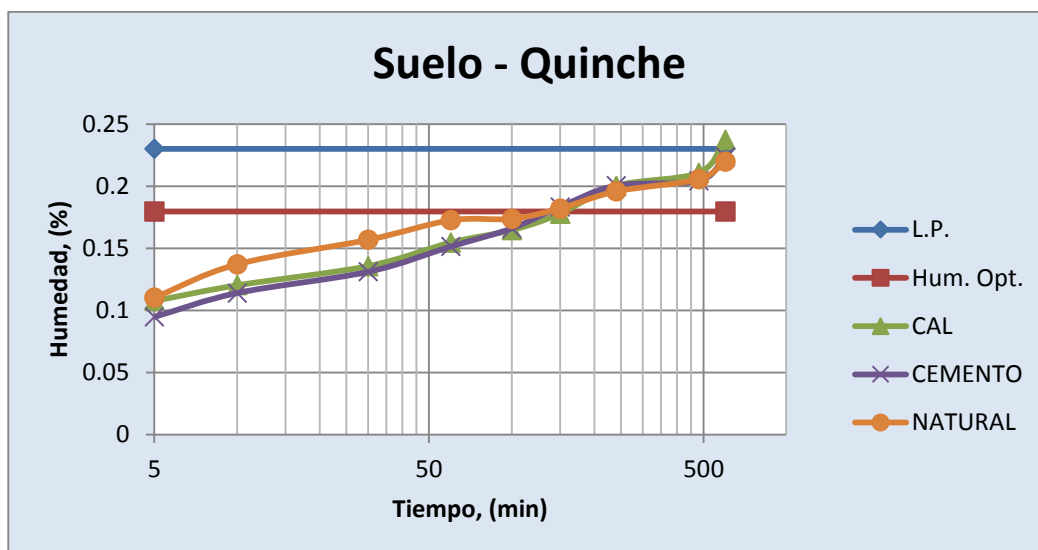


Figura 3.35: Gráfico del aumento de la Humedad de las probetas en función del tiempo.

Se puede apreciar que la humedad para la mezcla con cal se asemeja a los otros materiales estabilizantes, y alcanza la humedad óptima a los 200 minutos, hasta llegar a la humedad en la que alcanza su límite plástico.

La consistencia de ésta mezcla es más resistente ya que la probeta no se deshizo pese a que alcanzó su humedad de límite plástico, como se puede apreciar en el siguiente gráfico.



Figura 3.36: Probeta de suelo-cal en el ensayo de Capilaridad

3.6. Estabilización del Suelo con Emulsión Asfáltica

Para realizar la estabilización del suelo de tipo limo arenoso con emulsión asfáltica se procedió a obtener la cantidad de asfalto que contenía la emulsión para poder sacar el porcentaje óptimo de emulsión para estabilizar el suelo.



Figura 3.37: Mezcla de Suelo – 1.5% de Emulsión Asfáltica

3.6.1. Ensayo de Porcentaje de Agua de la Emulsión Asfáltica

TARA	PESO TARA	PESO TARA + EMULSIÓN NORMAL	PESO TARA + EMULSIÓN SECA	PESO DE AGUA	% AGUA EN EMULSIÓN	% DE ASFALTO EN EMULSIÓN	% DE ASFALTO PROMEDIO
1	62.55	72.68	68.71	3.97	39.19	60.81	60.98
2	71.52	81.68	77.71	3.97	39.07	60.93	
3	63.01	73.09	69.18	3.91	38.79	61.21	



Figura 3.38: Muestras de Emulsión para obtener el porcentaje de agua

Se pudo obtener a través de éste ensayo que la emulsión asfáltica contenía un porcentaje de asfalto del 60.98%, lo cual quiere decir que el resto de emulsión es agua, la misma que se tiene que tomar en cuenta para aplicar la humedad óptima para llegar a la compactación máxima.

3.6.2. Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422)

Se aplicó el próctor modificado únicamente para hallar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica, manteniendo la humedad óptima obtenida en el próctor modificado del suelo natural.

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD					
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	PESO INICIAL DE LA MUESTRA	
5	25	11 lb	18"	2500	g
MUESTRA >>>		0.5%	1%	2%	3%
Molde No.	M3				
Peso suelo húmedo + molde	A	5956	5978	5966	5946
Peso del molde	B	4171	4171	4171	4171
Peso suelo húmedo	C=A-B	1786	1808	1796	1775
Volúmen del molde	D	943	943	943	943
Densidad húmeda	E=C/D	1.89	1.92	1.90	1.88

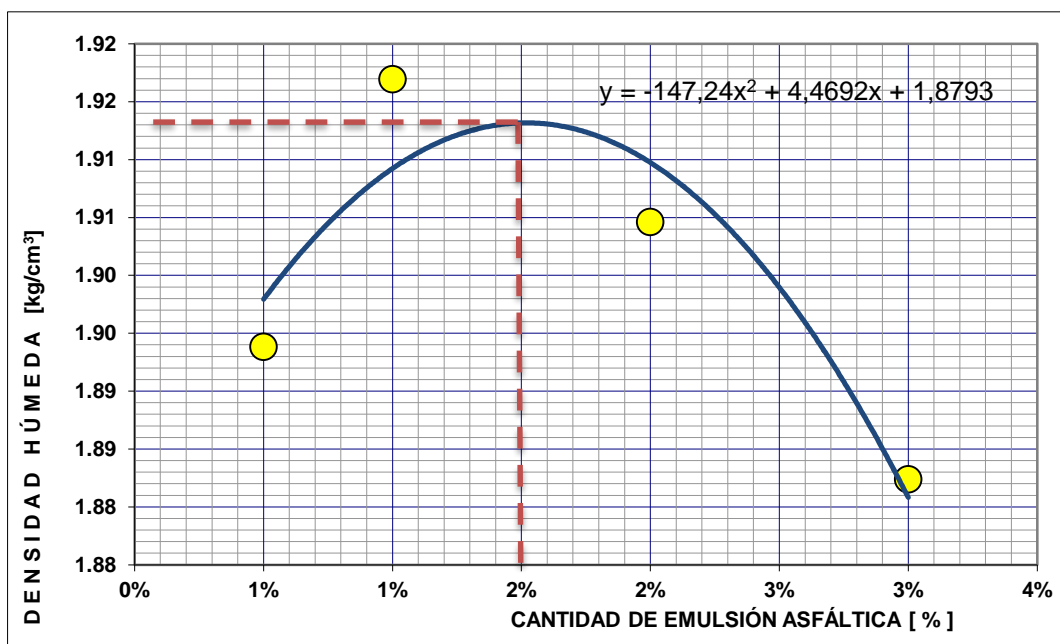


Figura 3.39: Curva para la obtención del porcentaje óptimo de Emulsión Asfáltica, para obtener la densidad máxima seca del suelo.

Densidad Máxima:	1,913 g/cm³	Emulsión Asfáltica óptima:	1,52%
-------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	--------------

El porcentaje óptimo de Emulsión asfáltica para obtener la compactación máxima y por ende estabilizar el suelo es de 1.52%, manteniendo una humedad óptima del 17.96%.

3.6.3. Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126)



Figura 3.40: Ensayo de Compresión para la probeta Suelo-Emulsión Asfáltica

Tabla 3.14: Cuadro de valores de resistencias de las probetas ensayadas con el 1.5% de Emulsión Asfáltica.

PROB	PESO		DIAS ROT	H cm	Ds cm	Dm cm	Di cm	CARGA Kg	DEF. mm	RESISTENCIA		TIPO FALLA
	HÚM	SECO								Kg/cm ²	Kg/cm ²	
EQ1	258,77	218,92	28	8,70	4,43	4,38	4,41	125,42	0,84	8,22	6,56	VERT
EQ3	231,98	196,38	28	8,12	4,41	4,22	4,32	109,10	1,27	7,45		VERT
EQ4	197,26	167,05	28	7,70	4,12	4,20	4,40	74,24	0,91	5,26		VERT
EQ5	193,94	164,89	14	7,57	4,37	4,14	4,30	42,12	1,47	2,94	2,94	VERT
EQ6	206,45	174,80	28	8,03	4,32	4,18	4,26	75,44	1,02	5,31		VERT

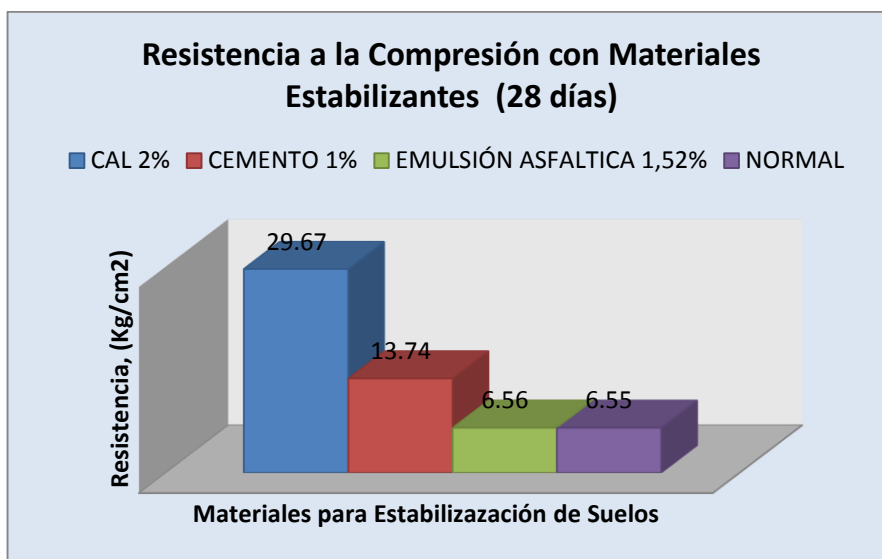


Figura 3.41: Comparación de resistencias a los 28 días entre suelo normal, Suelo-Cemento, Suelo-Cal y Suelo-Emulsión Asfáltica

Como se puede apreciar en la gráfica la resistencia a la compresión que soporta el suelo estabilizado con emulsión asfáltica es demasiado bajo, lo que se podría despreciar ésta opción para éste tipo de suelo.

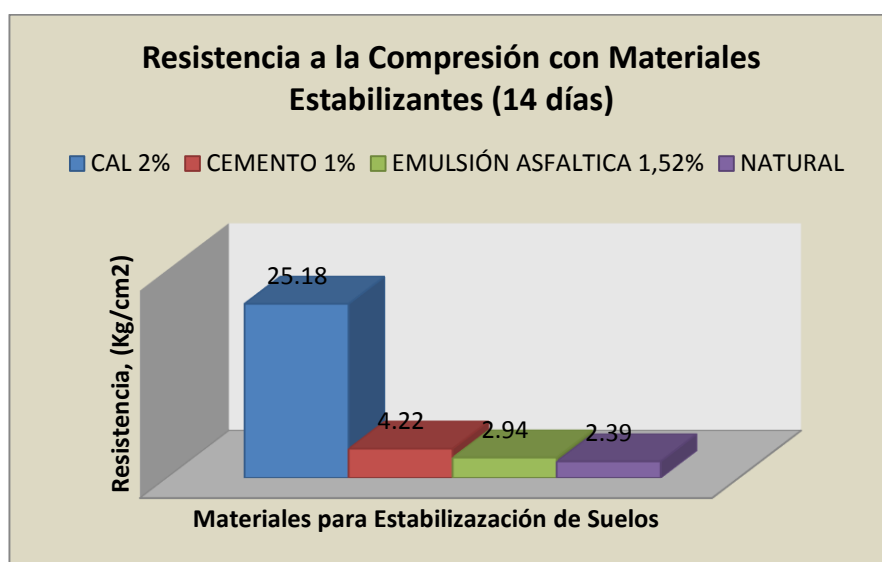


Figura 3.42: Comparación de resistencias a los 14 días entre suelo normal, Suelo-Cemento, Suelo-Cal y Suelo-Emulsión Asfáltica

3.6.4. Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273)

MATERIAL	EMULSIÓN ASFÁLTICA		
PROBETA	1,52%		
F. moldeo	02/10/2013		
F. inicio	02/10/2013		
hora inicio	9:00		
Húm %	19%		
P. Húm	259,04		
P. seco	217,42		
P 50%	238,23		
P. inicial	238,23		
Húm. Inic	10%		
Perd. %	10%		
TIEMPO	ASC. CAP	PESO	HÚM.
minutos	mm	gr	%
5	48	241,4	11,03%
10	63	246,21	13,24%
30	78	250,50	15,21%
60	100	253,92	16,79%
100	100	255,19	17,37%
150	100	257,48	18,43%
240	100	259,98	19,58%
480	100	261,11	20,09%
600	100	269,18	23,81%

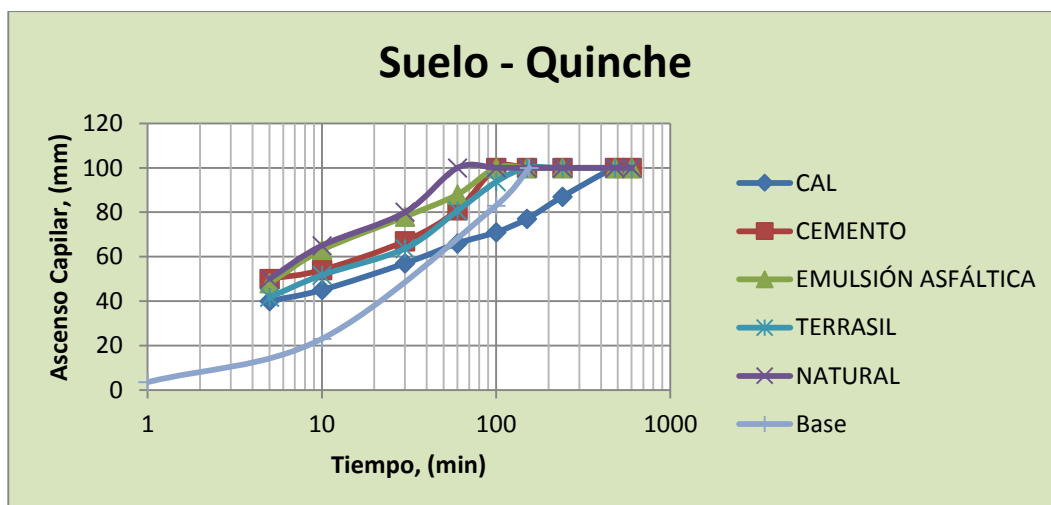


Figura 3.43: Gráfica de Ascenso Capilar en función del tiempo ensayado

Como se puede observar claramente en la gráfica la línea verde, perteneciente a la emulsión asfáltica se encuentra demasiado alejada de la curva normada, lo cual se puede concluir que la estabilización con emulsión asfáltica con éste material no es nada ventajoso.

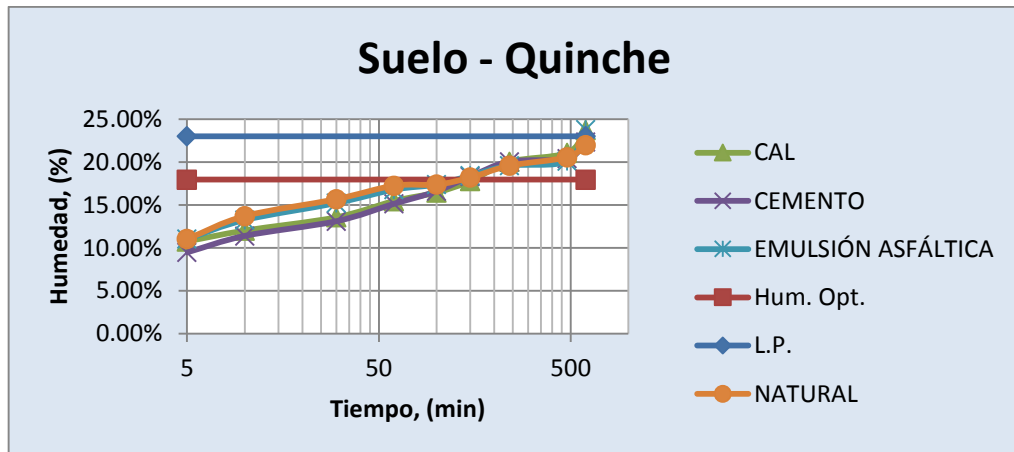


Figura 3.44: Gráfica de Humedad en función del tiempo ensayado

Como se puede observar en la siguiente gráfica la probeta estabilizada con emulsión asfáltica se deshizo totalmente, durando aproximadamente 120 minutos en humedecerse totalmente llegando a la humedad óptima en ése tiempo.



Figura 3.45: Probeta en proceso de Ensayo de Capilaridad

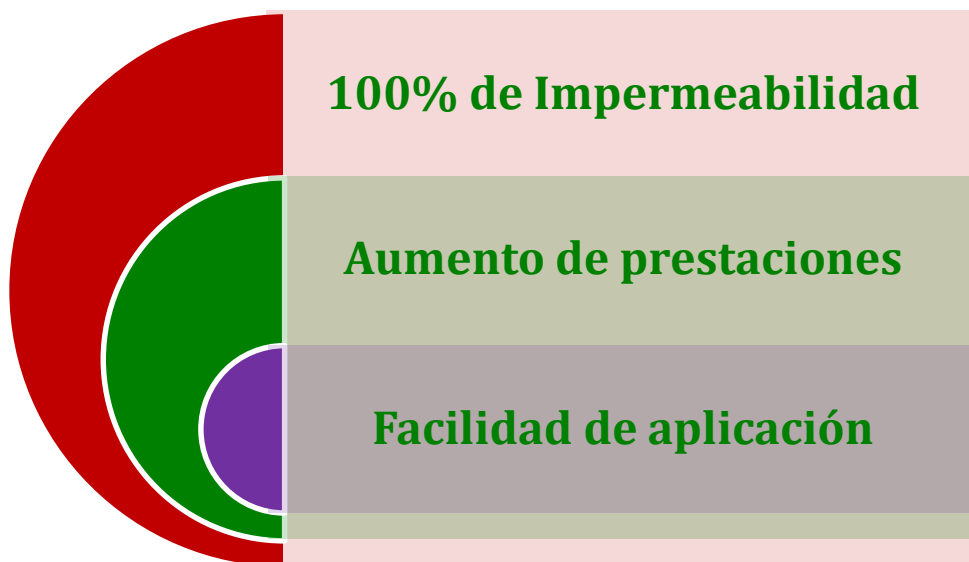
3.7. Ensayos de Estabilización en Suelo con Órgano Silanos



Figura 3.46: Mezcla de Suelo con Organo-Silanos.

Para hacer una estabilización con Órgano-Silanos se utilizó a una dosificación recomendada por el fabricante, la misma que es de 1Kg de Órgano-Silano por cada metro cúbico de suelo.

Las ventajas de trabajar con éste producto son:



La mezcla de Órgano Silano se la hizo en el agua de adición calculada de la humedad óptima.

3.7.1. Próctor Modificado en Suelo Natural (ASTM D-422)

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD										
No. de Capas		Golpes por capa		Peso Martillo		Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA		
5		25		11 lb		18"		2493 g		
MUESTRA >>>			1	2	3	4				
Molde No.		M3								
Peso suelo húmedo + molde		A	5890	6040	6151	6103				
Peso del molde		B	4262	4262	4262	4262				
Peso suelo húmedo		C=A-B	1628	1778	1889	1841				
Volúmen del molde		D	939	939	939	939				
Densidad húmeda		E=C/D	1.73	1.89	2.01	1.96				
Tarro No.		44m	B1	PE23	40	P	J0	67	PR	
Tarro + suelo húmedo		F	160.10	163.60	169.60	175.70	199.40	167.00	174.90	191.90
Tarro + suelo seco		G	155.81	159.00	163.48	168.70	187.28	159.29	165.19	178.95
Peso de agua		H=F-G	4.29	4.60	6.12	7.00	12.12	7.71	9.71	12.95
Peso del tarro		I	120.60	121.60	121.80	122.50	122.30	118.40	121.70	121.40
Peso del suelo seco		J=G-I	35.21	37.40	41.68	46.20	64.98	40.89	43.49	57.55
Contenido de agua		K=H/J	12.18%	12.30%	14.68%	15.15%	18.65%	18.86%	22.33%	22.50%
Contenido promedio		L	12.24%	14.92%	18.75%	22.41%				
Densidad seca		M	1.545	1.648	1.694	1.602				

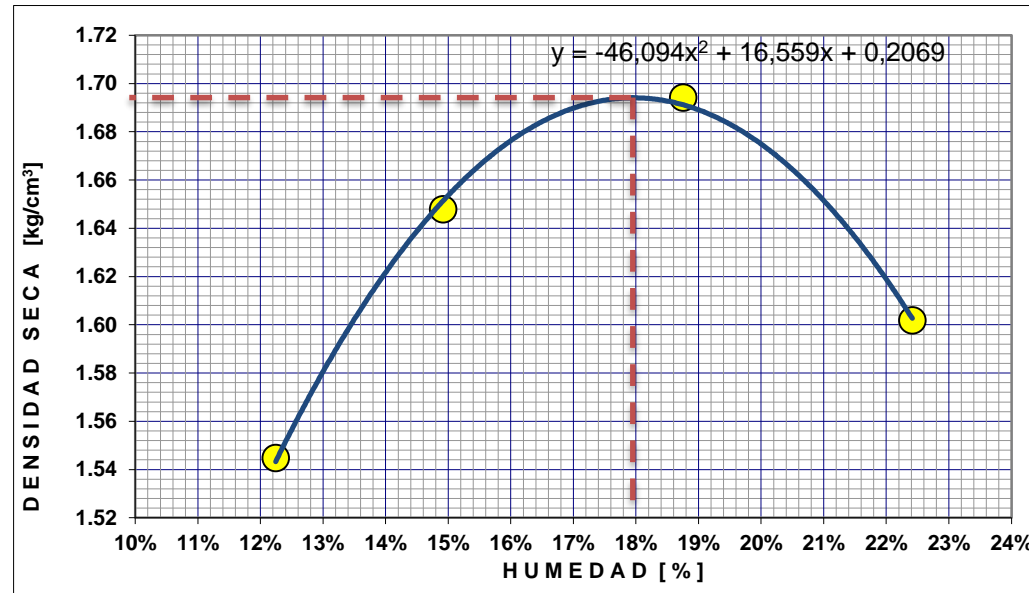


Figura 3.47: Gráfica de Proctor para obtener el porcentaje óptimo de humedad para la compactación máxima

Densidad Máxima:	1,694 g/cm³	Humedad óptima:	17,96%
-----------------------------	-------------------------------	----------------------------	---------------

El Próctor es el mismo que el del suelo natural ya que la característica de éste producto es que primero se obtiene la Humedad óptima, para luego ser mezclada con el agua a adicionarse para obtener la compactación máxima del suelo.

3.7.2. Ensayo de CBR (ASTM D-1883)

		AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA (CBR)				ASTM - D 1883	
MOLDE NUMERO				1		2		3	
No. DE CAPAS				5		5		5	
No. DE GOPES POR CAPA				56		25		12	
CONDICIONES DE LA MUESTRA				ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE		g	11479	11722	11430	11701	11126	11395	
PESO MOLDE		g	7116	7116.3	7184	7183.6	7188	7188	
PESO MUESTRA HUMEDA		g	4362	4606.1	4247	4517.2	3939	4208	
VOLUMEN DE LA MUESTRA CTE		cm ³	2329	2332.51	2329	2338.10	2329	2329.72	
PESO UNITARIO HUMEDO		g/cm ₃	1.873	1.975	1.823	1.932	1.691	1.806	
PESO UNITARIO SECO		g/cm ₃	1.594	1.558	1.575	1.510	1.452	1.442	Siguiente →

CONTENIDO DE AGUA CAPSULA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
	Nº	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O
PESO DE LA CAPSULA	g	11	P12	39	2H	B2	110	6M	3	M59	J6-1	NB35	M2L
PESO DE MUESTRA HUMEDA + CAP.	g	122.0	121.3	118.1	121.8	123.1	121.0	121.2	122.0	121.1	121.2	120.0	121.7
PESO DE MUESTRA SECA + CAP.	g	189.4	180.2	177.0	186.1	183.0	188.3	178.9	182.4	192.0	185.4	188.6	191.4
HUMEDAD	%	179.4	171.4	164.7	172.4	174.7	179.3	166.5	169.0	182.0	176.3	174.7	177.4
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	17.42	17.56	26.39	27.08	16.09	15.44	27.37	28.51	16.42	16.52	25.41	25.13
		17.49		26.73		15.76		27.94		16.47		25.27	

DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA	TIEMPO	MOL. Nº	1	H (cm) = 12.7	MOL. Nº	2	H (cm) = 12.7	MOL. Nº	3	H (cm) = 12.7
HORAS	EN DIAS	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL
	0	162	0	0.00	147	0	0.00	400	0	0.00
	1	166	8	0.16	147	9	0.18	402	2	0.04
	2	166	8	0.16	148	10	0.20	402	2	0.04
	3		8	0.16		20	0.40		2	0.04

DATOS DE PENETRACION

CONSTANTE ANILLO

0.0109819X

CI066

Siguiete →

PENETRACION EN PULGADAS	CARGA S	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
	TIPO	CARGA DE		CBR	CARGA DE		CBR	CARGA DE		CBR
		ENSAYO		CORREGIDO	ENSAYO		CORREGIDO	ENSAYO		CORREGIDO
	lbs/pulg ₂	dial	lbs/pulg ²	%	dial	lbs/pulg ²	%	dial	lbs/pulg ²	%
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		62	51.00		6	4.94		13	10.69	
0.050		175	143.96		20	16.45		14	11.52	
0.075		300	246.78		39	32.08		15	12.34	
0.100	1000	400	329.05	32.9	54	44.42	4.4	16	13.16	1.3
0.200	1500	582	478.76	31.9	75	61.70	4.1	17	13.98	0.9
0.300		681	560.20		104	85.55		18	14.81	
0.400		740	608.73		129	106.12		19	15.63	
0.500		740	608.73		154	126.68		21	17.27	

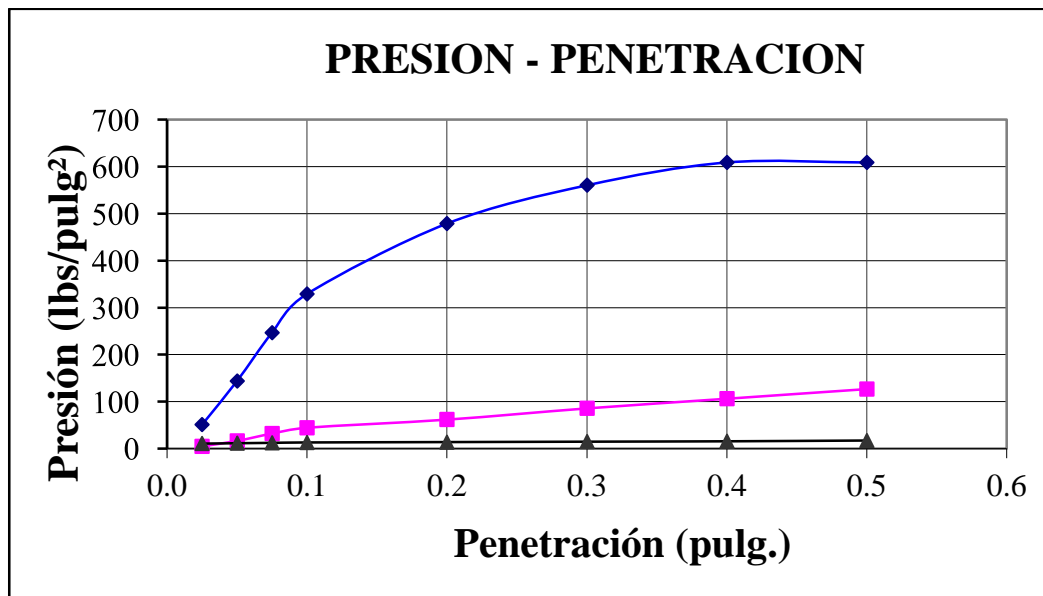


Figura 3.48: Gráfica de Presión vs Penetración para CBR

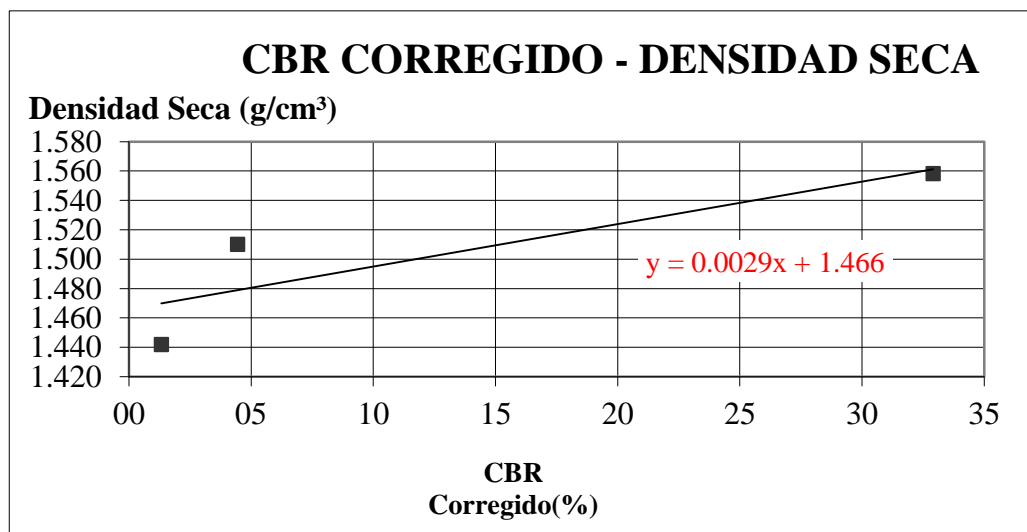


Figura 3.49: Gráfica de CBR corregido vs Densidad Seca.

Tabla 3.15: Cuadro de CBR en función de la densidad máxima seca.

VALOR CBR		
MAXIMA DENSIDAD		CBR
%		%
95	1609	49.4
100	1694	78.6

El valor obtenido 49.4% de CBR al 95% es admisible según la norma, por lo tanto la estabilización con Órgano-Silanos es perfecta para realizarla siempre y cuando no sea demasiado costoso.

3.7.3. Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126)



Figura 3.50: Ensayo de Compresión en Probeta de Suelo-ÓrganoSilanos

Tabla 3.16: Cuadro de resistencias obtenidas de las probetas al 1Kg/m³ de Órgano-Silanos

PROBETA	PESO		DIAS ROT.	H	Ds	Dm	Di	CARGA Kg	DEF. mm	RESISTENCIA		TIPO FALLA
	HÚM	SECO		cm	cm	cm	cm			Kg/cm ²	Kg/cm ²	
ORGANO-SILANOS 1Kg/m³												
T3	307.17	268.60	28	10.07	4.46	4.70	4.60	235.54	80.00	14.26	14.82	VERT
T4	312.96	273.83	28	9.91	4.68	4.58	4.51	257.98	65.00	15.59		VERT
T5	293.40	256.94	28	9.64	4.56	4.78	4.55	245.90	72.00	14.61		VERT
T8	340.82	299.66	14	10.24	4.70	4.76	4.64	216.18		12.46	12.46	VERT

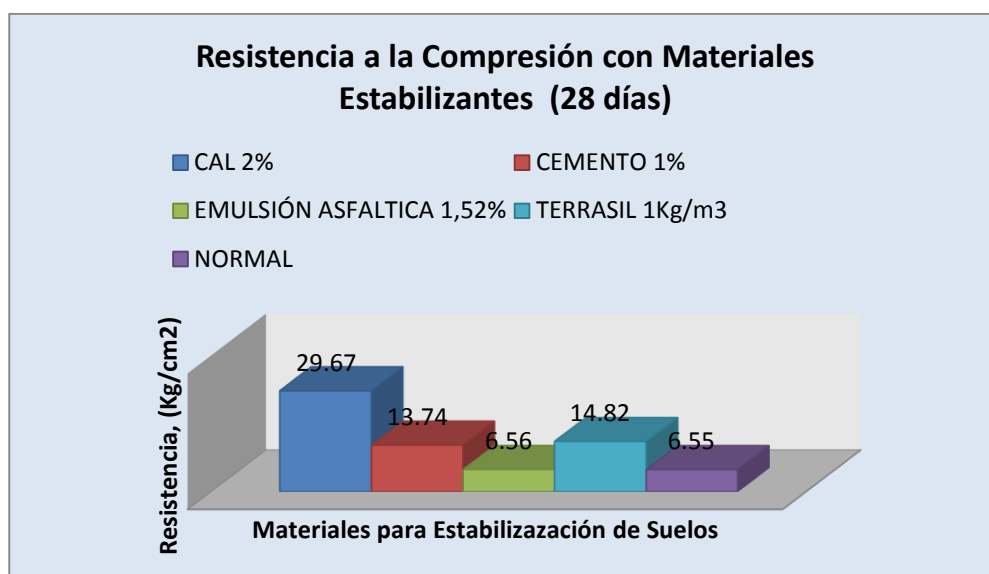


Figura 3.51: Comparación de resistencia a los 28 días entre todos los materiales estabilizantes.

Como se pudo observar en la gráfica la resistencia a la compresión del suelo estabilizado con Órgano-silanos, tiene 14.82Kg/cm² a los 28 días de curado, lo cual permite tener una buena capacidad portante para soportar el paso del tráfico.

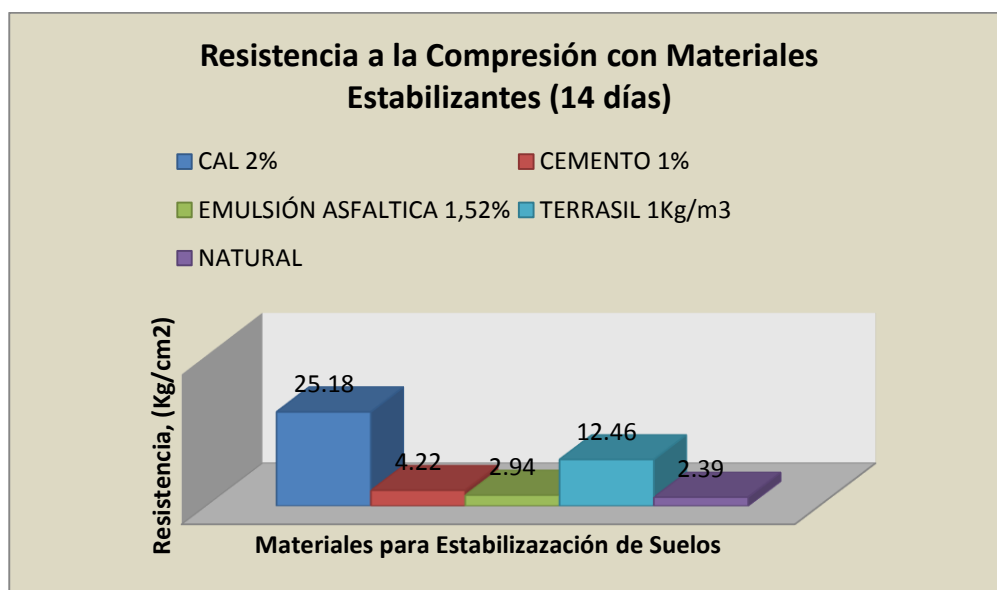


Figura 3.52: Comparación de resistencia a los 14 días entre todos los materiales estabilizantes.

3.7.4. Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273)

MATERIAL	ORGANO-SILANOS		
PROBETA	1Kg/m3		
F. moldeo	10/24/2013		
F. inicio	10/24/2013		
hora inicio	9:00		
hum %	20%		
P. hum	315.66		
P. seco	261.98		
P 50%	288.82		
P. inicial	288.82		
Hum. Inic	10%		
Perd. %	10%		
TIEMPO	ASC. CAP	PESO	HUM.
minutos	mm	gr	%
5	0	288.82	10.25%
10	0	288.82	10.25%
30	0	288.82	10.25%
60	0	288.82	10.25%
100	0	288.82	10.25%

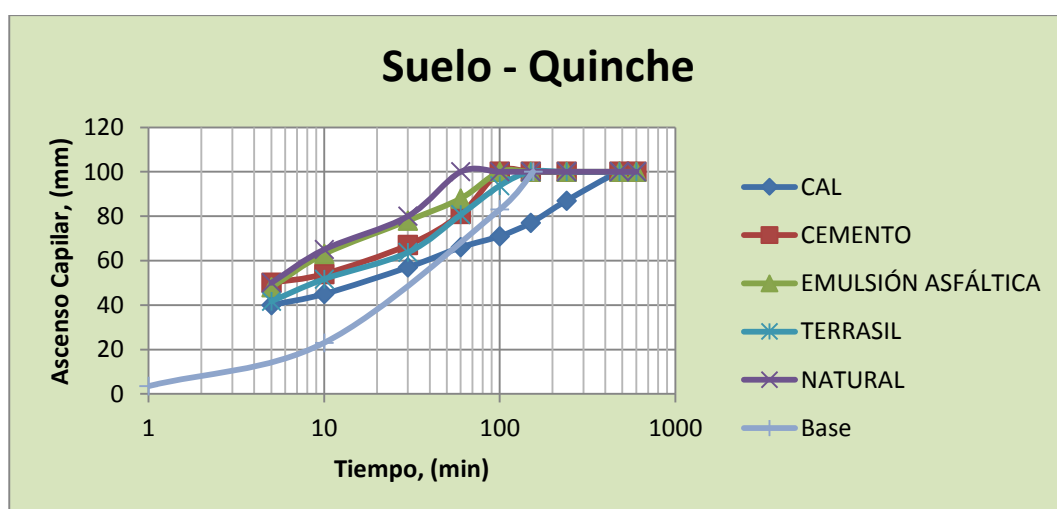


Figura 3.53: Gráfica de Ascenso Capilar de las probetas en función del tiempo ensayado.

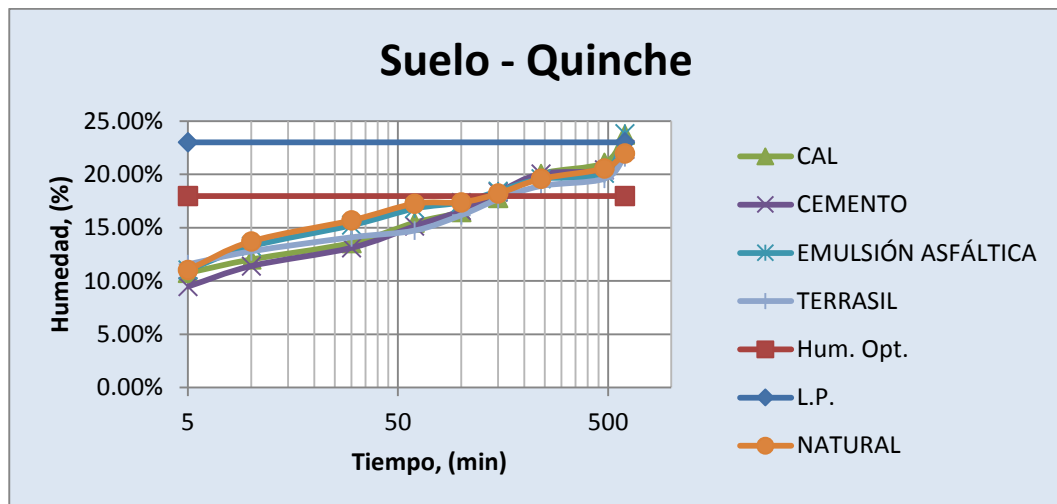


Figura 3.54: Gráfica del aumento de Humedad en las probetas en función del tiempo ensayado.

Los resultados en absorción capilar del suelo con Órgano-silanos, fue perfecta, ya que no absorbió absolutamente nada de agua, éste producto de estabilización le volvió al suelo completamente impermeable, lo que sería muy ventajoso para una vía, ya que el problema de todo suelo es el agua, con éste producto se pudo solucionar éste problema tan importante.



Figura 3.55: Probeta de Suelo-Organosilano (Impermeable)

3.8. Comparación de Relación Soporte California (CBR)

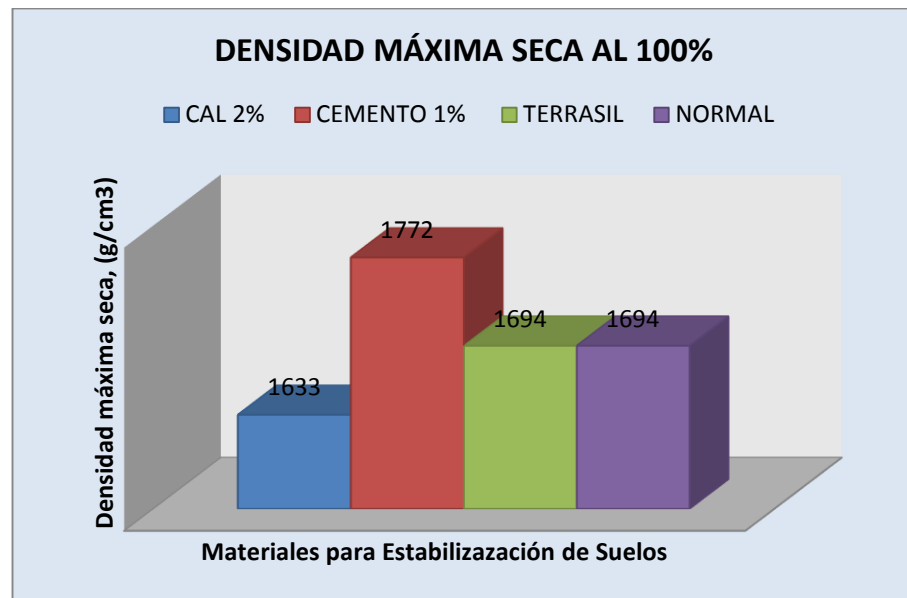


Figura 3.56: Comparación de los materiales estabilizantes en función de la Densidad máxima Seca al 100%.

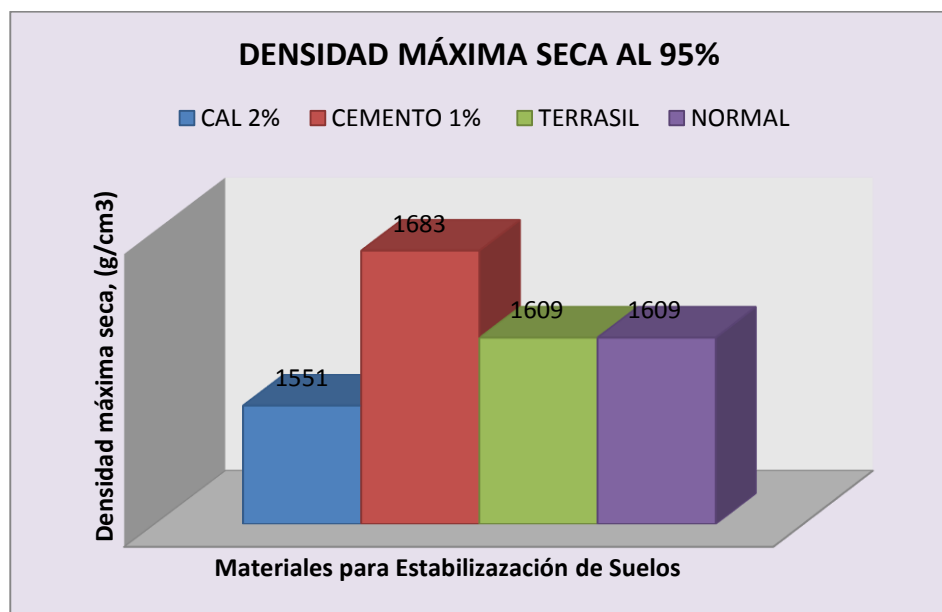


Figura 3.57: Comparación de los materiales estabilizantes en función de la Densidad máxima Seca al 95%.

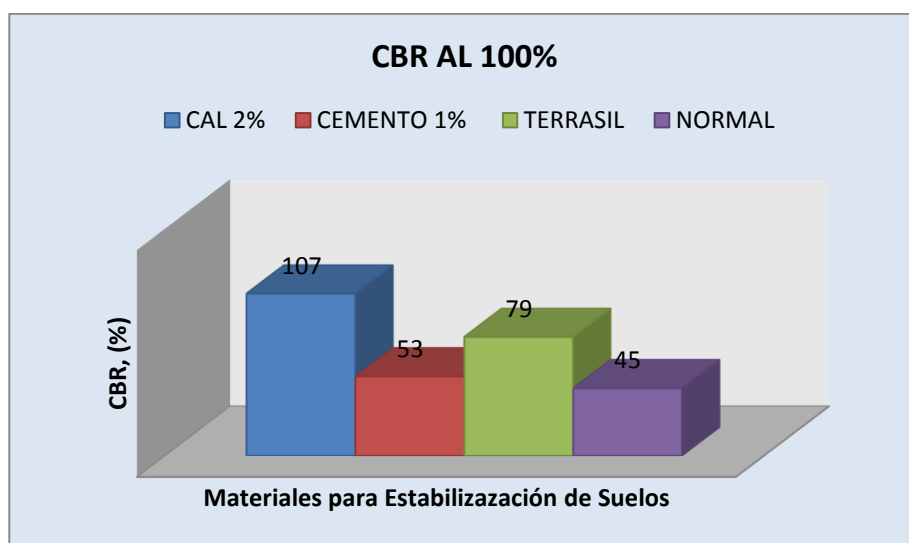


Figura 3.58: Comparación de los materiales estabilizantes en función del CBR al 100%.

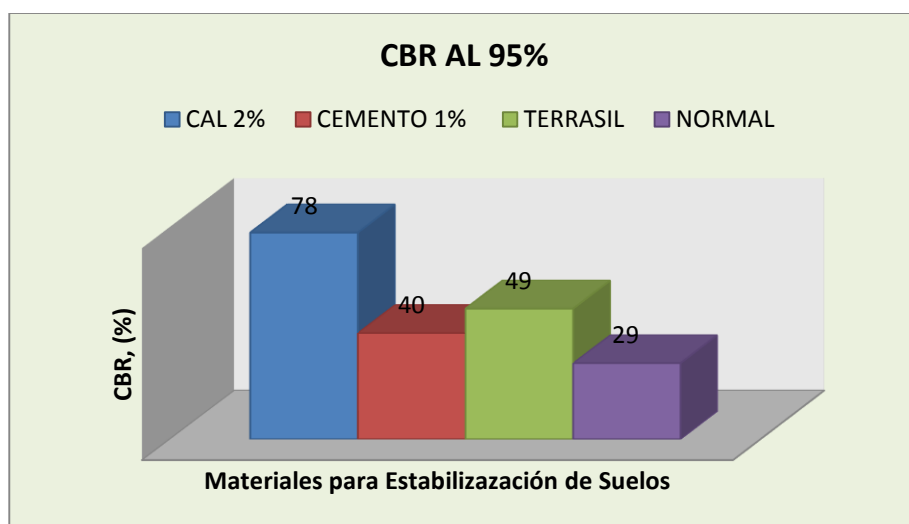


Figura 3.59: Comparación de los materiales estabilizantes en función del CBR al 95%.

Nota: Como se puede observar la mejor opción para el caso de un CBR en un suelo limo arenoso es la cal, por sus propiedades naturales que reaccionan y se acoplan de mejor manera a un suelo limoso, pero en el caso de la impermeabilidad es mejor la estabilización con órgano-silanos.

CAPITULO IV

ENSAYOS EN LIMO ORGÁNICO ARENOSO



Figura 4.1: Muestra de Suelo de Tipo Limo Orgánico Arenoso

4.1. Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM C-136)



Figura 4.2: Ensayo granulométrico del Suelo

Los tamices utilizados para el ensayo granulométrico son los siguientes:

Tabla 4.1: Cuadro de resultados de la granulometría

GRANULOMETRÍA				
Tamiz	RETENIDO			PASA
#	Parcial	Total	%	%
1 "	0	0	0,0%	100%
3/4"	0	0	0,0%	100%
1/2"	0	0	0,0%	100%
3/8"	0	0	0,0%	100%
Nº 4	2,48	2,48	0,9%	99%
Nº10	13,89	16,37	6,2%	94%
Nº 40	11,03	27,4	10,5%	90%
Nº 200	186	213,4	81,4%	19%
Pasa Nº 200	48,6			
			Total Húmedo	384,0
			Total Seco	262,0
PORCENTAJE DE GRAVA				1%
PORCENTAJE DE ARENA				80%
PORCENTAJE DE FINOS				19%

Éste suelo tiene un alto porcentaje de arena, como se puede observar en la tabla es del 80%, y predomina en la siguiente gráfica.

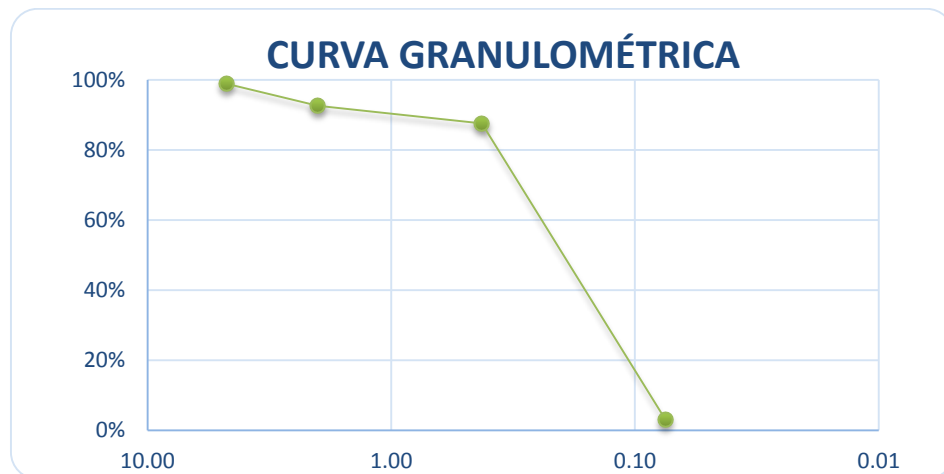


Figura 4.3: Curva Granulométrica del Suelo Tamizado

4.2. Equivalente de Arena



Figura 4.4: Ensayo de Equivalente de Arena en el Suelo

Después de realizar cuatro ensayos siguiendo el procedimiento debido de la norma ASTM D-2419 para éste ensayo, se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 4.2: Cuadro de resultados del ensayo de Equivalente de Arena en el Suelo

MUESTRA	H(Altura original de la arena antes de introducir el pistón)	h (Altura original de la arena después de introducir el pistón)	EQUIVALENTE DE ARENA (%)
1	7,4	1,2	16,22%
2	9,7	1,32	13,61%
3	9,7	1,2	12,37%
4	9,3	1,3	13,98%
PROMEDIO:			14,0%

El cuadro define el bajo porcentaje de arena en el material fino, lo que se puede observar que el 86% del material pasante del tamiz N°4, es material limoso (completamente fino).

4.3. Ensayos de Estabilización en Suelo Natural

4.3.1. Ensayos de Índice de Plasticidad para el suelo de Tipo Limo Orgánico Arenoso en Estado Natural.

Golpes #	Capsula #	PC+SH gr.	PC+SS gr.	P Cap gr.	Humedad %	
HUMEDAD NATURAL						
		300	181,74	164,18	121,54	41,18%
	PRI		85,88	67,77	24,79	42,14%
	B140		82,69	61,65	24,31	56,35%
LIMITE LÍQUIDO						
44	300	23,10	20,55	14,30	40,80%	
37	111	23,09	20,57	14,48	41,38%	
23	L	20,78	18,23	12,11	41,67%	
16	81	23,90	21,03	14,22	42,14%	

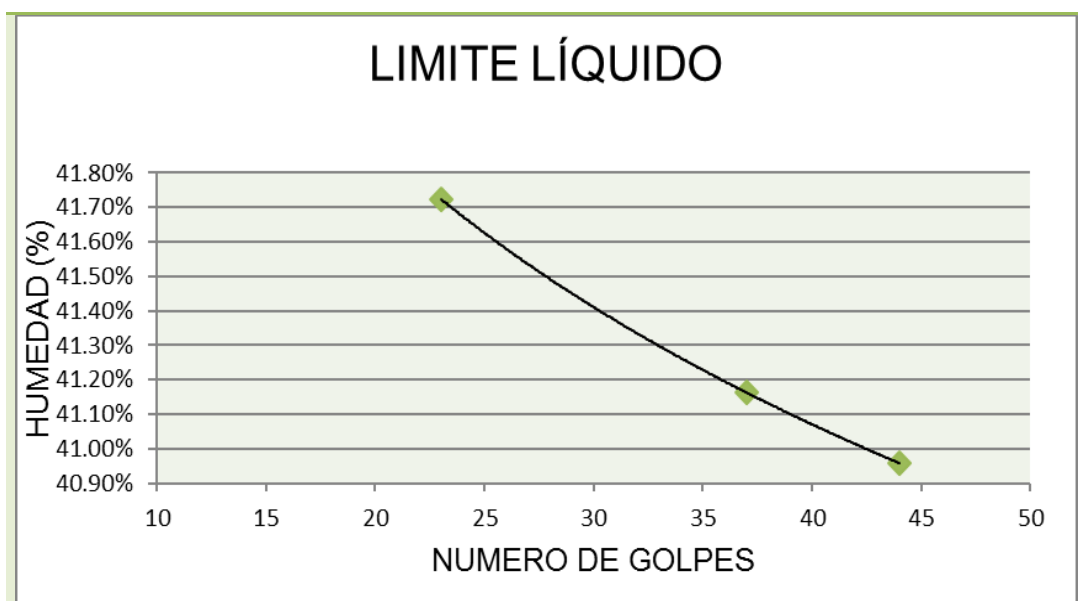


Figura 4.5: Gráfica de Porcentaje de Humedad vs Número de Golpes

LIMITE PLÁSTICO

J4	5,75	5,47	4,50	28,87%
96	7,91	7,64	6,63	26,73%
EA	7,10	6,86	5,98	27,27%

Tabla 4.3: Cuadro de resumen para definir la clasificación del Suelo

RESUMEN	
Límite Líquido	42%
Límite Plástico	28%
Índice de Plasticidad	14%
Humedad Natural	47%
Clasificación SUCS	OL

El Índice de Plasticidad de éste suelo es bajo por lo tanto para estabilizar éste suelo no se va a tener altos porcentajes de material estabilizante.

4.3.2. Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422)

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD							
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	PESO INICIAL DE LA MUESTRA			
5	25	11 lb	18"	2001 g			
MUESTRA >>>		1	2	3			
Molde No.	M3						
Peso suelo húmedo + molde	A	6036		6098	6048		
Peso del molde	B	4264		4264	4264		
Peso suelo húmedo	C=A-B	1772		1834	1784		
Volúmen del molde	D	939		939	939		
Densidad húmeda	E=C/D	1.89		1.95	1.90		
Tarro No.		j61	16	68	ok	nb35	d53
Tarro + suelo húmedo	F	182.40	173.60	178.90	176.30	194.50	200.20
Tarro + suelo seco	G	170.95	163.95	166.82	164.93	177.75	182.61
Peso de agua	H=F-G	11.45	9.65	12.08	11.37	16.75	17.59
Peso del tarro	I	121.20	121.50	119.80	119.80	119.90	121.30
Peso del suelo seco	J=G-I	49.75	42.45	47.02	45.13	57.85	61.31
Contenido de agua	K=H/J	23.02%	22.73%	25.69%	25.19%	28.95%	28.69%
Contenido promedio	L	22.87%		25.44%	28.82%		
Densidad seca	M	1.536		1.557	1.475		

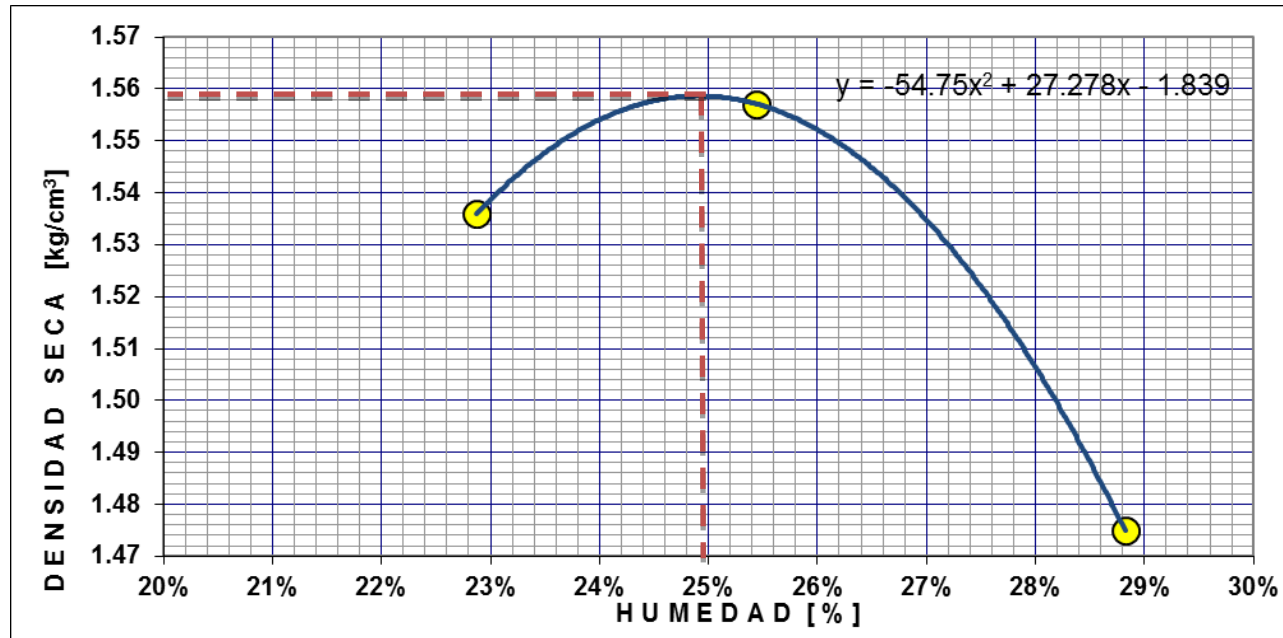


Figura 4.6: Gráfica de Próctor para obtener la Humedad óptima

Densidad Máxima:	1,559	g/cm³	Humedad óptima:	24,91%
-----------------------------	--------------	-------------------------	----------------------------	---------------

La Humedad óptima del suelo de tipo limo orgánico arenoso para obtener la compactación máxima es del 24.91%.

4.3.3. Ensayo de CBR (ASTM D-1883)

AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA (CBR)			ASTM - D 1883		
MOLDE		1A2			3M564		PA4
NUMERO		12			25		56
No. DE CAPAS							
No. DE GOPES POR CAPA							
CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE	g	11202	11427	11536	11642	11753	11729
PESO MOLDE	g	7127	7127	7180	7180	7166	7166
PESO MUESTRA HUMEDA	g	4075	4300	4356	4462	4587	4563
VOLUMEN DE LA MUESTRA CTE	cm ³	2325	2327.0 1	2325	2325.1 4	2325	2325.1 4
PESO UNITARIO HUMEDO	g/cm ³	1.753	1.848	1.873	1.919	1.973	1.962
PESO UNITARIO SECO	g/cm ³	1.424	1.388	1.505	1.486	1.973	1.516

Siguiete →

CONTENIDO DE AGUA		ARRIB A	ABAJO E23	ARRIB A	ABAJ O	ARRIB A	ABAJO DK	ARRIB A	ABAJ O	ARRIB A	ABAJO 11	ARRIB A	ABAJ O
CAPSULA	Nº	B1	E23	14	201	P	DK	70	110	PR	11	NB35	M21
PESO DE LA CAPSULA	g	121.5	121.8	122.3	118.3	122.2	119.7	118.3	120.9	121.3	122.0	119.9	121.6
PESO DE MUESTRA HUMEDA + CAP.	g	178.7	187.9	210.7	196.8	178.7	169.6	204.8	190.5	0.0	0.0	206.5	183.9
PESO DE MUESTRA SECA + CAP.	g	168.0	175.5	188.0	177.9	168.3	159.2	185.4	174.7	0.0	0.0	185.6	170.6
HUMEDAD	%	23.01	23.09	34.55	31.71	22.56	26.33	28.91	29.37	0.00	0.00	31.81	27.14
PROMEDIO DE HUMEDAD	%		23.05		33.13		24.44		29.14		0.00		29.48

DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA	TIEMPO	MOL. N°	1A2	H (cm) =	12.7	MOL. N°	3M564	H (cm) =	12.7	MOL. N°	PA4	H (cm) =	12.7
HORA S	EN DIAS	DIAL		ESPONJAMIENTO	DIAL	ESPONJAMIENTO		DIAL	ESPONJAMIENTO	DIAL		ESPONJAMIENTO	
	0	163	0	0.00	228	0	0.00	429	0	0.00			
	1	165	2	0.04	228	0	0.00	425	-4	-0.08			
	2	167	4	0.08	228	0	0.00	420	-9	-0.18			

DATOS DE PENETRACION

CONSTANTE ANILLO

0.0109819X

CI063

Siguiete →

PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS	MOLDE N° 1A2			MOLDE N° 3M564			MOLDE N° PA4		
	TIPO	CARGA DE		CBR	CARGA DE		CBR	CARGA DE		CBR
		ENSAYO		CORREGIDO	ENSAYO		CORREGIDO	ENSAYO		CORREGIDO
	lbs/pul g ²	dial	lbs/pul g ²	%	dial	lbs/pul g ²	%	dial	lbs/pul g ²	%
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		14	11.52		57	46.89		91	74.86	
0.050		29	23.86		109	89.66		197	162.06	
0.075		48	39.49		131	107.76		223	183.44	
0.100	1000	71	58.41	5.8	156	128.33	12.8	242	199.07	19.9
0.200	1500	184	151.36	10.1	321	264.06	17.6	468	384.98	25.7
0.300		227	186.73		436	358.66		657	540.46	
0.400		250	205.65		528	434.34		771	634.24	
0.500		268	220.46		582	478.76		892	733.77	

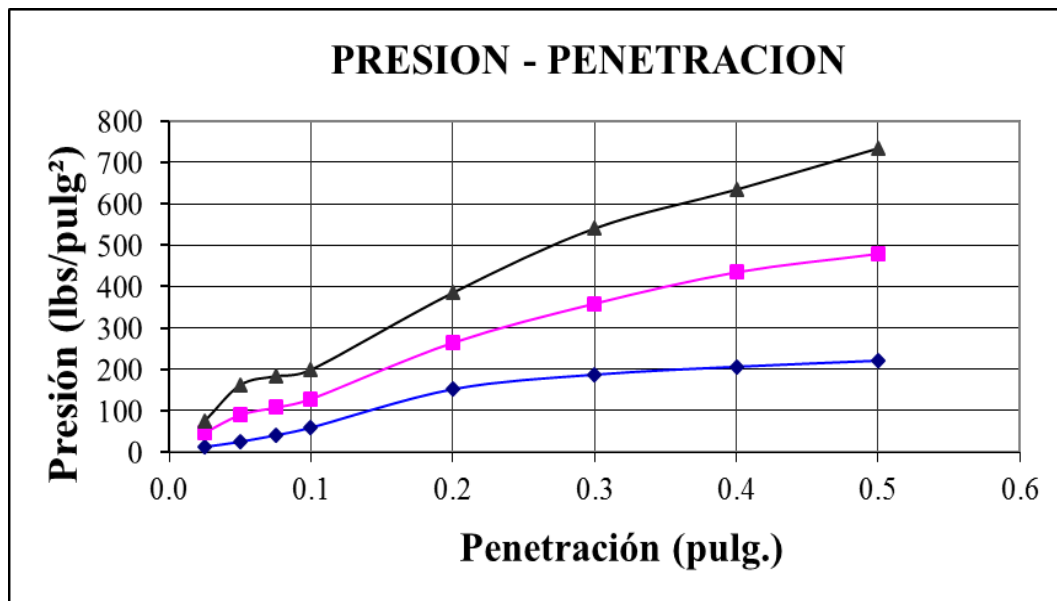


Figura 4.7: Gráfica Presión vs Penetración para CBR

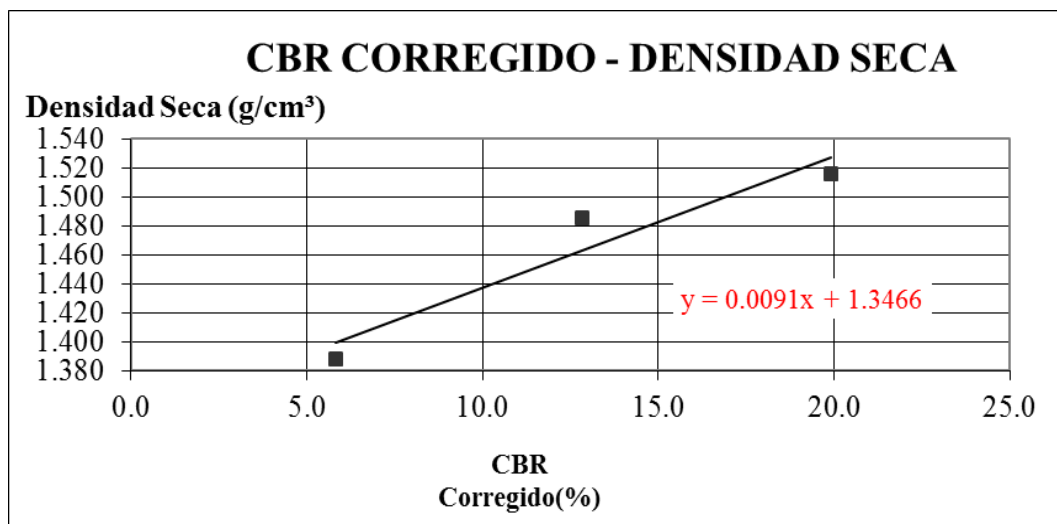


Figura 4.8: Gráfica Densidad Seca vs CBR Corregido

Tabla 4.4: Cuadro de CBR en función a la Densidad Máxima Seca

VALOR CBR		
DENSIDAD MÁXIMA	CBR	
%	%	
95	1481	14.7
100	1559	23.3

El CBR del suelo de tipo limo orgánico arenoso al 95% que es el que simula los datos reales de capacidad portante que tiene el suelo, es de 14.7%, que es un valor demasíadamente bajo para el diseño del micropavimento, y se procederá a realizar una estabilización con cal, cemento, emulsión asfáltica y órgano-silanos.

4.3.4. Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126)



Figura 4.8: Ensayo de Compresión en Suelo Normal

Tabla 4.5: Cuadro de valores de resistencia obtenidos de las probetas ensayadas

PROBETA	PESO		DIAS ROT.	H	Ds	Dm	Di	CARGA	DEF.	RESISTENCIA		TIPO FALLA
	HÚM	SECO		cm	cm	cm	cm	Kg	mm	Kg/cm ²	Kg/cm ²	
NJ1	217,28	193,39	28	8,82	4,12	4,11	4,24	99,92	0,84	5,16	5,43	VERT
NJ2	205,54	168,16	28	8,36	4,17	4,00	4,09	75,24	0,98	5,74	5,43	VERT
NJ3	199,88	183,26	14	8,65	4,12	4,08	4,08	31,43	0,45	2,37	2,37	VERT

La compresión del suelo sometido a su compactación máxima a los 28 días de curado se obtuvo una resistencia promedio entre las dos probetas de 5.43 Kg/cm².

4.3.5. Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273)

MATERIAL		NORMAL	
PROBETA		0%	
F. moldeo	02/10/2013		
F. inicio	02/10/2013		
hora inicio	9:00		
Húm %	26%		
P. Húm	285,45		
P. seco	226,91		
P 50%	256,18		
P. inicial	256,18		
Húm. Inic	13%		
Perd. %	13%		
TIEMPO	ASC. CAP	PESO	HÚM.
minutos	mm	gr	%
5	48	262,34	15,61%
10	59	264,43	16,54%
30	69	266,13	17,28%
60	91	267,41	17,85%
100	100	268,06	18,13%
150	100	270,43	19,18%
240	100	272,56	20,12%
480	100	276,34	21,78%
600	100	279,45	23,15%

Se puede apreciar que éste tipo de suelo por el alto contenido de granulometría fina (limos), es un materia permeable lo cual en 60 minutos tuvo un ascenso capilar total de la probeta.

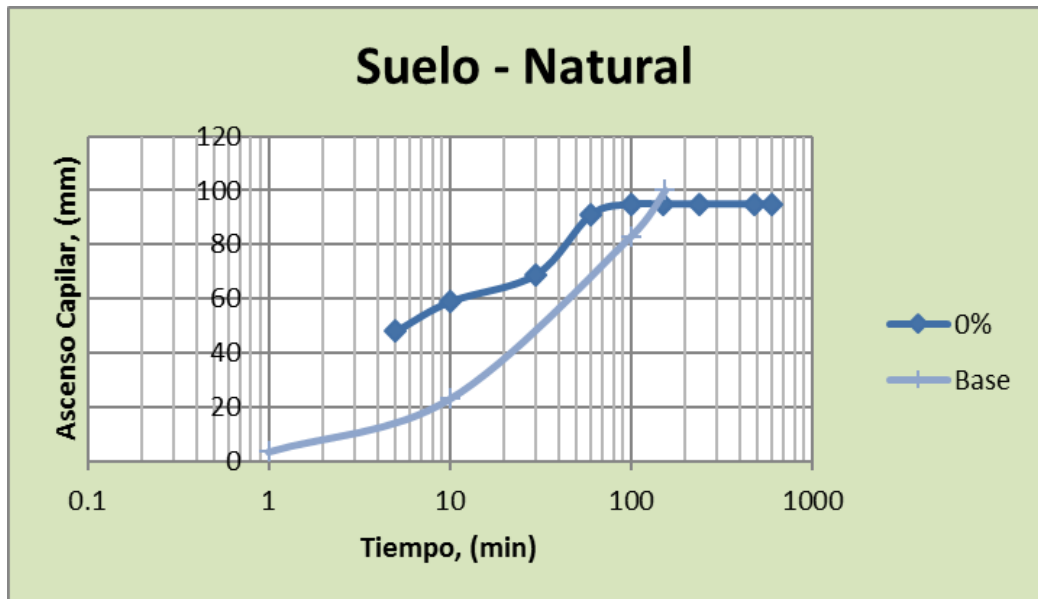


Figura 4.9: Gráfica de ascenso Capilar en función al tiempo

Por su grado de plasticidad la probeta no se deshace completamente, sino solamente la base, como se puede apreciar en el siguiente gráfico.



Figura 4.10: Probetas Ensayadas de Suelo Natural por Capilaridad

4.4. Estabilización del Suelo con Cemento

Para estabilizar el suelo de tipo limo orgánico arenoso se hizo algunos ensayos para determinar el porcentaje óptimo de cemento.



Figura 4.11: Suelo Mezclado con el 4% de Cemento

4.4.1. Ensayos de Índice de Plasticidad (ASTM D-4318) para el suelo de Tipo Limo Orgánico Arenoso Mezclado con el porcentaje óptimo de Cemento.



Figura 4.12: Ensayo de límite líquido



Figura 4.13: Ensayo de límite de plasticidad

Tabla 4.6: Cuadro de resultados para Ensayos de Índice de Plasticidad

Golpes	Capsula	PC+SH	PC+SS	P Cap	Humedad
#	#	gr.	gr.	gr.	%
HUMEDAD NATURAL					
	300	181.74	164.18	121.54	41.18%
	PRI	85.88	67.77	24.79	42.14%
	B140	82.69	61.65	24.31	56.35%
LIMITE LIQUIDO					
43	P06	25.38	22.27	13.98	37.52%
37	103	24.91	22.02	14.40	37.93%
28	81-1	23.60	20.99	14.36	39.37%
17	65	19.38	16.90	11.16	43.21%

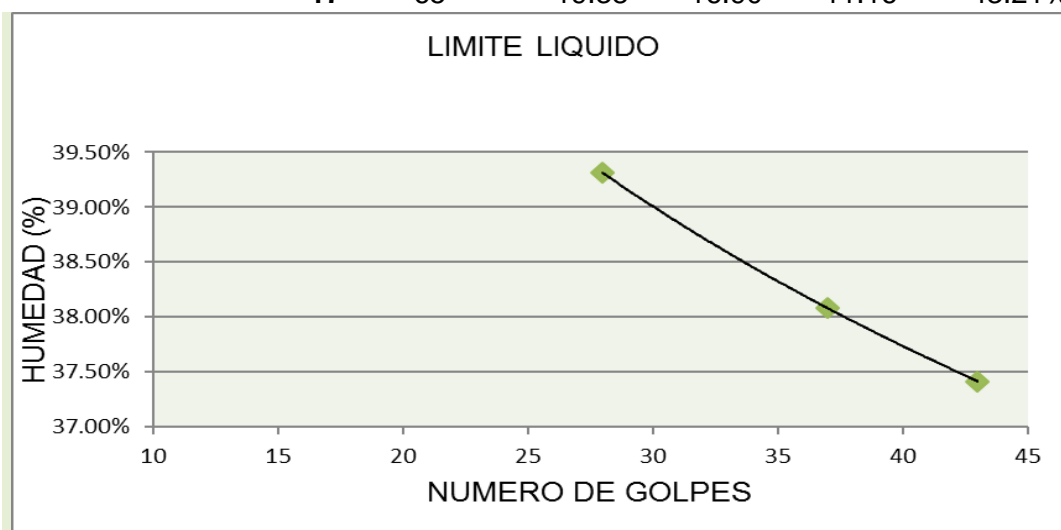


Figura 4.14: Gráfica de humedad vs Número de Golpes

Siguiente →

LIMITE PLÁSTICO					
	61	6.02	5.78	4.97	29.63%
	H	7.46	7.23	6.48	30.67%
	31	7.03	6.83	6.18	30.77%

Tabla 4.7: Cuadro de Resumen para Índice de Plasticidad

RESUMEN	
Limite Liquido	40%
Limite Plástico	30%
Índice de Plasticidad	9%

Por lo tanto el Suelo se encuentra estabilizado ya que se obtuvo un Índice de Plasticidad del 0%.

4.4.2. Ensayo de Próctor Modificado para Suelo Limo Orgánico Arenoso mezclado con Cemento (ASTM D-422).

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD									
	No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	PESO INICIAL DE LA MUESTRA				
	5	25	11 lb	18"	2174 g				
MUESTRA >>>			1	2	3	4			
Peso suelo húmedo + molde	A		5812	6071	6112	6108			
Peso del molde	B		4260	4260	4259	4259			
Peso suelo húmedo	C=A-B		1552	1811	1853	1849			
Volúmen del molde	D		939	939	939	939			
Densidad húmeda	E=C/D		1.65	1.93	1.97	1.97			
Tarro No.		C5	C7	B79	F6	75RP	4	A44	78
Tarro + suelo húmedo	F	51.34	63.33	47.30	41.70	54.20	51.80	62.60	76.70
Tarro + suelo seco	G	46.50	56.50	41.50	36.50	46.60	45.00	52.50	64.10
Peso de agua	H=F-G	4.84	6.83	5.80	5.20	7.60	6.80	10.10	12.60
Peso del tarro	I	16.71	17.12	14.50	10.50	13.30	13.80	13.70	14.60
Peso del suelo seco	J=G-I	29.79	39.38	27.00	26.00	33.30	31.20	38.80	49.50
Contenido de agua	K=H/J	16.25%	17.34%	21.48%	20.00%	22.82%	21.79%	26.03%	25.45%
Contenido promedio	L	16.80%		20.74%		22.31%		25.74%	
Densidad seca	M	1.416		1.598		1.614		1.566	

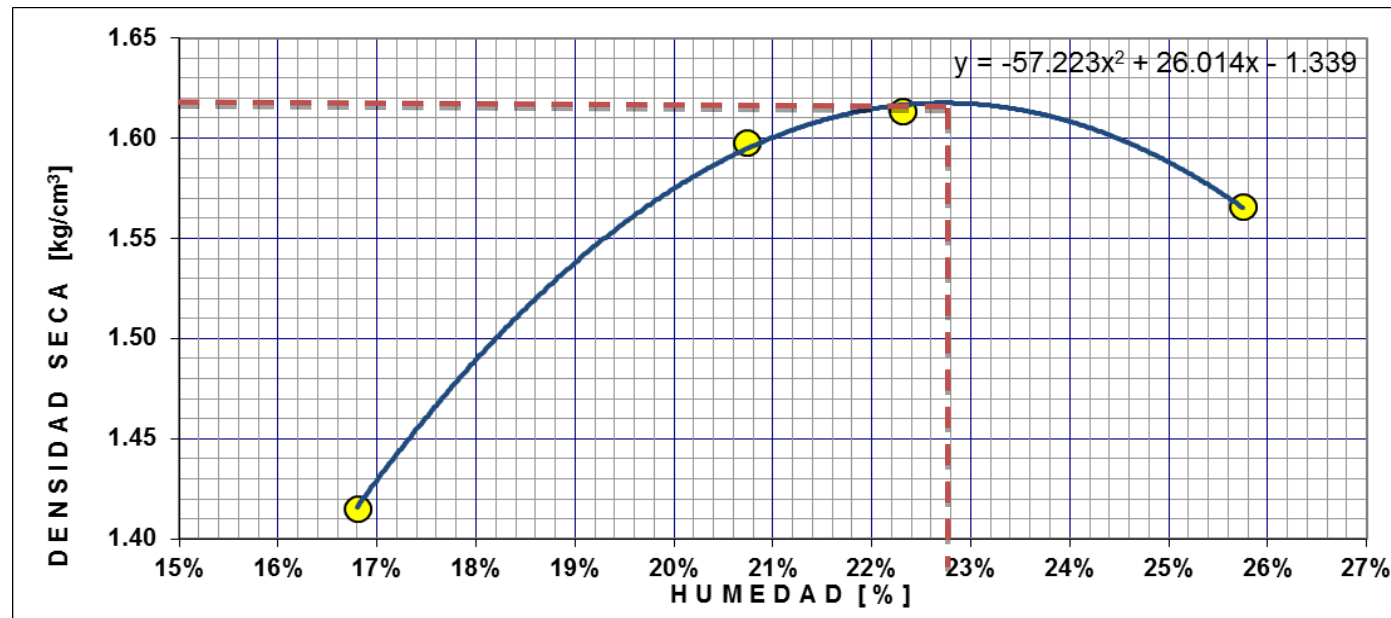


Figura 4.15: Gráfica Densidad Seca vs Humedad para definir la Humedad Óptima del Suelo

Densidad Máxima:	1,618 g/cm³	Humedad óptima:	22.73%
-----------------------------	-------------------------------	----------------------------	---------------

La mezcla del suelo de tipo limo arenoso con el 1% de cemento, se obtuvo una humedad óptima del 22.73%, la cual ayuda a que el suelo estabilizado llegue a tener una compactación máxima.

4.4.3. Ensayo de CBR (ASTM D-1883)

		AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA (CBR)				ASTM - D 1883			
				ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.					
MOLDE NUMERO				1B			2	J4			
No. DE CAPAS				5			5	5			
No. DE GOLPES POR CAPA				12			25	56			
CONDICIONES DE LA MUESTRA				ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.	
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE		g	11346		11556	11468		11566	11710		12012
PESO MOLDE		g	7260		7260	7104		7104	7158		7158
PESO MUESTRA HUMEDA		g	4086		4296	4364		4462	4552		4854
VOLUMEN DE LA MUESTRA CTE		cm ³	2325		2327.0	2325		2325.1	2325		2325.1
PESO UNITARIO HUMEDO		g/cm ₃	1.757		1.846	1.877		1.919	1.958		2.088
PESO UNITARIO SECO		g/cm ₃	1.466		1.439	1.567		1.523	1.641		1.675

Siguiete →

CONTENIDO DE AGUA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
		A		A	O	A		A	O	A		A	O
CAPSULA	Nº	520	ADD	36	EMD	M1	B2	118	P40	188M	AB0	54	309
PESO DE LA CAPSULA	g	121.6	119.5	14.1	11.3	122.1	121.5	11.7	12.4	122.3	118.3	11.6	11.2
PESO DE MUESTRA HUMEDA + CAP.	g	170.8	183.4	57.3	45.5	179.6	184.9	49.3	49.7	176.0	174.0	44.3	37.7
PESO DE MUESTRA SECA + CAP.	g	162.7	172.8	47.8	37.9	170.2	174.4	41.5	42.0	167.3	165.0	38.3	32.1
HUMEDAD	%	19.77	19.93	28.19	28.38	19.62	19.94	26.01	26.06	19.33	19.30	22.61	26.67
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	19.85		28.28		19.78		26.03		19.32		24.64	

DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA	TIEMPO	MOL. Nº	1B	H (cm)	12.7	MOL. Nº	2	H (cm)	12.7	MOL. Nº	J4	H (cm)	12.7
HORA	EN DIAS		DIAL	=	ESPONJAMIENTO	DIAL		=	ESPONJAMIENTO	DIAL		=	ESPONJAMIENTO
	0	163	0	0.00		228	0	0.00		429	0	0.00	
	1	165	2	0.04		228	0	0.00		425	-4	-0.08	
	2	167	4	0.08		228	0	0.00		420	-9	-0.18	

DATOS DE PENETRACION
CONSTANTE ANILLOCI063
0.0407117X

Siguiete →

PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS	MOLDE N° 1B			MOLDE N° 2			MOLDE N° J4		
	TIPO	CARGA DE		CBR	CARGA DE		CBR	CARGA DE		CBR
		ENSAYO		CORREGIDO	ENSAYO		CORREGIDO	ENSAYO		CORREGIDO
	lbs/pul g ²	dial	lbs/pul g ²	%	dial	lbs/pul g ²	%	dial	lbs/pul g ²	%
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		31	94.54		58	176.87		78	237.8	
0.050		59	179.92		121	369.00		182	555.0	
0.075		75	228.72		164	500.13		252	768.4	
0.100	1000	89	271.41	27.1	200	609.91	61.0	312	951.4	95.1
0.200	1500	131	399.49	26.6	280	853.88	56.9	421	1283.8	85.6
0.300		159	484.88		326	994.16		512	1561.3	
0.400		180	548.92		378	1152.7		591	1802.2	
0.500		212	646.51		412	1256.4		661	2015.7	

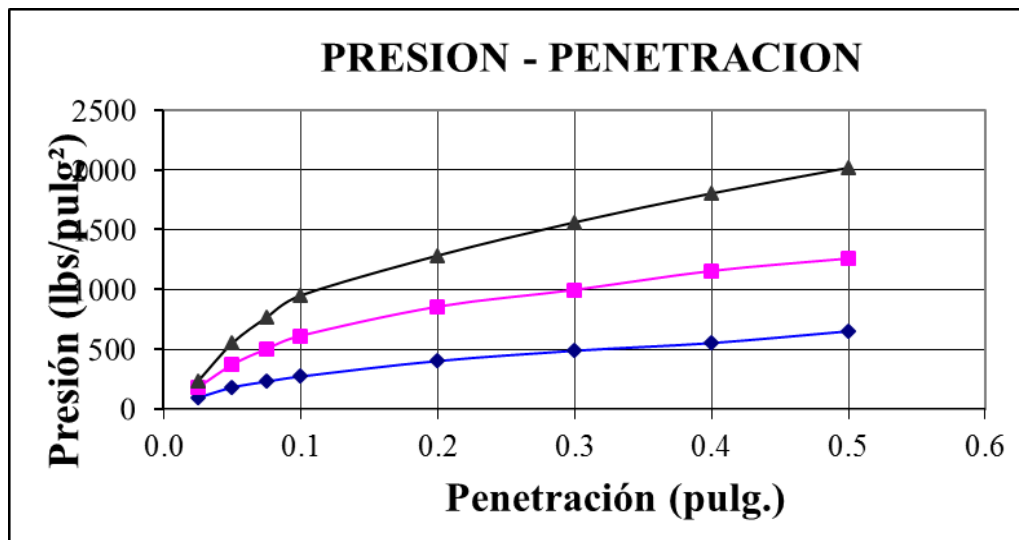


Figura 4.16: Gráfica Presión vs Penetración para CBR

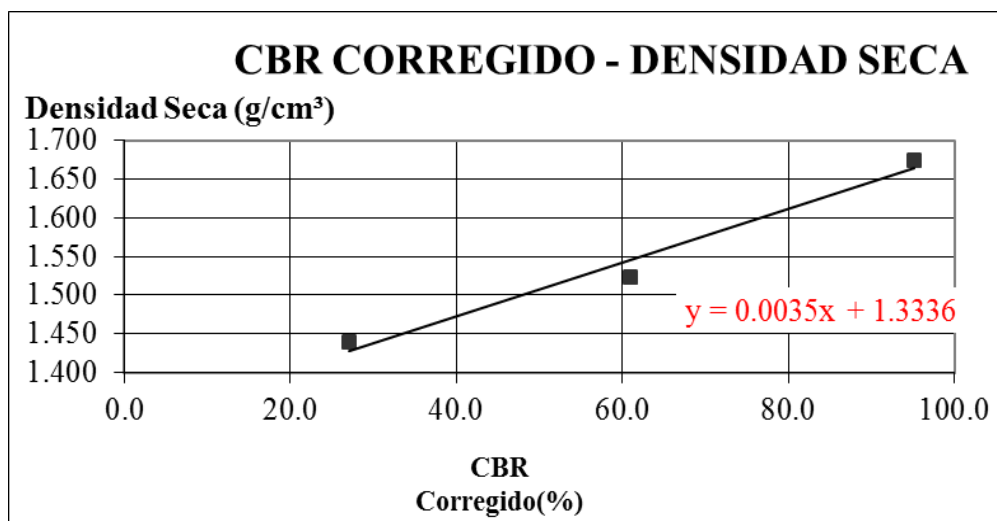


Figura 4.17: Gráfica Densidad seca vs CBR Corregido

Tabla 4.8: Cuadro de CBR en función de la Densidad Máxima Seca

VALOR CBR		
DENSIDAD MAXIMA	CBR	
%	%	%
95	1537	58.0
100	1618	81.1

Estabilizando el suelo con cemento pudimos subir el CBR al 95% del limo orgánico arenoso del 14.7% del suelo normal al 58.0% que es el CBR del suelo estabilizado.

4.4.4. Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126)



Figura 4.18: Ensayo de Compresión en Suelo – Cemento

Tabla 4.9: Cuadro de Resultados de resistencia a la compresión para las probetas ensayadas

PROBETA	%	PESO		DIAS ROT	H cm	Ds cm	Dm cm	Di cm	CARGA Kg	DEF. mm	RESISTENCIA		TIPO FALLA
		HUM	SECO								Kg/cm ²	Kg/cm ²	
IJ1	1	277.1	232.5	28	9.03	4.3	4.5	4.3	272.00	1.45	17.81		VERT
IJ3	1	289.8	242.1	28	9.17	4.5	4.5	4.6	263.08	1.45	16.06	18.75	VERT
IJ4	1	326.1	273.0	28	9.54	4.7	4.8	4.7	371.16	1.63	20.65		VERT
IJ5	1	288.2	241.8	28	9.56	4.4	4.3	4.4	311.20	2.03	20.47		VERT
IJ6	1	190.0	159.3	14	6.82	4.7	4.6	4.6	177.10	1.52	10.41	10.41	VERT
IJ1	3	289.5	244.8	28	9.50	4.3	4.4	4.4	237.58	1.52	15.60		VERT
IJ2	3	285.0	241.9	28	9.18	4.4	4.6	4.5	336.00	1.42	20.82	19.13	VERT
IJ3	3	325.8	275.6	28	9.34	4.7	4.8	4.8	363.02	1.88	20.01		VERT
IJ5	3	250.2	210.9	28	8.50	4.4	4.6	4.5	324.15	1.52	20.11		VERT
IJ6	3	226.0	191.3	14	7.01	4.5	4.5	4.6	178.86	1.14	10.95	10.95	VERT

IJ1	4	292.9	245.5	28	9.94	4.6	4.3	4.5	445.80	2.49	28.16	28.16	VERT
IJ2	4	251.4	211.2	14	9.33	4.4	4.5	4.6	244.76	1.78	15.19	15.19	VERT
IJ2	5	333.5	285.2	14	9.66	4.8	4.7	4.8	246.00	1.60	13.50	13.50	VERT
IJ3	5	316.9	269.5	28	10.0	4.9	4.7	4.8	383.40	1.35	20.70		VERT
IJ4	5	316.4	269.7	28	9.74	4.6	4.8	4.7	434.40	1.63	24.72		VERT
IJ5	5	302.5	257.1	28	9.76	4.6	4.6	4.5	337.50	1.60	20.34	21.84	VERT
IJ6	5	307.1	261.4	28	9.78	4.7	4.9	4.8	394.62	1.47	21.60		VERT

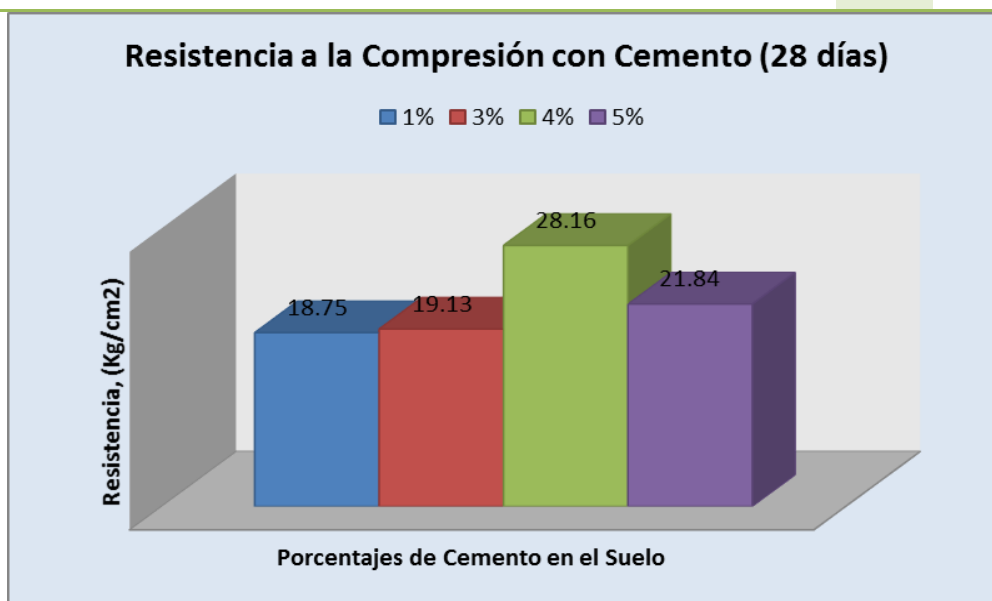


Figura 4.19: Gráfico de Resistencia a la compresión a los 28 días para cada porcentaje de Cemento en el Suelo

El porcentaje óptimo de cemento para la resistencia a la compresión alta a los 28 y 14 días, fue la del 4%, cuyos valores son de 28.16Kg/cm² y 15.19Kg/cm² respectivamente, cuyos valores son admisibles para el paso de un tráfico.

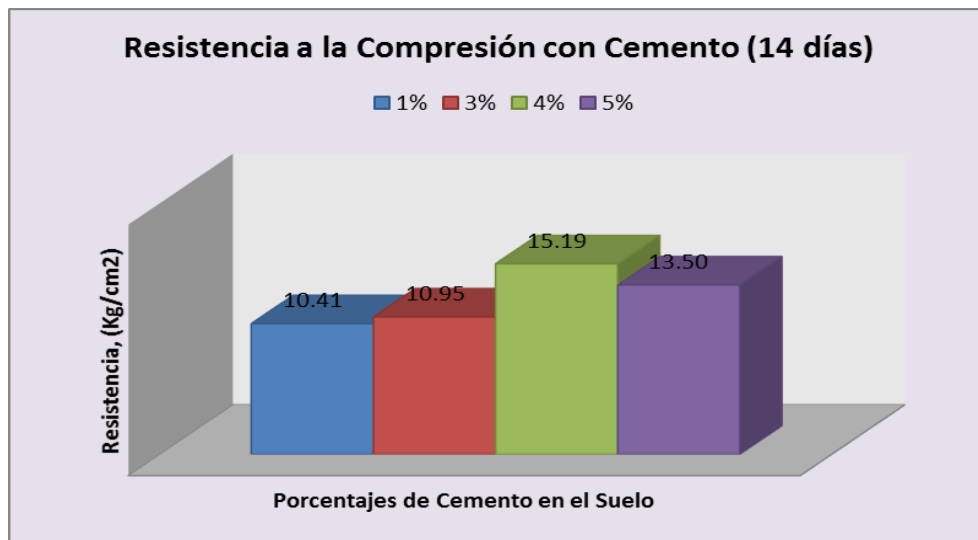


Figura 4.20: Gráfico de Resistencia a la compresión a los 14 días para cada porcentaje de Cemento en el Suelo

4.4.5. Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273)

MATERIAL				CEMENTO											
PROBETA				1%			3%			4%			5%		
F. moldeo				10/2/2013			10/2/2013			10/2/2013			10/2/2013		
F. inicio				10/2/2013			10/2/2013			10/2/2013			10/2/2013		
hora inicio				9:00			9:00			9:00			9:00		
hum %				30%			29%			27%			27%		
P. hum				283.01			314.96			276.35			282.24		
P. seco				218.11			244.12			217.53			222.90		
P 50%				250.56			279.54			246.94			252.57		
P. inicial				250.56			279.54			246.94			252.57		
Hum. Inic				15%			15%			14%			13%		
Perd. %				15%			15%			14%			13%		
TIEMPO	ASC. CAP	PESO	HUM.	ASC. CAP	PESO	HUM.	ASC. CAP	PESO	HUM.	ASC. CAP	PESO	HUM.			
minutos	mm	gr	%	mm	gr	%	mm	gr	%	mm	gr	%			
5	50	262.33	20.27%	50	292.75	19.92%	44	257.59	18.42%	45	266.31	19.48%			
10	59	266.19	22.04%	60	297.10	21.70%	49	261.10	20.03%	50	268.48	20.45%			
30	69	271.15	24.32%	71	302.35	23.85%	58	265.25	21.94%	57	271.77	21.92%			
60	82	277.04	27.02%	80	308.90	26.54%	68	270.78	24.48%	69	276.03	23.84%			
100	89	281.94	29.27%	88	313.19	28.29%	75	274.36	26.13%	74	278.74	25.05%			
150	100	283.03	29.76%	98	317.47	30.05%	81	277.65	27.64%	83	282.12	26.57%			
240	100	285.56	30.92%	100	318.04	30.28%	100	278.34	27.95%	91	286.99	28.75%			
480	100	286.78	31.48%	100	319.24	30.77%	100	279.98	28.71%	100	288.25	29.32%			
600	100	288.09	32.08%	100	321.08	31.53%	100	281.43	29.38%	100	290.44	30.30%			

La mezcla de suelo con cemento también se mantiene permeable, la cual el agua por capilaridad toma mucho más tiempo en subir por la probeta.



Figura 4.21: Probetas de Suelo-Cemento ensayadas por Capilaridad

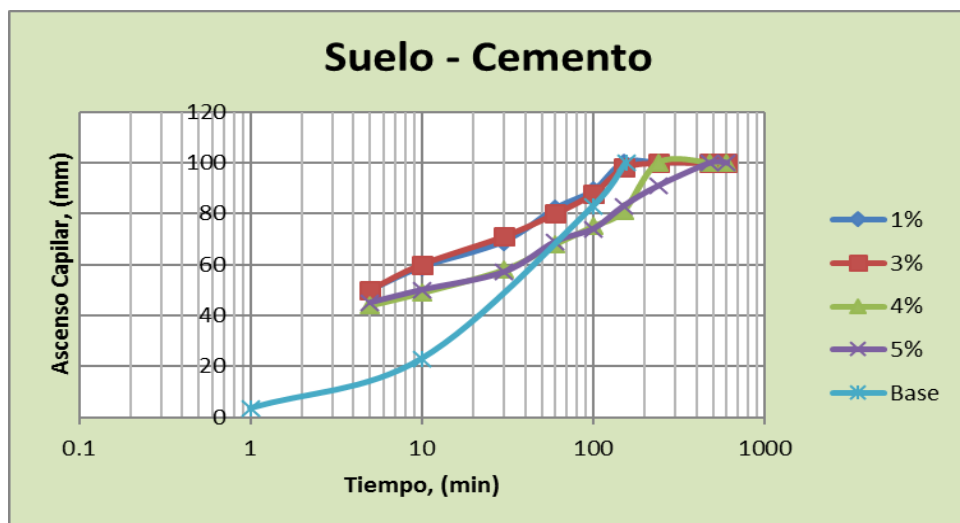


Figura 4.22: Gráfica de Ascenso Capilar para cada porcentaje de Suelo-Cemento en función del Tiempo

En la gráfica que se presenta se puede apreciar que la línea verde (4% de cemento), se acerca más a la curva celeste y la púrpura también, lo que se

puedo dar cuenta es que a mayor cantidad de cemento en el suelo se demora más en subir el agua por capilaridad.

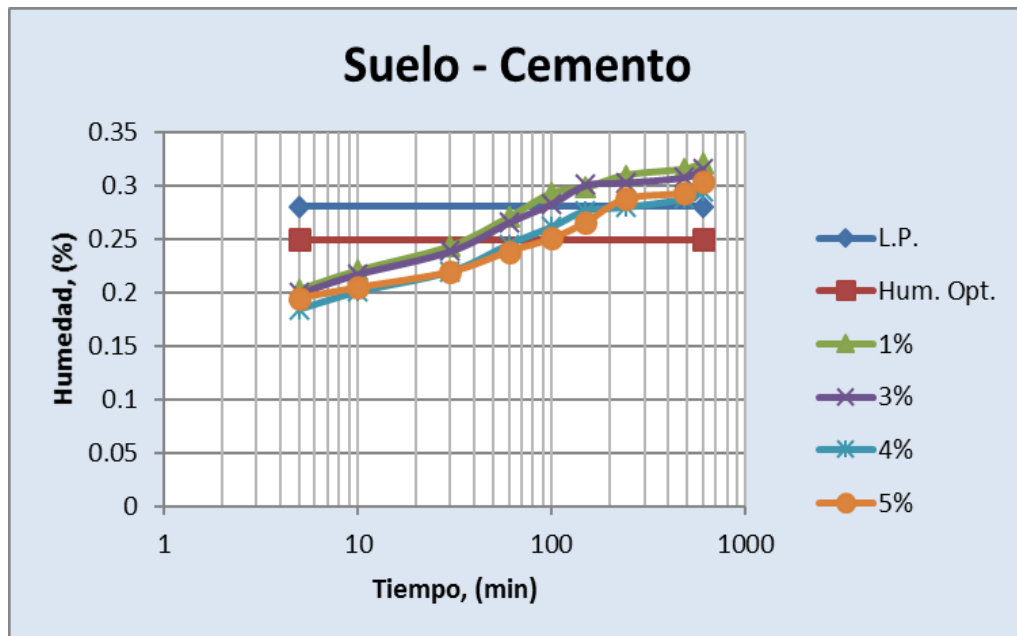


Figura 4.23: Gráfica de aumento de humedad para cada porcentaje de Suelo-Cemento en función del Suelo

En la gráfica se puede apreciar que los valores de humedad después de los 30 minutos el suelo-cemento obtiene la humedad óptima y a los 150 minutos pasa el límite de plasticidad del suelo estabilizado.

4.5. Estabilización de Suelo con Cal

Para estabilizar el suelo de tipo limo arenoso se hizo algunos ensayos para determinar el porcentaje óptimo de cal.



Figura 4.24: Mezcla de Suelo con el 8% de Cal

4.5.1. Ensayos de Índice de Plasticidad (ASTM D-4318) para el suelo de Tipo Limo Orgánico Arenoso Mezclado con el porcentaje óptimo de Cal.

Golpes	Capsula	PC+SH	PC+SS	P Cap	Humedad
#	#	gr.	gr.	gr.	%
HUMEDAD NATURAL					
	300	181.74	164.18	121.54	41.18%
	PRI	85.88	67.77	24.79	42.14%
	B140	82.69	61.65	24.31	56.35%
LIMITE LIQUIDO					
45	81	23.87	21.09	14.20	40.35%
35	111	22.53	20.14	14.46	42.08%
24	47	21.82	19.48	13.98	42.55%
13	81-1	23.24	20.52	14.34	44.01%

Siguiete →

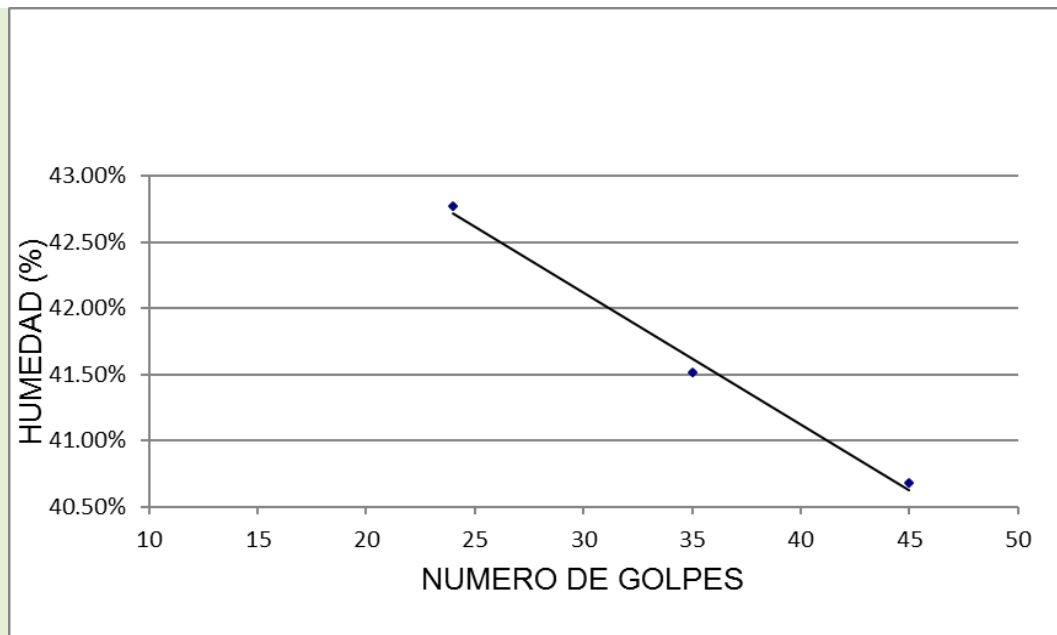


Figura 4.25: Gráfica Humedad vs Número de Golpes

LIMITE PLÁSTICO

76	6.87	6.67	6.01	30.30%
31	7.42	7.10	6.19	35.16%
E4	7.47	7.26	6.64	33.87%



Figura 4.26: Ensayo de límite líquido. Casa Grande



Figura 4.27: Ensayo de límite plástico

Tabla 4.10: Cuadro para el Índice de Plasticidad del Suelo-Cal

RESUMEN	
Límite Líquido	43%
Límite Plástico	33%
Índice de Plasticidad	10%
Humedad Natural	47%

Por lo tanto el suelo se encuentra estabilizado con el 4% de cal, obteniendo satisfactoriamente un índice de plasticidad de 10%, el mismo que es admisible para éste tipo de suelos.

4.5.2. Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422)

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD										
No. de Capas		Golpes por capa		Peso Martillo		Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA		
5		25		11 lb		18"		2489 g		
MUESTRA >>>				1		2		3		4
Molde No. M3										
Peso suelo húmedo + molde		A		4967		5118		5198		5104
Peso del molde		B		3330		3330		3330		3330
Peso suelo húmedo		C=A-B		1637		1788		1868		1774
Volúmen del molde		D		939		939		939		939
Densidad húmeda		E=C/D		1.74		1.90		1.99		1.89
Tarro No.		50		B79		73RP		F2		A36
Tarro + suelo húmedo		F		37.70		45.00		39.10		38.30
Tarro + suelo seco		G		34.36		40.71		35.04		34.08
Peso de agua		H=F-G		3.34		4.29		4.06		4.22
Peso del tarro		I		14.40		14.40		14.30		13.20
Peso del suelo seco		J=G-I		19.96		26.31		20.74		20.88
Contenido de agua		K=H/J		16.73%		16.31%		19.58%		20.21%
Contenido promedio		L		16.52%		19.89%		23.19%		27.43%
Densidad seca		M		1.496		1.588		1.615		1.483

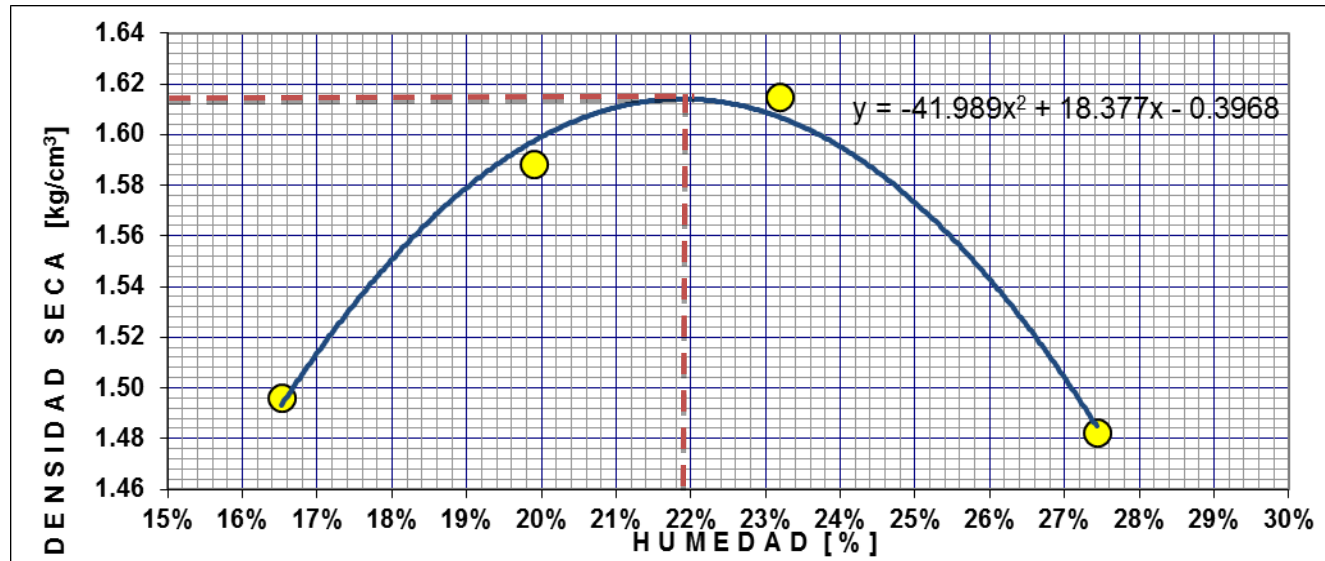


Figura 4.28: Gráfica de Próctor para obtener la humedad óptima para la compactación máxima

Densidad Máxima:	1,614 g/cm³	Humedad óptima:	21.88%
-----------------------------	--------------------	----------------------------	---------------

La humedad óptima para llegar a una compactación máxima del suelo estabilizado con cal fue del 21.88%.

4.5.3. Ensayo de CBR (ASTM D-1883)

AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA (CBR)				ASTM - D 1883	
MOLDE NUMERO		M3		JH		PH	
No. DE CAPAS		5		5		5	
No. DE GOLPES POR CAPA		12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE	g	10475	11087	10775	11289	11110	11546
PESO MOLDE	g	7107	7107	7165	7165	7260	7260
PESO MUESTRA HÚMEDA	g	3368	3980	3610	4124	3850	4286
VOLUMEN DE LA MUESTRA CTE	cm ³	2325	2328.4 0	2325	2326.0 8	2325	2327.4 7
PESO UNITARIO HUMEDO	g/c m ³	1.449	1.709	1.553	1.773	1.656	1.841
PESO UNITARIO SECO	g/c m ³	1.192	1.230	1.275	1.272	1.362	1.336

Siguiete →

CONTENIDO DE AGUA		ARRIB A	ABAJ O	ARRIB A	ABAJ O	ARRIB A	ABAJ O	ARRIB A	ABAJ O	ARRIB A	ABAJ O	ARRIB A	ABAJ O
CAPSUL A	Nº	NB35	14	64	6M	201	M2L	39	2H	16	J0	J32	3
PESO DE LA CAPSULA	g	119.9	122.3	122.2	121.2	118.4	121.6	118.2	121.9	121.4	118.3	120.2	122.1
PESO DE MUESTRA HUMEDA + CAP.	g	173.0	174.3	164.9	171.6	179.9	171.5	160.1	169.0	164.9	172.9	180.9	171.0
PESO DE MUESTRA SECA + CAP.	g	163.7	165.0	152.8	157.6	168.9	162.6	147.9	156.1	157.2	163.2	164.1	157.7
HUMEDAD D	%	21.23	21.78	39.54	38.46	21.78	21.71	41.08	37.72	21.51	21.60	38.27	37.36
PROMEDIO DE HUMEDAD	%		21.51		39.00		21.74		39.40		21.56		37.81

DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA	TIEMPO	MOL. Nº	M3	H (cm)	12.7	MOL. Nº	JH	H (cm)	12.7	MOL. Nº	PH	H (cm)	12.7
HORAS	EN DIAS		DIAL	=		DIAL		=		DIAL		=	
				ESPONJAMIENTO				ESPONJAMIENTO				ESPONJAMIENTO	
	0	410	0	0.00		529	0	0.00		250	0	0.00	
	1	413	3	0.06		530	1	0.02		252	2	0.04	
	2	417	7	0.14		531	2	0.04		255	5	0.10	

DATOS DE PENETRACION

CONSTANTE ANILLO

0.0109819X

CI066

Siguiete →

PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS	MOLDE N°			M3	MOLDE N°			JH	MOLDE N°		PH
	TIPO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO		
	lbs/pul g ²	dial	lbs/pul g ²	%	dial	lbs/pul g ²	%	dial	lbs/pul g ²	%		
0		0	0		0	0		0	0			
0.025		70	57.58		102	83.91		162	133.26			
0.050		105	86.37		175	143.96		251	206.48			
0.075		121	99.54		242	199.07		345	283.80			
0.100	1000	144	118.46	11.8	296	243.49	24.3	427	351.26	35.1		
0.200	1500	184	151.36	10.1	425	349.61	23.3	675	555.26	37.0		
0.300		219	180.15		519	426.94		782	643.28			
0.400		248	204.01		611	502.62		882	725.55			
0.500		280	230.33		704	579.12		993	816.86			

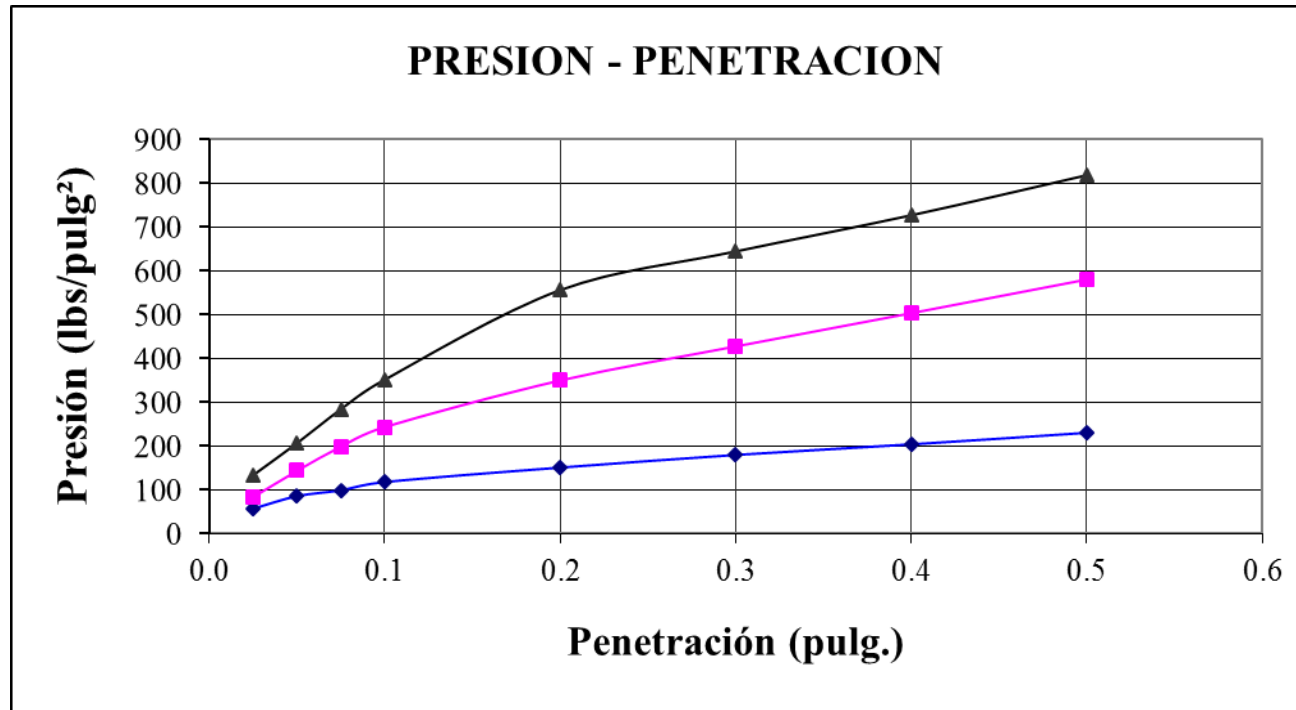


Figura 4.29: Gráfica de Presión vs Penetración para hallar el CBR del Suelo-Cal

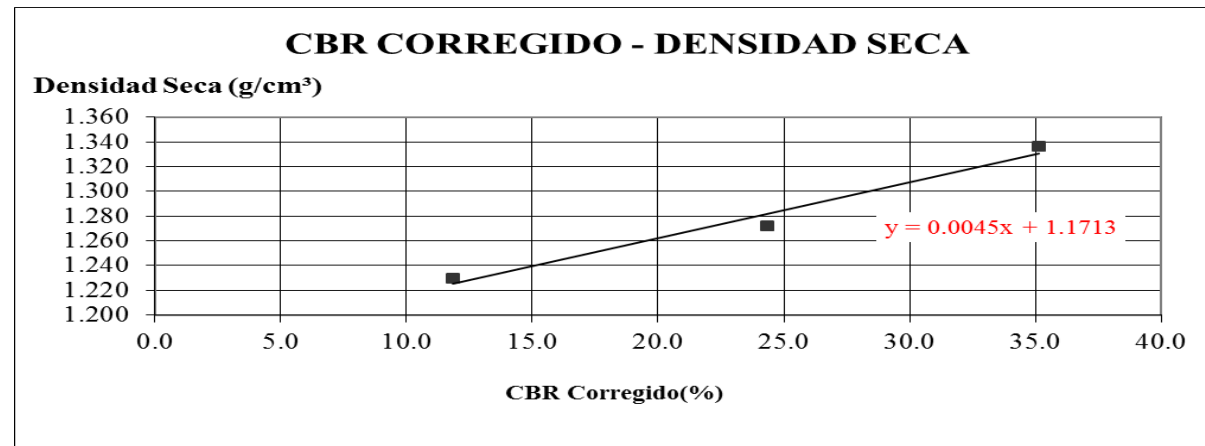


Figura 4.30: Gráfica Densidad Seca vs CBR Corregido

Tabla 4.11: Cuadro Resumen de CBR en Función de la Densidad Máxima del Suelo-Cal

VALOR CBR		
%	DENSIDAD MÁXIMA	CBR
%		%
95	1533	80.4
100	1614	98.4

El CBR del suelo estabilizado con cal es del 80.4%, lo cual brinda una capacidad portante del suelo muy grande, haciendo que se pueda colocar una capa de rodadura.

4.5.4. Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126)



Figura 4.31: Ensayo de Compresión en las Probetas de Suelo-Cal



Figura 4.32: Probetas Ensayadas y con Falla Vertical

Tabla 4.12: Cuadro de resultados obtenidos del ensayo de compresión y resistencias de las Probetas Suelo-Cal

PROB ETA	%	PESO		DIAS ROT	H cm	Ds cm	Dm cm	Di cm	CARGA Kg	DEF. mm	RESISTENCIA		TIPO FALLA
		HUM	SECO								Kg/cm2	Kg/cm2	
CJ1	1	328.18	277.46	14	9.72	4.72	4.77	4.95	199.86	2.29	10.98	10.98	VERTICAL
CJ3	1	307.22	258.21	28	9.40	4.65	4.55	4.61	334.46	2.54	20.10		VERTICAL
CJ4	1	284.34	238.73	28	9.35	4.45	4.40	4.50	318.10	2.54	20.45	18.19	VERTICAL
CJ5	1	292.49	245.92	28	9.00	4.50	4.60	4.60	306.92	2.29	18.74		VERTICAL
CJ6	1	275.52	232.18	28	9.35	4.70	4.50	4.35	216.18	2.49	13.49		VERTICAL
CJ1	3	328.17	288.14	14	9.76	4.87	4.83	4.80	204.75	1.78	11.16	11.16	VERTICAL
CJ2	3	287.61	234.31	28	9.10	4.69	4.71	4.71	325.28	1.52	18.72		VERTICAL
CJ3	3	275.51	232.50	28	9.69	4.61	4.85	4.60	284.50	2.29	16.49	15.81	VERTICAL
CJ4	3	287.75	243.07	28	9.00	4.55	4.70	4.57	220.24	1.52	13.21		VERTICAL
CJ6	3	203.70	171.96	28	7.40	4.30	4.20	4.28	211.08	1.14	14.81		VERTICAL
CJ1	5	331.31	285.49	14	9.28	4.88	4.79	4.71	318.96	1.70	11.41	11.41	VERTICAL
CJ2	5	344.96	292.45	28	10.05	4.62	4.84	4.75	364.04	1.78	20.66		VERTICAL
CJ3	5	319.19	270.51	28	9.76	4.90	4.95	4.85	215.16	1.14	17.68	18.25	VERTICAL
CJ4	5	321.61	272.66	28	9.60	4.72	4.78	4.89	315.10	1.22	17.44		VERTICAL
CJ5	5	318.08	269.39	28	9.72	4.62	4.90	4.53	296.76	1.47	17.23		VERTICAL
CJ1	7	252.28	214.94	14	9.17	4.30	4.31	4.32	328.15	1.47	11.26	11.26	VERTICAL
CJ2	7	246.59	209.32	28	9.00	4.45	4.47	4.40	174.36	1.14	22.49		VERTICAL
CJ3	7	291.39	247.51	28	9.22	4.61	4.93	4.18	282.46	1.27	17.19	18.49	VERTICAL
CJ4	7	273.32	232.31	28	9.22	4.43	4.65	4.55	255.10	1.07	15.74		VERTICAL
CJ5	7	283.09	241.04	28	9.22	4.69	4.68	4.52	312.48	0.89	18.56		VERTICAL
CJ2	8	316.93	266.45	14	10.08	4.92	4.94	4.89	302.86	1.57	15.95	15.95	VERTICAL
CJ3	8	331.77	277.42	28	9.69	4.68	4.65	4.56	481.96	1.42	28.63	28.63	VERTICAL
CJ2	9	304.77	261.92	14	9.29	4.82	4.75	4.81	219.82	1.73	12.18	12.18	VERTICAL
CJ3	9	318.77	272.27	28	10.22	4.90	4.90	4.92	232.48	1.57	12.29	12.29	VERTICAL

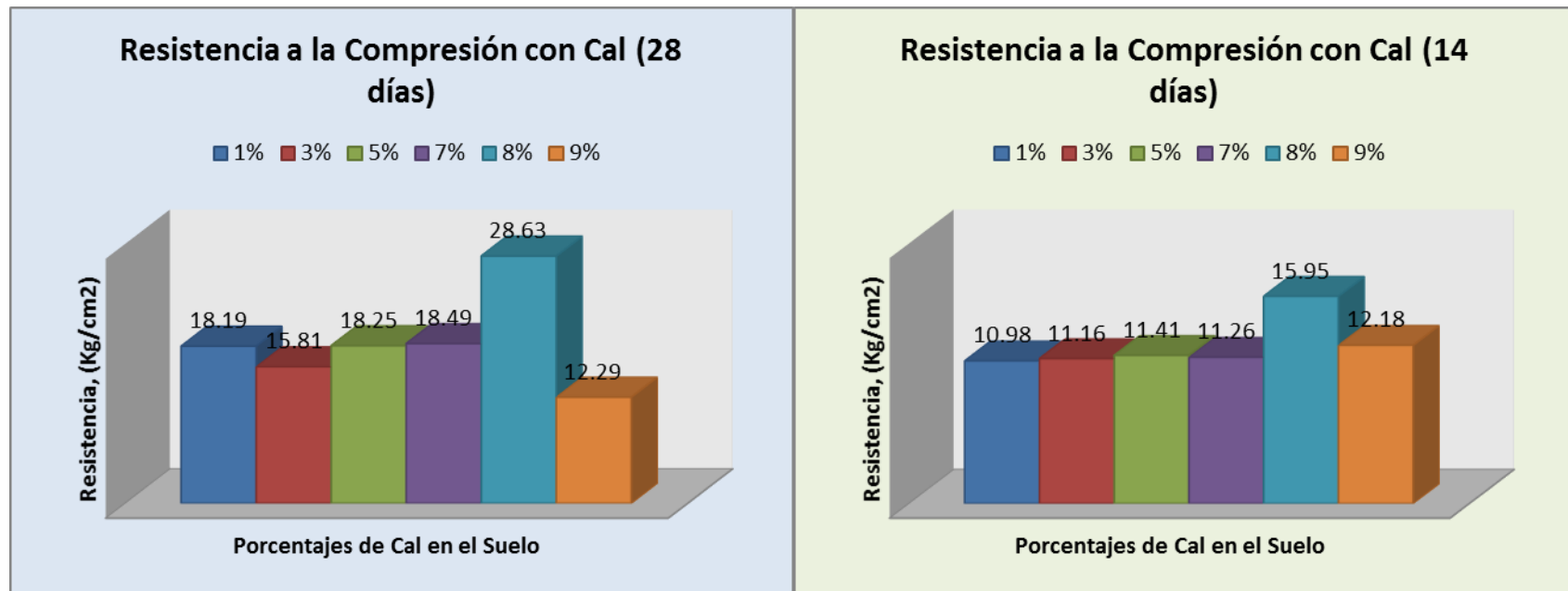


Figura 4.33: Gráficas de resistencias de las probetas de Suelo-Cal a los 28 y 14 días para cada porcentaje de cal

La resistencia a la compresión del suelo mezclado con el 8% de cal a los 14 como a los 28 días son bastante buenas, los mismos que permiten tener unos buenos resultados como subrasante, que fácilmente, podría actuar como sub-base. Pero hay que tener en cuenta que el porcentaje de cal que se ha venido trabajando en ésta investigación es del 4% lo que hace que el valor de la resistencia de diseño sería de 17.03Kg/cm² a los 28 días de curado.

4.5.5. Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273)

MATERIAL				CAL															
PROBETA	1%		3%		5%		7%		8%		9%								
F. moldeo	10/2/2013		10/2/2013		10/2/2013		10/2/2013		10/2/2013		10/2/2013								
F. inicio	10/2/2013		10/2/2013		10/2/2013		10/2/2013		10/2/2013		10/2/2013								
hora inicio	9:00		9:00		9:00		9:00		9:00		9:00								
hum %	26%		27%		27%		26%		27%		26%								
P. hum	283.48		290.24		310.42		254.99		330.01		326.42								
P. seco	225.40		228.24		244.84		202.27		259.75		258.88								
P 50%	254.44		259.24		277.63		228.63		294.88		292.65								
P. inicial	254.44		259.24		277.63		228.63		294.88		292.65								
Hum. Inic	13%		14%		13%		13%		14%		13%								
Perd. %	13%		14%		13%		13%		14%		13%								
TIEMPO	ASC. CAP	PESO	HUM.	ASC. CAP	PESO	HUM.	ASC. CAP	PESO	HUM.	ASC. CAP	PESO	HUM.	ASC. CAP	PESO	HUM.	ASC. CAP	PESO	HUM.	
minutos	mm	gr	%	mm	gr	%	mm	gr	%	mm	gr	%	mm	gr	%	mm	gr	%	
5	40	261.45	15.99%	43	269.06	17.88%	38	285.3	16.53%	35	235.12	16.24%	36	298.64	14.97%	40	303.85	17.37%	
10	48	263.43	16.87%	52	273.31	19.75%	47	288.61	17.88%	42	238.00	17.66%	39	301.4	16.03%	47	306.69	18.47%	
30	60	266.13	18.07%	63	278.28	21.92%	58	292.85	19.61%	53	241.60	19.44%	49	304.65	17.29%	52	310.09	19.78%	
60	72	267.41	18.64%	78	283.00	23.99%	70	296.92	21.27%	61	245.50	21.37%	57	307.99	18.57%	68	313.54	21.11%	
100	83	268.06	18.93%	84	287.76	26.08%	73	300.19	22.61%	69	248.28	22.75%	64	310.08	19.38%	72	316.08	22.10%	
150	90	270.43	19.98%	91	292.06	27.96%	82	303.48	23.95%	75	251.76	24.47%	67	312.35	20.25%	76	318.81	23.15%	
240	100	272.56	20.92%	94	293.50	28.59%	92	309.98	26.61%	85	258.17	27.64%	71	316.44	21.82%	87	323.96	25.14%	
480	100	277.34	23.04%	100	296.23	29.79%	98	313.11	27.88%	89	260.51	28.79%	76	318.24	22.52%	92	326.04	25.94%	
600	100	283.45	25.75%	100	297.76	30.46%	100	315.18	28.73%	100	263.48	30.26%	100	324.56	24.95%	100	329.15	27.14%	

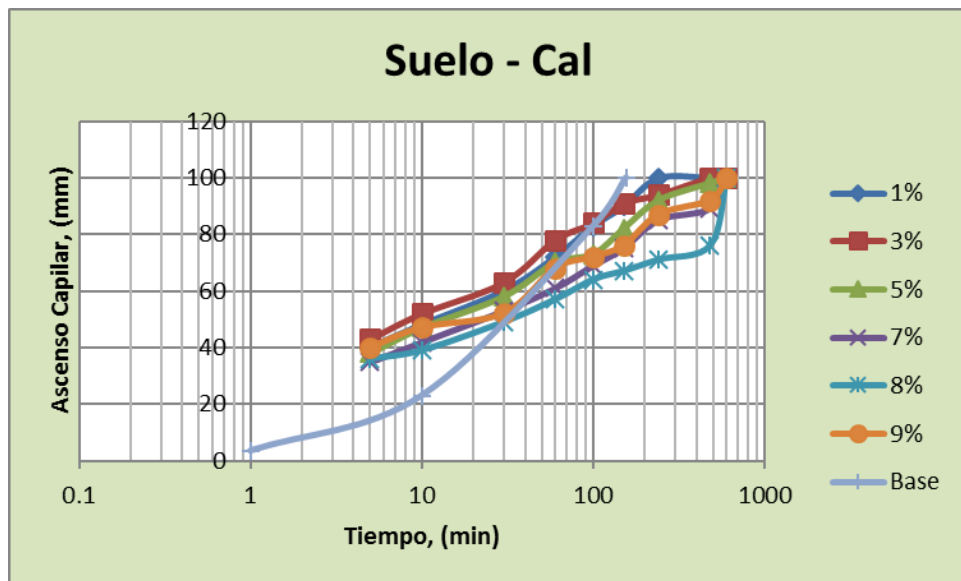


Figura 4.34: Gráfica de Ascenso Capilar para cada porcentaje de Cal en función del tiempo transcurrido

Como se puede observar en el gráfico a mayor porcentaje de cal en el suelo, aumenta su resistencia al ascenso capilar del agua, lo que impermeabiliza al suelo en un 50%.

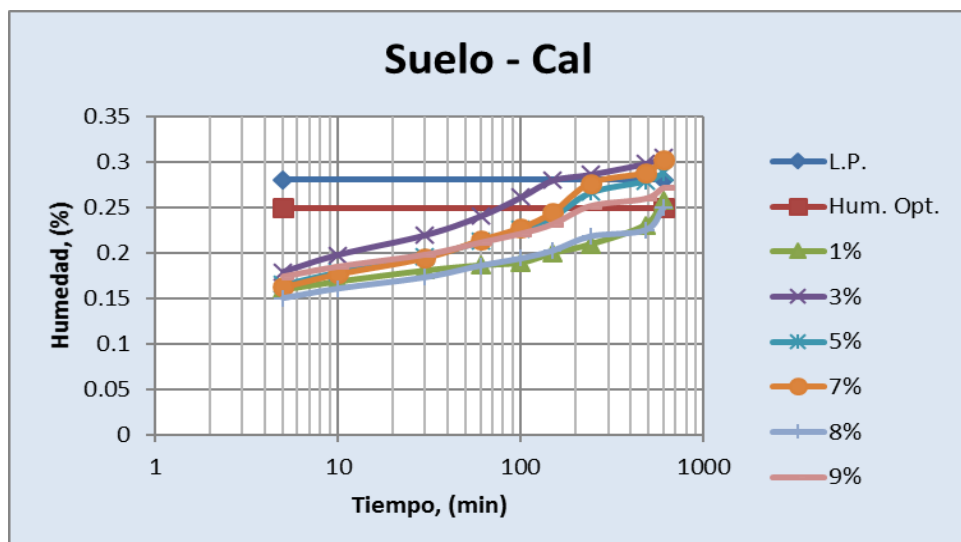


Figura 4.35: Gráfica de incremento de Humedad en cada una de las probetas de cada porcentaje de cal en función del tiempo transcurrido

Se puede apreciar que la humedad para la mezcla con cal, alcanza la humedad óptima a los 200 minutos (promedio), hasta llegar a la humedad en la que alcanza su límite plástico.



Figura 4.36: Probetas de Suelo-Cal en proceso de Ensayo de Capilaridad

La consistencia de la mezcla de suelo-cal es más resistente ya que las probetas no se deshicieron a excepción de la mezcla del 1% de cal como se puede observar se deshizo un poco en la base, pero a partir del 3% de cal, pese a que se saturaron completamente, las probetas no se deshicieron absolutamente nada.

4.6. Estabilización del Suelo con Emulsión Asfáltica

Para realizar la estabilización del suelo de tipo limo orgánico arenoso con emulsión asfáltica se procedió a obtener la cantidad de asfalto que contenía la emulsión para poder sacar el porcentaje óptimo de emulsión para estabilizar el suelo.



Figura 4.37: Suelo mezclado con el 3% de Emulsión Asfáltica

4.6.1. Ensayo de Porcentaje de Agua de la Emulsión Asfáltica

TARA	PESO TARA	PESO TARA + EMULSIÓN NORMAL	PESO TARA + EMULSIÓN SECA	PESO DE AGUA	% AGUA EN EMULSIÓN	% DE ASFALTO EN EMULSIÓN	% DE ASFALTO PROMEDIO
1	62.55	72.68	68.71	3.97	39.19	60.81	
2	71.52	81.68	77.71	3.97	39.07	60.93	60.98
3	63.01	73.09	69.18	3.91	38.79	61.21	



Figura 4.38: Ensayo de Contenido de Agua en la Emulsión Asfáltica

Se pudo obtener a través de éste ensayo que la emulsión asfáltica contenía un porcentaje de asfalto del 60.98%, lo cual quiere decir que el resto de emulsión es agua, la misma que se tiene que tomar en cuenta para aplicar la humedad óptima para llegar a la compactación máxima.

4.6.2. Ensayo de Próctor Modificado (ASTM D-422)

Se aplicó el próctor modificado únicamente para hallar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica, manteniendo la humedad óptima obtenida en el próctor modificado del suelo natural.

Tabla 4.13: Cuadro de resultados de Densidades para obtener el porcentaje óptimo de Emulsión Asfáltica en el suelo

RELACIÓN DENSIDAD - EMULSIÓN ASFÁLTICA					
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	PESO INICIAL DE LA MUESTRA	
5	25	11 lb	18"	2500 g	
MUESTRA >>>		1%	1%	3%	5%
Molde No. M3					
Peso suelo húmedo + molde	A	5916	5946	5953	5907
Peso del molde	B	4187	4187	4187	4187
Peso suelo húmedo	C=A-B	1729	1758	1766	1720
Volúmen del molde	D	935	935	935	935
Densidad húmeda	E=C/D	1.85	1.88	1.89	1.84

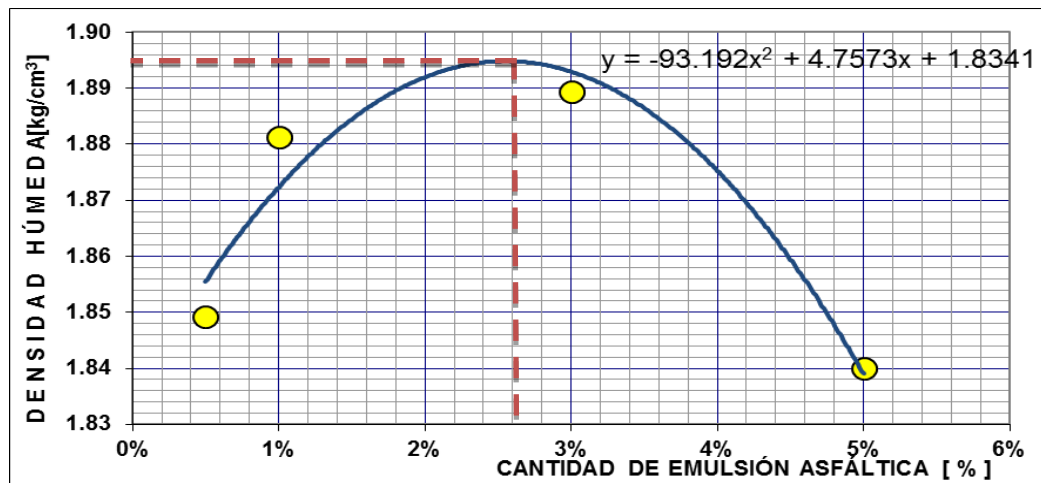


Figura 4.39: Gráfica de Próctor para definir el porcentaje óptimo de Emulsión Asfáltica en el Suelo

Densidad Máxima:	1,895 g/cm³	Emulsión Asfáltica óptima:	2.55%
-------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	--------------

El porcentaje óptimo de Emulsión asfáltica para obtener la compactación máxima y por ende estabilizar el suelo es de 2.55%, manteniendo una humedad óptima del suelo en estado natural del 17.96%.

4.6.3. Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126)



Figura 4.40: Ensayo de Compresión de Probeta Suelo-Emulsión

Tabla 4.14: Cuadro de resistencias de Suelo-Emulsión para las probetas de cada uno de los porcentajes de Emulsión

PROBET A	%	PESO		DIAS ROT.	H	Ds	Dm	Di	CARG A	DEF.	RESISTENCIA		TIPO FALLA
		HUM	SECO								Kg/cm2	Kg/cm2	
EJ2	1	304.34	258.10	28	9.76	4.78	4.72	4.70	296.78	1.60	16.87		VERTICAL
EJ3	1	303.59	256.64	28	9.96	4.69	4.60	4.58	315.42	1.47	18.79	19.29	VERTICAL
EJ4	1	316.48	267.82	28	9.95	4.54	4.70	4.67	375.24	1.91	22.22		VERTICAL
EJ5	1	304.86	259.22	14	9.76	4.75	4.95	4.96	232.00	2.34	12.37	12.37	VERTICAL
EJ2	3	291.80	253.11	28	9.85	4.73	4.76	4.79	347.72	2.11	19.54		VERTICAL
EJ3	3	355.70	306.77	28	10.08	4.95	5.02	4.97	416.04	1.83	21.36	19.67	VERTICAL
EJ4	3	296.31	252.09	28	10.05	4.75	4.77	4.99	367.08	2.16	19.98		VERTICAL
EJ5	3	238.17	201.73	28	7.96	4.50	4.50	4.55	285.30	1.60	17.81		VERTICAL
EJ6	3	186.50	158.68	14	6.19	4.60	4.75	4.77	256.00	1.98	14.71	14.71	VERTICAL
EJ2	5	345.65	286.84	28	10.05	4.96	5.01	5.08	255.94	1.91	12.95		VERTICAL
EJ3	5	334.67	277.66	28	9.97	5.00	4.91	5.01	289.60	2.36	14.91	13.74	VERTICAL
EJ4	5	302.85	254.92	28	9.92	4.60	4.54	4.62	243.70	2.54	14.75		VERTICAL
EJ5	5	258.25	217.08	28	9.38	4.51	4.60	4.60	202.92	2.79	12.37		VERTICAL
EJ6	5	303.85	253.91	14	9.73	4.80	4.80	4.90	190.56	2.92	10.39	10.39	VERTICAL
EJ2	7	257.56	214.80	28	9.47	4.35	4.59	4.55	190.52	3.05	12.00	12.00	VERTICAL
EJ3	7	247.03	205.61	14	9.40	4.40	4.35	4.45	181.50	1.78	11.94	11.94	VERTICAL

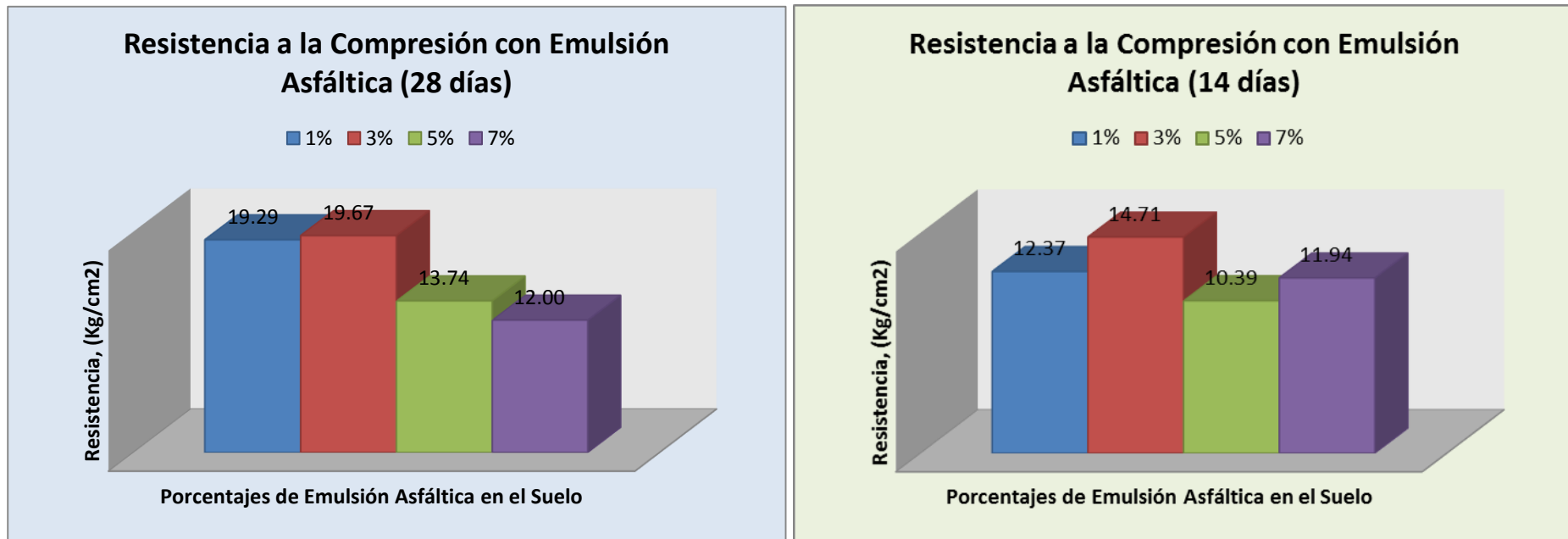


Figura 4.41: Gráficas de Resistencias de cada una de las Probetas a los 28 y 14 días para cada porcentaje de Emulsión Asfáltica en el Suelo

La resistencia a la compresión del suelo mezclado con el 3% de emulsión asfáltica a los 14 como a los 28 días son bastante buenas, los mismos que permiten tener unos buenos resultados como subrasante, que fácilmente, podría actuar como sub-base.

4.6.4. Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273)

MATERIAL		EMULSIÓN ASFÁLTICA										
PROBETA		1%			3%			5%			7%	
F. moldeo		10/2/2013			10/2/2013			10/2/2013			10/2/2013	
F. inicio		10/2/2013			10/2/2013			10/2/2013			10/2/2013	
hora inicio		9:00			9:00			9:00			9:00	
hum %		29%			25%			29%			33%	
P. hum		314.43			333.80			254.12			260.64	
P. seco		244.53			267.92			197.20			196.66	
P 50%		279.48			300.86			225.66			228.65	
P. inicial		279.48			300.86			225.66			228.65	
Hum. Inic		14%			12%			14%			16%	
Perd. %		14%			12%			14%			16%	
TIEMPO	ASC. CAP	PESO	HUM.	ASC. CAP	PESO	HUM.	ASC. CAP	PESO	HUM.	ASC. CAP	PESO	HUM.
Minutos	mm	gr	%	mm	gr	%	mm	gr	%	mm	gr	%
5	45	292.37	19.56%	48	320.32	19.56%	44	229.20	16.23%	37	228.84	16.36%
10	57	293.62	20.08%	67	326.03	21.69%	51	231.71	17.50%	43	230.72	17.32%
30	64	297.11	21.50%	78	332.90	24.25%	62	235.23	19.28%	49	232.85	18.40%
60	88	301.08	23.13%	98	341.09	27.31%	68	239.35	21.37%	58	235.40	19.70%
100	94	303.58	24.15%	100	342.13	27.70%	71	242.04	22.74%	59	237.14	20.58%
150	100	306.45	25.32%	100	343.15	28.08%	74	245.62	24.55%	66	239.21	21.64%
240	100	308.12	26.00%	100	345.34	28.90%	83	251.73	27.65%	77	243.05	23.59%
480	100	310.94	27.16%	100	346.97	29.51%	94	253.32	28.46%	86	244.47	24.31%
600	100	315.46	29.01%	100	348.67	30.14%	100	256.79	30.22%	100	256.16	30.26%

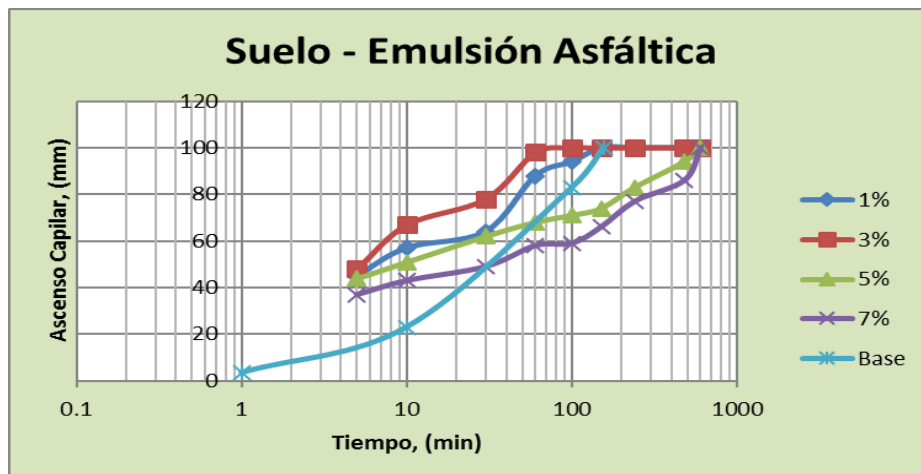


Figura 4.42: Gráfica de Ascenso Capilar para cada porcentaje de Emulsión en función al tiempo transcurrido

Como se puede observar claramente en la gráfica la línea roja la cuál es del 3% de emulsión asfáltica, se encuentra demasiado alejada de la curva normada, lo cual se puede concluir que la estabilización con emulsión asfáltica con éste material no es nada ventajoso con respecto a que se hace demasiado permeable.

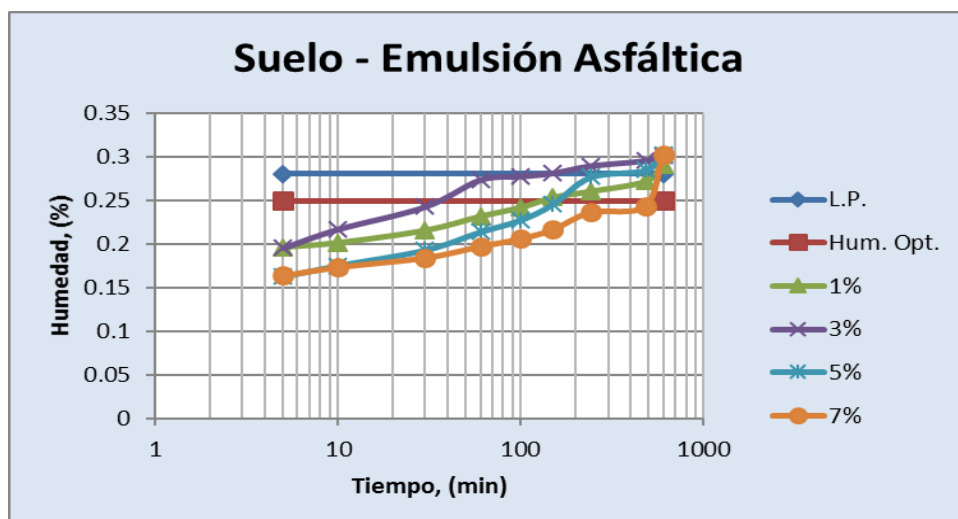


Figura 4.43: Gráfica de Incremento de Humedad para cada porcentaje de Emulsión en función al tiempo transcurrido

Como se puede observar en la siguiente gráfica las probetas estabilizadas con emulsión asfáltica no se deshacen totalmente, y duran aproximadamente 40 minutos en humedecerse totalmente, obteniendo la humedad óptima en ése tiempo y llegando al límite de plasticidad en 100 minutos.



Figura 4.44: Probetas de Suelo-Emulsión Asfáltica sometidas al Ensayo de Capilaridad

Como se puede apreciar en las imágenes anteriores las probetas marcadas con la E, no se deshicieron, pero fueron las primeras en alcanzar el 100% de saturación, lo que hace que sea un material estabilizante, no viable.

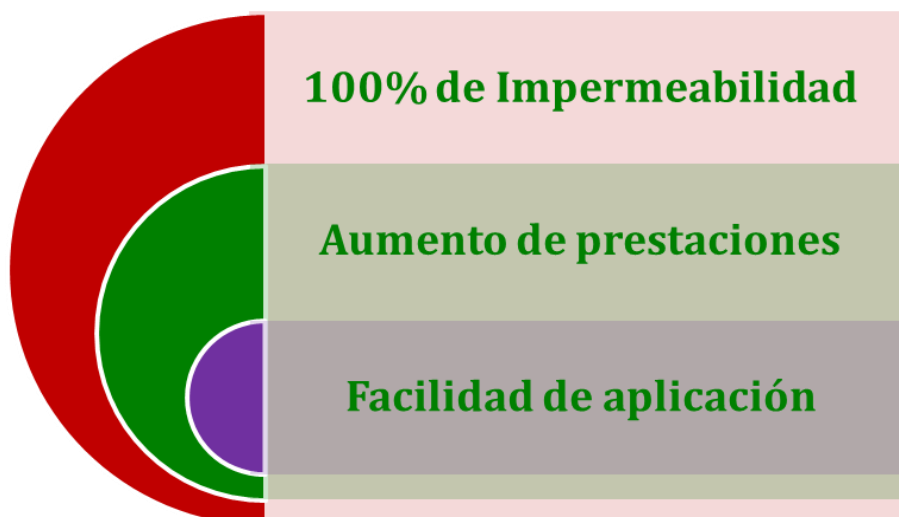
4.7. Ensayos de Estabilización en Suelo con Órgano Silanos



Figura 4.45: Suelo Mezclado con Organo-Silanos

Para hacer una estabilización con Órgano-Silanos se utilizó a una dosificación recomendada por el fabricante, la misma que es de 1Kg de Órgano-Silano por cada metro cúbico de suelo.

Las ventajas de trabajar con éste producto son:



La mezcla de Órgano Silano se la hizo en el agua de adición calculada de la humedad óptima.

4.7.1. Próctor Modificado en Suelo Natural (ASTM D-422)

RELACION DENSIDAD-HUMEDAD							
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	PESO INICIAL DE LA MUESTRA			
5	25	11 lb	18"	2001 g			
MUESTRA >>>			1	2	3		
Molde No.	M3						
Peso suelo húmedo + molde	A	6036		6098		6048	
Peso del molde	B	4264		4264		4264	
Peso suelo húmedo	C=A-B	1772		1834		1784	
Volúmen del molde	D	939		939		939	
Densidad húmeda	E=C/D	1.89		1.95		1.90	
Tarro No.		j61	16	68	ok	nb35	d53
Tarro + suelo húmedo	F	182.40	173.60	178.90	176.30	194.50	200.20
Tarro + suelo seco	G	170.95	163.95	166.82	164.93	177.75	182.61
Peso de agua	H=F-G	11.45	9.65	12.08	11.37	16.75	17.59
Peso del tarro	I	121.20	121.50	119.80	119.80	119.90	121.30
Peso del suelo seco	J=G-I	49.75	42.45	47.02	45.13	57.85	61.31
Contenido de agua	K=H/J	23.02%	22.73%	25.69%	25.19%	28.95%	28.69%
Contenido promedio	L	22.87%		25.44%		28.82%	
Densidad seca	M	1.536		1.557		1.475	

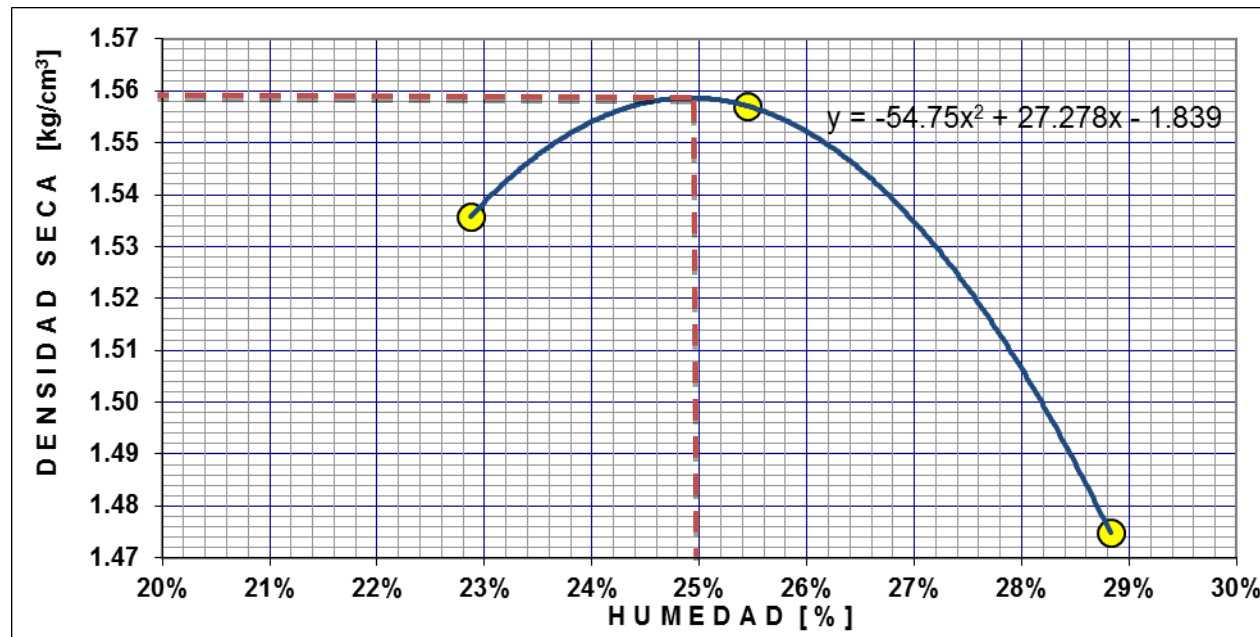


Figura 4.46: Gráfica de Próctor para hallar la humedad óptima del Suelo-Organosilano

Densidad Máxima:	1,559	g/cm³	Humedad óptima:	24.91%
-----------------------------	--------------	-------------------------	----------------------------	---------------

El Próctor es el mismo que el del suelo natural ya que la característica de éste producto es que primero se obtiene la Humedad óptima, para luego ser mezclada con el agua a adicionarse para obtener la compactación máxima del suelo en estado normal.

4.7.2. Ensayo de CBR (ASTM D-1883)

		AASHTO - T193		RELACION SOPORTE CALIFORNIA (CBR)				ASTM - D 1883			
MOLDE NUMERO				1A2		3M564		PA4			
No. DE CAPAS				56		25		12			
No. DE GOPES POR CAPA											
CONDICIONES DE LA MUESTRA				ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.	
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE		g	11110		11546	10775	11289	10475	11087		
PESO MOLDE		g	7260		7260	7165	7165	7107	7107		
PESO MUESTRA HUMEDA		g	3850		4286	3610	4124	3368	3980		
VOLUMEN DE LA MUESTRA CTE		cm ³	2327		2326.9 6	2327	2326.9 6	2327	2330.6 9		
PESO UNITARIO HUMEDO		g/cm ₃	1.655		1.842	1.551	1.772	1.447	1.708		
PESO UNITARIO SECO		g/cm ₃	1.345		1.400	1.247	1.372	1.136	1.319		

Siguiete →

CONTENIDO DE AGUA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
CAPSULA	Nº	A	E23	A	O	A	DK	A	O	A	11	A	O
PESO DE LA CAPSULA	g	121.5	121.8	122.3	118.3	122.2	119.7	118.3	120.9	121.3	122.0	119.9	121.6
PESO DE MUESTRA HUMEDA + CAP.	g	178.7	187.9	208.7	196.8	178.7	169.6	204.8	190.5	165.5	178.2	206.5	183.9
PESO DE MUESTRA SECA + CAP.	g	168.0	175.5	188.0	177.9	168.3	159.2	185.4	174.7	156.7	165.2	185.6	170.6
HUMEDAD	%	23.01	23.09	31.51	31.71	22.56	26.33	28.91	29.37	24.82	29.89	31.81	27.14
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	23.05		31.61		24.44		29.14		27.35		29.48	

DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA	TIEMPO	MOL. Nº	1A2	H (cm)	12.7	MOL. Nº	3M564	H (cm)	12.7	MOL. Nº	PA4	H (cm)	12.7
HORA S	EN DIAS	DIAL		ESPONJAMIENTO		DIAL		ESPONJAMIENTO		DIAL		ESPONJAMIENTO	
	0	163	0	0.00		228	0	0.00		429	0	0.00	
	1	165	0	0.00		228	0	0.00		425	7	0.14	
	2	167	0	0.00		228	0	0.00		420	8	0.16	
	3		0	0.00			0	0.00			8	0.16	
DATOS DE PENETRACION								CI063					
CONSTANTE ANILLO						0.0109819X							

Siguiete →

PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS	MOLDE N° 1A3			MOLDE N° M56			MOLDE N° P4		
	TIPO	CARGA DE		CBR	CARGA DE		CBR	CARGA DE		CBR
		ENSAYO		CORREGIDO	ENSAYO		CORREGIDO	ENSAYO		CORREGIDO
	lbs/pul g ²	dial	lbs/pul g ²	%	dial	lbs/pul g ²	%	dial	lbs/pul g ²	%
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		30	24.68		20	16.45		20	16.45	
0.050		80	65.81		40	32.90		40	32.90	
0.075		140	115.17		60	49.36		50	41.13	
0.100	1000	200	164.52	16.5	90	74.04	7.4	70	57.58	5.8
0.200	1500	380	312.59	20.8	220	180.98	12.1	140	115.17	7.7
0.300		520	427.76		260	213.88		150	123.39	
0.400		650	534.70		320	263.24		160	131.62	
0.500		770	633.41		390	320.82		180	148.07	

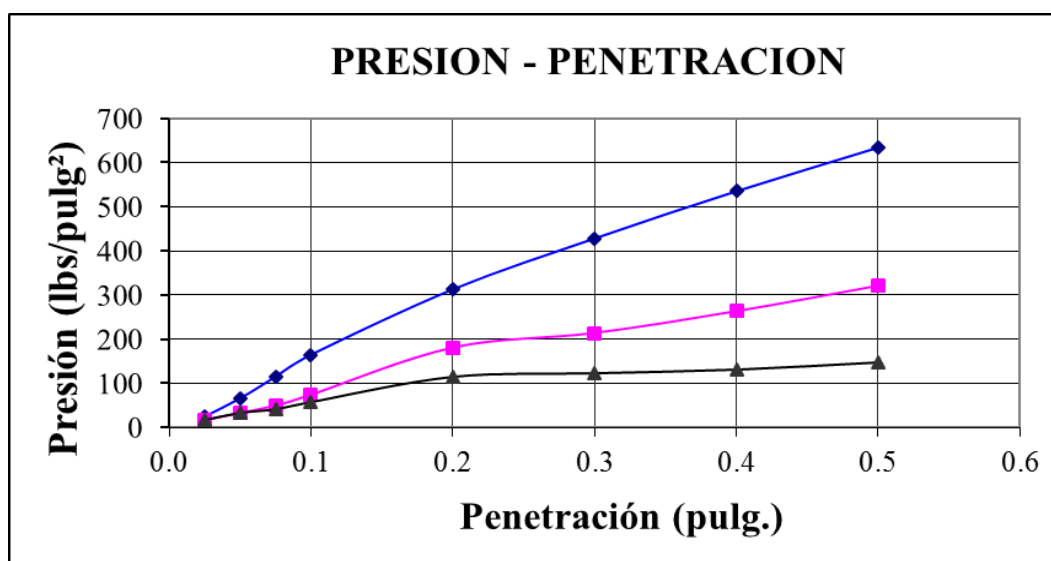


Figura 4.47: Gráfica Presión vs Penetración para hallar el CBR

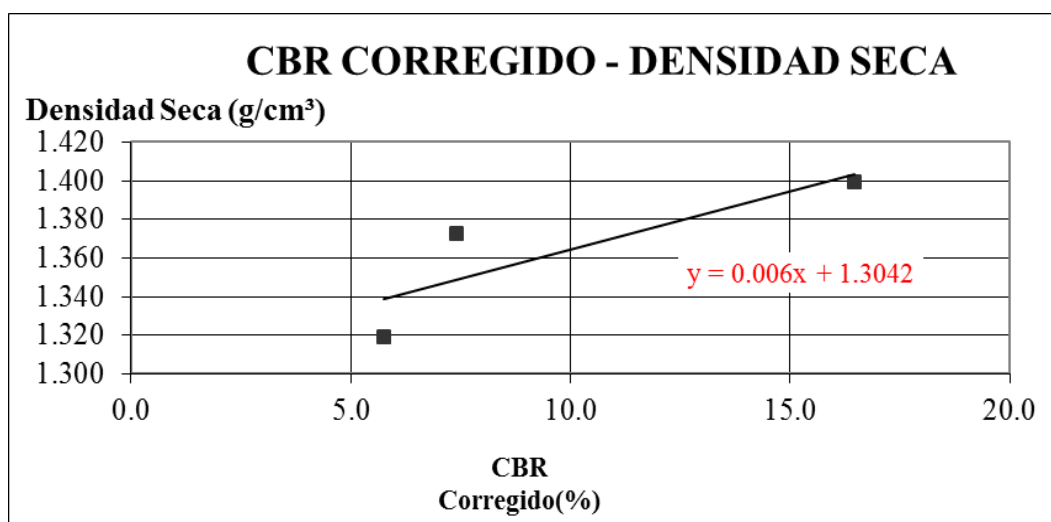


Figura 4.48: Gráfica Densidad Seca vs CBR Corregido

Tabla 4.15: Cuadro de CBR del Suelo-Organosilano en función de la Densidad Máxima Seca

VALOR CBR		
MAXIMA DENSIDAD	CBR	
%	g/cm³	%
95	1481	29.4
100	1559	42.4

El valor obtenido 29.4% de CBR al 95% es admisible según la norma, por lo tanto la estabilización con Órgano-Silanos es apta para realizarla siempre y cuando no sea demasiado costoso.

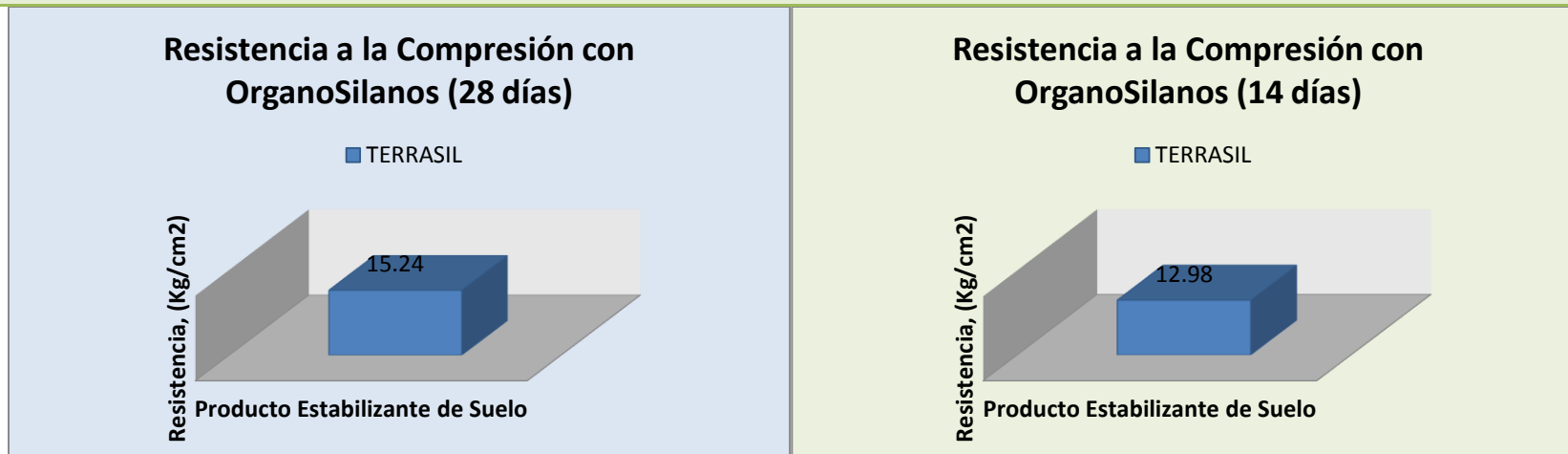
4.7.3. Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126)



Figura 4.49: Ensayo de Compresión en Probeta de Suelo-ÓrganoSilano

Tabla 4.16: Cuadro de resultados de resistencias de las probetas de Suelo-Organosilanos

PROBETA	PESO		DIAS DE ROTURA	H cm	Ds cm	Dm cm	Di cm	CARGA Kg	DEF. mm	RESISTENCIA		TIPO FALLA
	HUMEDO	SECO								Kg/cm ²		
T1	271.61	220.15	28	9.40	4.25	4.40	4.37	220.24	2.67	14.89	15.24	VERTICAL
T8	250.28	221.59	28	8.90	4.26	4.41	4.37	231.34	2.41	15.59		VERTICAL
T9	239.73	213.36	28	8.10	4.35	4.48	4.49	236.08	2.59	15.25		VERTICAL
T2	309.22	259.22	14	10.10	4.41	4.52	4.42	201.90	2.84	12.98	12.98	VERTICAL

**Figura 4.50:** Gráficos de Resistencias a los 28 y 14 días en probetas de Suelo-Organosilanos

Como se pudo observar en la gráfica la resistencia a la compresión del suelo estabilizado con ÓrganoSilanos, tiene 15.24Kg/cm² a los 28 días de curado, lo cual permite tener una buena capacidad portante para soportar el paso del tráfico.

4.7.4. Ensayo de Permeabilidad por Capilaridad (AASHTO T-273)

MATERIAL	ORGANO-SILANOS		
PROBETA	1Kg/m3		
F. moldeo	10/24/2013		
F. inicio	10/24/2013		
hora inicio	9:00		
hum %	27%		
P. hum	289.06		
P. seco	228.42		
P 50%	258.74		
P. inicial	258.74		
Hum. Inic	13%		
Perd. %	13%		
TIEMPO	ASC. CAP	PESO	HUM.
minutos	mm	gr	%
5	0	258.74	13.27%
10	0	258.74	13.27%
30	0	258.74	13.27%
60	0	258.74	13.27%
100	0	258.74	13.27%

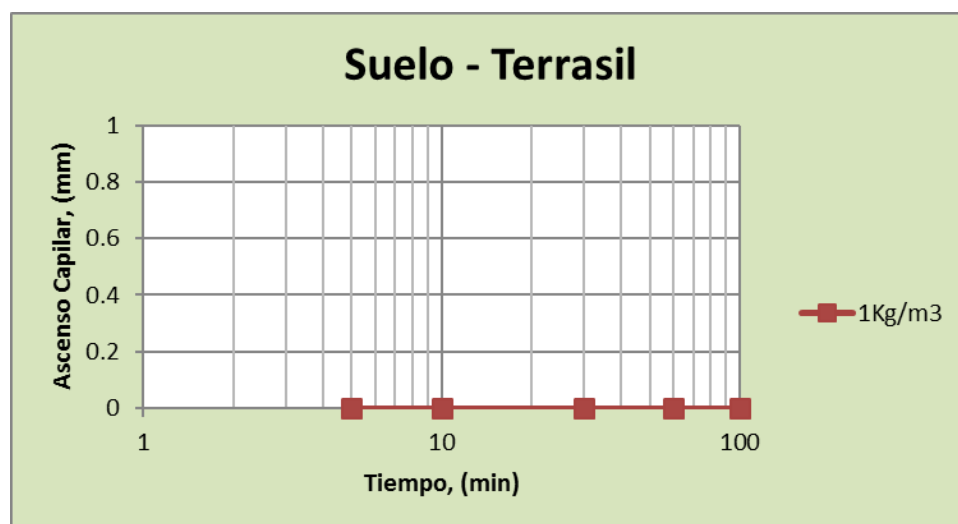


Figura 4.51: Gráfica de Ascenso Capilar Nulo a causa de la Impermeabilización con OrganoSilanos

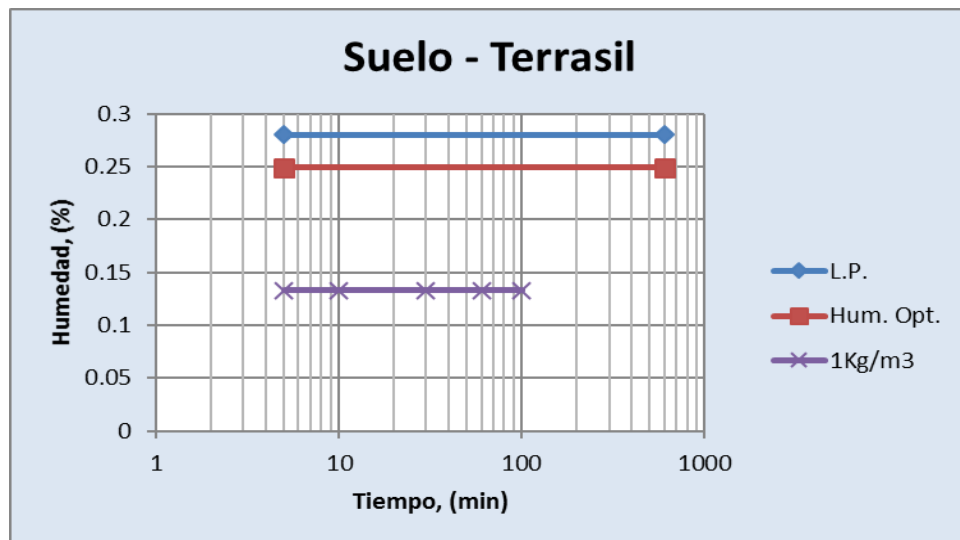


Figura 4.52: Gráfica de Incremento de Humedad Nula por Impermeabilización de los Organo-Silanos

Los resultados en absorción capilar del suelo con Órgano-silanos, fue perfecta, ya que no absorbió absolutamente nada de agua, éste producto de estabilización le volvió al suelo completamente impermeable, lo que sería muy ventajoso para una vía, ya que el problema de todo suelo es el agua, con éste producto se pudo solucionar éste problema tan importante.



Figura 4.53: Probeta sumergida en agua con Absorción Capilar Nula

4.8. Comparación de los Materiales de Estabilización

4.8.1. Relación Soporte California (CBR)

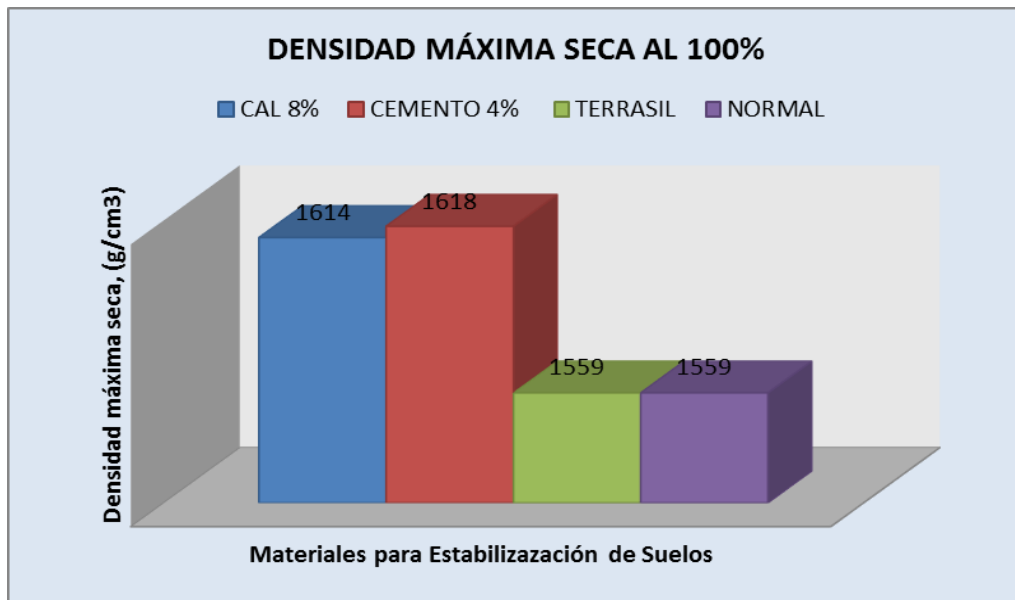


Figura 4.54: Gráfica de la Densidad Máxima Seca al 100% para cada uno de los Productos estabilizantes

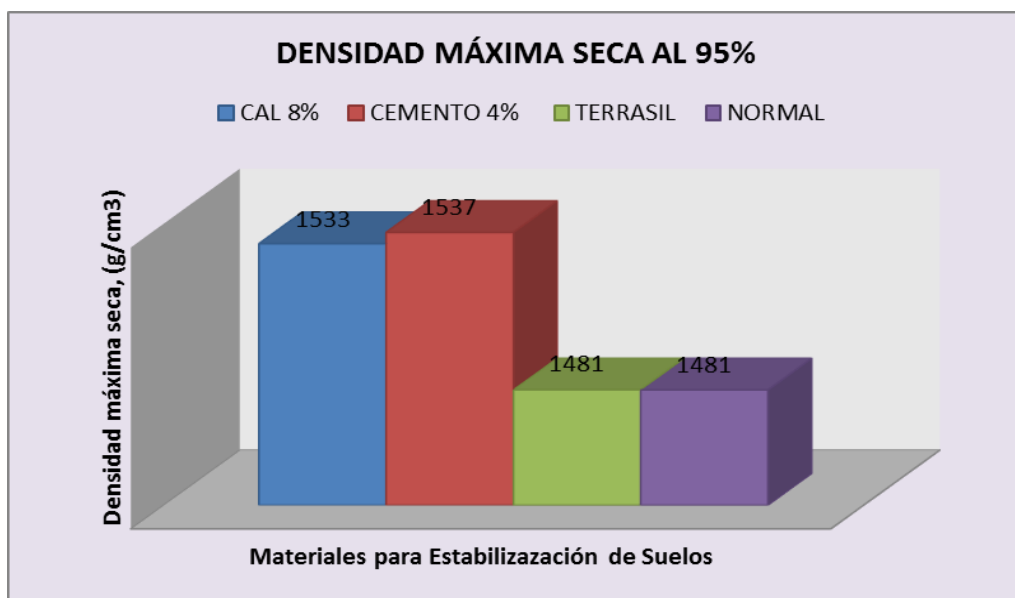


Figura 4.55: Gráfica de la Densidad Máxima Seca al 95% para cada uno de los Productos estabilizantes

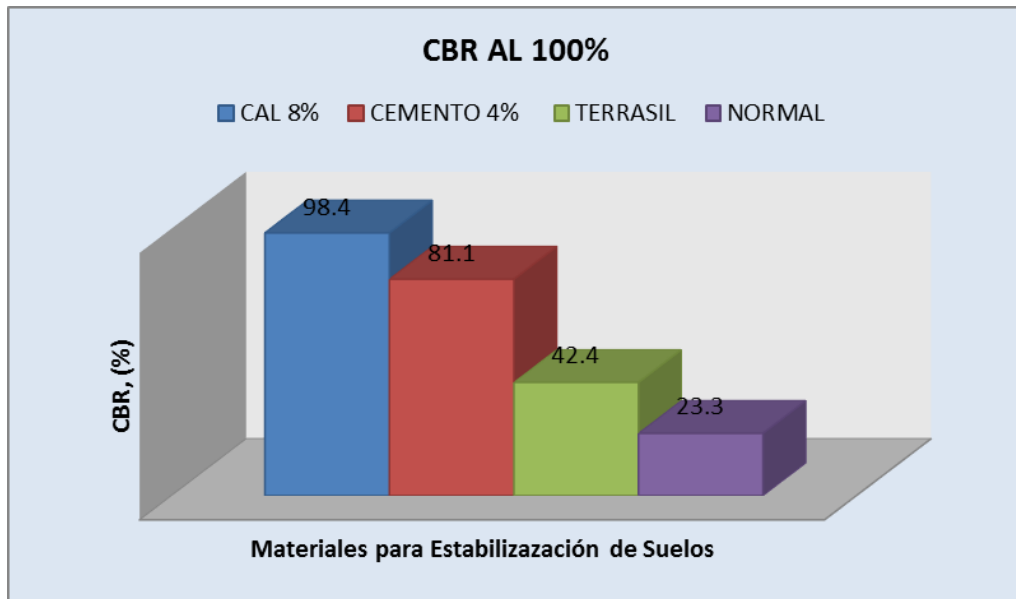


Figura 4.56: Gráfica de los valores de CBR al 100% para cada uno de los Productos estabilizantes

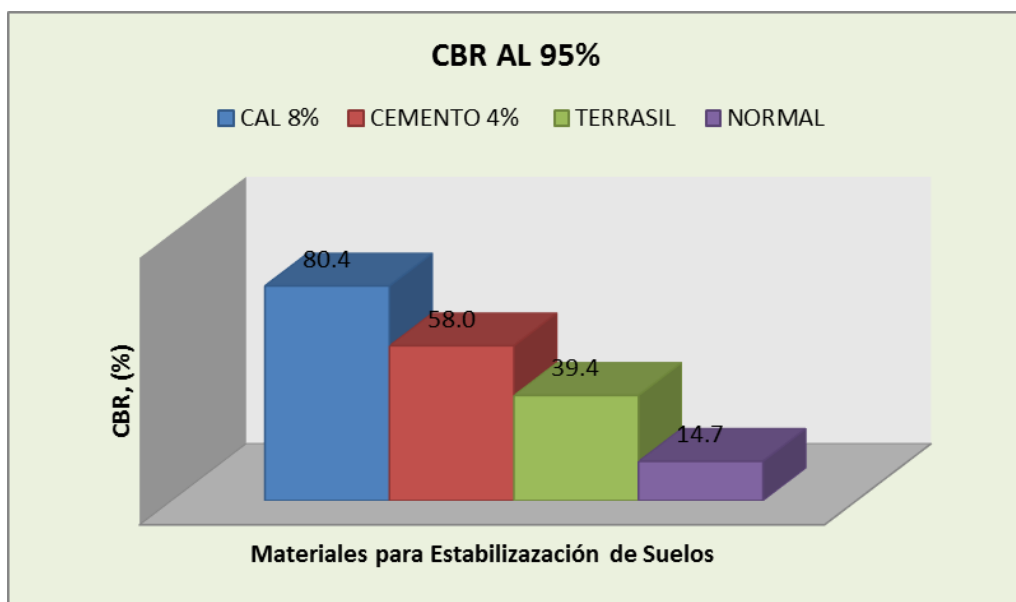


Figura 4.57: Gráfica de los valores de CBR al 100% para cada uno de los Productos estabilizantes

Como se puede observar la mejor opción para el caso de un CBR en un suelo limo orgánico arenoso es la cal con el 8%, por sus propiedades naturales que reaccionan y se acoplan de mejor manera a un suelo de componentes orgánicas, pero en el caso de la impermeabilidad es mejor la estabilización con órgano-silanos al 1Kg/cm², aunque el CBR no sea tan alto, pero se podría realizar una mezcla entre cal y órgano-silanos y llegar a obtener un CBR alto y un suelo completamente impermeable.

4.8.2. Resistencia a la Compresión

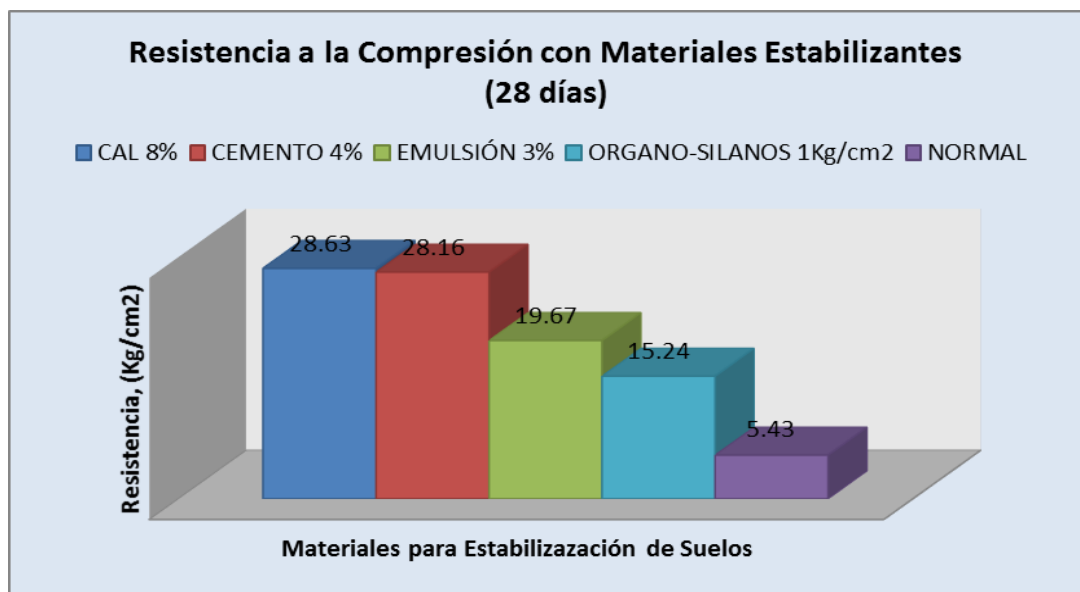


Figura 4.58: Gráfica de los valores de Resistencia a la Compresión a los 28 días para cada uno de los Productos estabilizantes

Como se puede apreciar en el gráfico anterior la el valor de la resistencia a la compresión a los 28 dias del 8% de cal, es el valor más alto de todos los materiales estabilizantes.

En cambio como se puede apreciar en el siguiente gráfico, la resistencia a la compresión de todos los materiales estabilizantes, que reaccionan con el suelo limo orgánico arenoso, son similares.



Figura 4.59: Gráfica de los valores de Resistencia a la Compresión a los 14 días para cada uno de los Productos estabilizantes

4.8.3. Absorción Capilar de las Mezclas

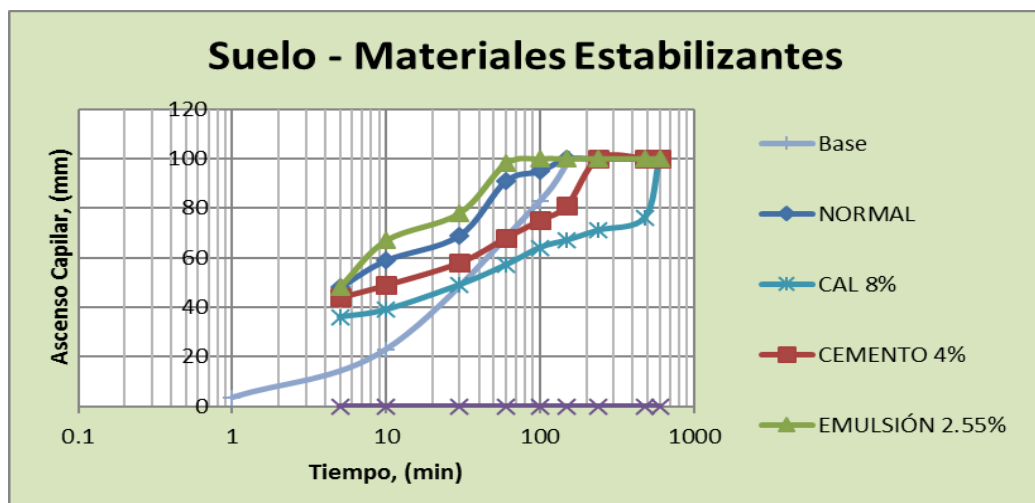


Figura 4.60: Gráfica de Ascenso Capilar para cada uno de los Productos estabilizantes en función al tiempo

Como se pudo observar en el gráfico anterior el estabilizar con órgano silanos, es la opción más adecuada, ya que éste material tiene la característica de que le vuelve al suelo completamente impermeable, se podría decir que con éste producto se ha solucionado el problema de todo constructor que es el agua.

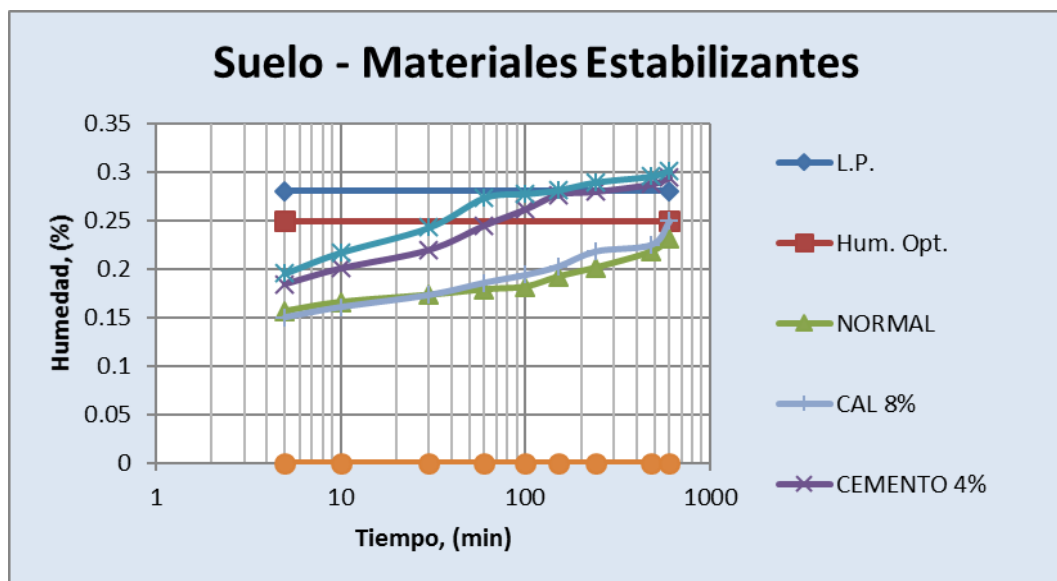


Figura 4.61: Gráfica de Incremento de Humedad para cada uno de los Productos estabilizantes en función al tiempo

CAPITULO V

DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO

La metodología aplicada para este diseño esta referenciada en la especificación TB-100 de la ISSA (International Slurry Surfacing).

Los resultados obtenidos han sido comparados con las especificaciones dadas por MOP 001 F-2002 e ISSA A-145, en cada una de las secciones correspondientes.

5.1. TRABAJOS DE LABORATORIO

Los ensayos y pruebas realizadas a los materiales como al mortero (agregado + emulsión) son los siguientes:

- **Ensayo de Equivalente de arena** (ASTM D-2419)
- **Ensayo de absorción de azul de metileno** (ISSA TB -145)
- **Ensayo de granulometría de agregados** (ASTM C-136 – ASTM C-117)
- **Porcentaje Teórico de Emulsión** (ISSA TB-118)
- **Ensayo de tiempo de mezclado** (ISSA TB-102)
- **Ensayo de consistencia** (ISSA TB-106)
- **Ensayo de cohesión** (ISSA TB-139)
- **Ensayo de abrasión en húmedo** (ISSA TB-100)
- **Ensayo de rueda cargada** (ISSA TB-109)

5.2. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS



Figura 5.1: Agregado de la Mina de Pintag

- **Ensayo de equivalente de arena: (ASTM D-2419)**

MUESTRA	H(Altura original de la arena antes de introducir el pistón)	h (Altura original de la arena después de introducir el pistón)	EQUIVALENTE DE ARENA (%)
1	5,1	3,1	60,78%
2	5	3,1	62,00%
PROMEDIO:			61,4%

Se pudo observar que el agregado de Pintag, con el que se va a realizar el micropavimento, tiene 61.4% de arena, por lo tanto es admisible.



Figura 5.2: Ensayo de Equivalente de Arena

- **Absorción de Azul de metileno:** **6.5 ml – g (ISSA TB -145)**



Figura 5.3: Ensayo de Azul de Metileno

El agregado es reactivo con 6.5ml de azul de metileno, por lo tanto el agregado de la mina de Pintag si cumple con la norma ISSA T-145, ya que ésta dice que el azul de metileno debe ser menor de 10 mg/g.

• **Granulometría: (ASTM C-136) (TIPO III)**

Para éste ensayo se realiza con los siguientes tamices:

TAMIZ	<i>abertura</i>	<i>retiene acumulado</i>	<i>Pasa</i>	Especificaciones ISSA TIPO III	
	(mm)	(gr)	(%)	min	max
3/8	9,50	1,565	0,13	100	100
N4	4,75	198,63	16,32	70	90
N8	2,36	486,415	39,95	45	70
N 16	1,18	679,085	55,78	28	50
N30	0,60	817,69	67,16	19	34
N50	0,30	932,28	76,58	12	25
N100	0,15	1028,98	84,52	7	18
N200	0,075	1106,465	90,88	5	15
		1217,455	100,00	0,00	

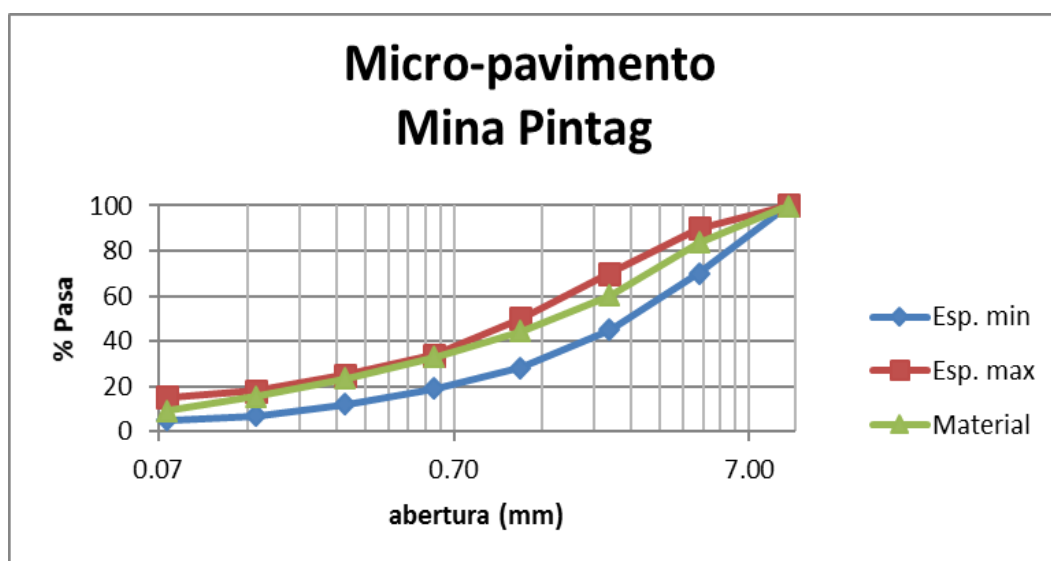


Figura 5.4: Gráfica granulométrica para MicroPavimento de Tipo III

Como se pudo observar en la gráfica anterior, la granulometría del agregado de la mina de pintag, calificó en las especificaciones ISSA de tipo III.

5.3. LIGANTE ASFALTICO

El ligante asfáltico que se utilizó para el diseño del micropavimento, es de ruptura lenta, de Tipo **CSS-1H-P**.

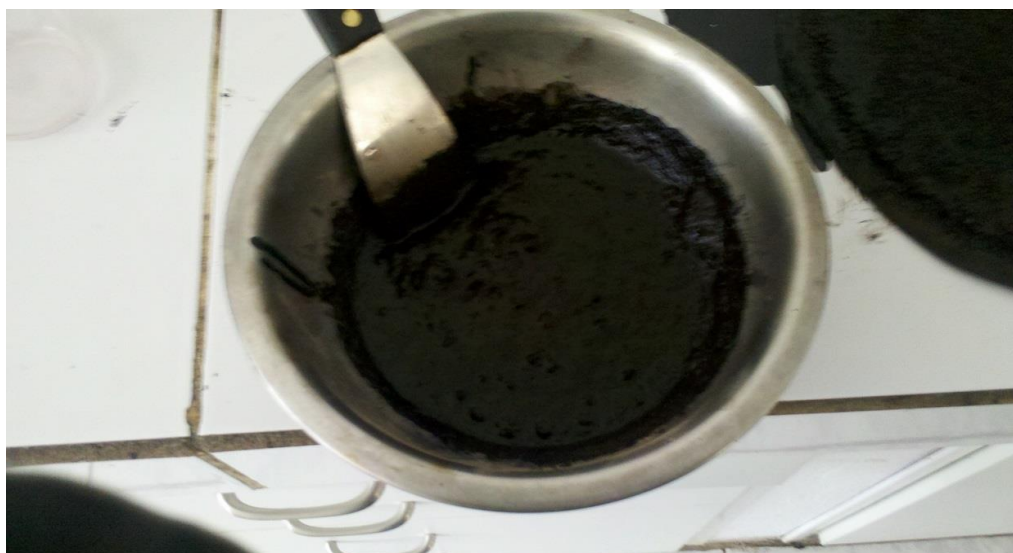


Figura 5.5: Emulsión Asfáltica de Tipo CSS-1H-P

5.3.1. *Emulsión Asfáltica CSS-1H-P*

La emulsión utilizada para la fabricación de Micro-pavimento es del tipo catiónica de ruptura lenta modificada con polímero (CSS-1H-P), cuya fórmula maestra se presenta a continuación:

FORMULA MAESTRA	
COMPONENTE	PORCENTAJE
Asfalto AC-20	62,00%
Emulsión	1,20%
Promotor de adherencia (0,1% sobre el asfalto)	0,062%
Plastificante (1% sobre el asfalto)	6,20%
Ácido	0,20%
Polímero (3% sobre el asfalto)	1,86%
Agua	28,48%
TOTAL	100,00%

Obteniendo así los siguientes resultados de laboratorio:

<i>Ensayo</i>	<i>Resultado</i>	<i>Especificación</i>
Asfalto Residual (%)	62	62
Viscosidad Saybolt Furol @25°C (seg)	33	20 - 100
Penetración en el Residuo (1/10mm)	65	40 -90
Reblandecimiento °C	58	

5.4. FORMULACIONES DE TRABAJO

La metodología utilizada para el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica en la mezcla, es la Metodología ISSA118.

- **Porcentaje Teórico de Emulsión: (ISSA TB-118)**

Espesor promedio capa de Mortero Asfáltico=	5,0 mm
Peso Específico del Asfalto =	1,02 gr/cm ³
Porcentaje de asfalto residual de la Emulsión=	62,00 %
Coefficiente de Conversión de Unidades	0,02047

$$\%L = S.T.A. * t * (0,02047) * (D.B.) = 8,77 \%$$

$$\% E = (\%L * 100) / \%A.R. = \underline{14,15 \% \text{ de emulsión}}$$

Donde:

% L= Contenido de Asfalto Residual sobre el peso del agregado

S.T.A.= Superficie Teórica del Agregado

t = Espesor de la película del mortero asfáltico

0,02047= Coeficiente de conversión de unidades

D.B.= Peso específico del Asfalto

% E= Porcentaje Teórico de Emulsión a aplicar en el Mortero Asfáltico

A.R.= Porcentaje de asfalto residual de la emulsión a utilizar

5.5. Tiempo de Mezclado: (ISSA TB-102)

Agregado (%)	Aditivo (%)	Agua (%)	Emulsión (%)	Tiemp. Mezcla (seg.)	Obsevaciones
100	7	14,1	40	No Cumple
100	8	14,1	>120	Mezcla homogénea
100	9	14,1	>120	Mezcla homogénea
100	9	14,1	>120	Mezcla homogénea

5.6. Ensayo de consistencia (ISSA TB-106)



Figura 5.6: Ensayo de Consistencia de la Mezcla Asfáltica

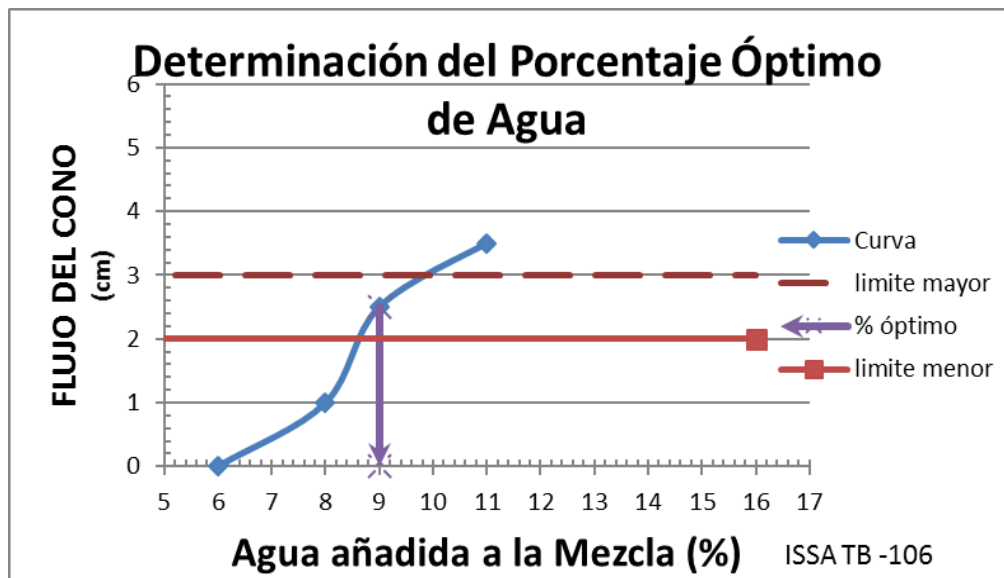


Figura 5.7: Gráfica para la determinación del Porcentaje Óptimo de Agua en función al Flujo del Cono

El porcentaje óptimo de agua, según el ensayo fue de 9%.

5.7. Ensayo de cohesión (ISSA TB-139)



Figura 5.8: Ensayo de Cohesión al Micropavimento

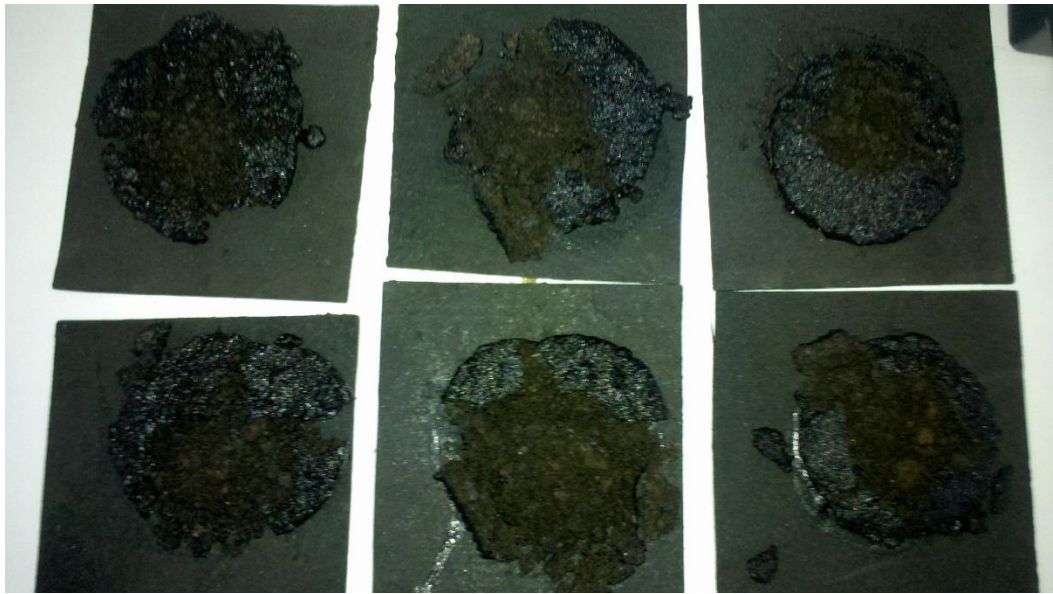


Figura 5.9: Muestras ensayadas por Cohesión de Micropavimento a los 30 minutos



Figura 5.10: Muestras ensayadas por Cohesión de Micropavimento a los 60 minutos

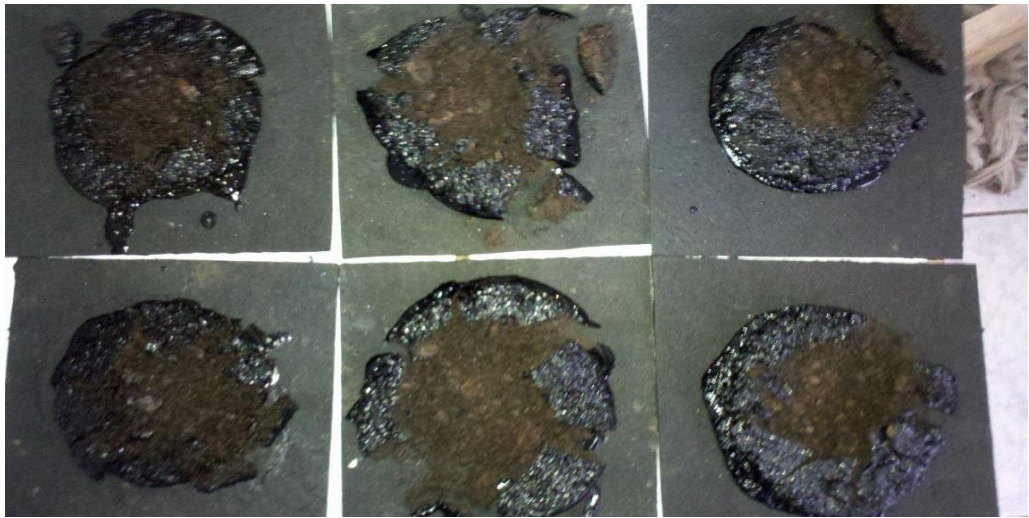


Figura 5.11: Muestras ensayadas por Cohesión de Micropavimento a los 120 minutos

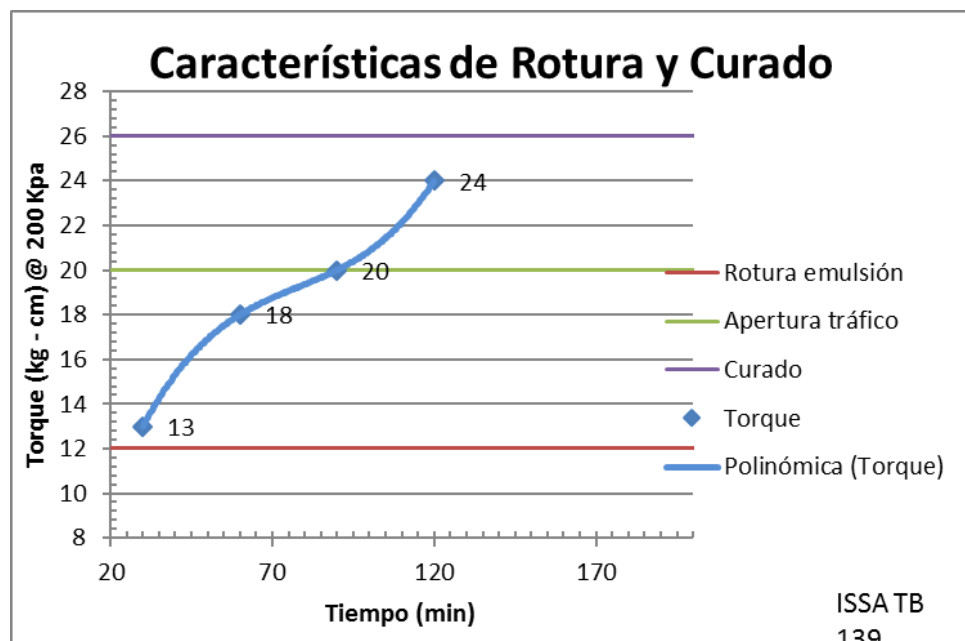


Figura 5.12: Características de Curado en Función a la Cohesión que tiene el Micropavimento

El ensayo se realizó chequeando el torque y resistencia de la mezcla que tiene a los 30, 60, 90 y 120 minutos, y apuntando los valores del torque obtenidos en cada uno.

Como se puede apreciar el torque a los 120 minutos de la mezcla de emulsión asfáltica con el agregado trurado (1/8") de la mina de Pintag, obtuvo 24Kg.cm, a una presión de 200KPa, y según la norma ISSA, dice que la apertura del tráfico es a los 20Kg.cm, por lo tanto según el diseño se podría realizar la apertura al tráfico a los 90 minutos. Por lo tanto tiene un curado bastante rápido, ya que esto es beneficioso para cualquier contratista.

5.8. Porcentaje óptimo de emulsión

(Ensayo de Abrasión en Húmedo WTA)



Figura 5.13: Moldes de Micropavimento para el Ensayo de Abrasión



Figura 5.14: Ensayo de Abrasión en Húmedo del Micropavimento

(Ensayo de Rueda Cargada LWT)



Figura 5.15: Ensayo de Rueda Cargada para Micropavimento

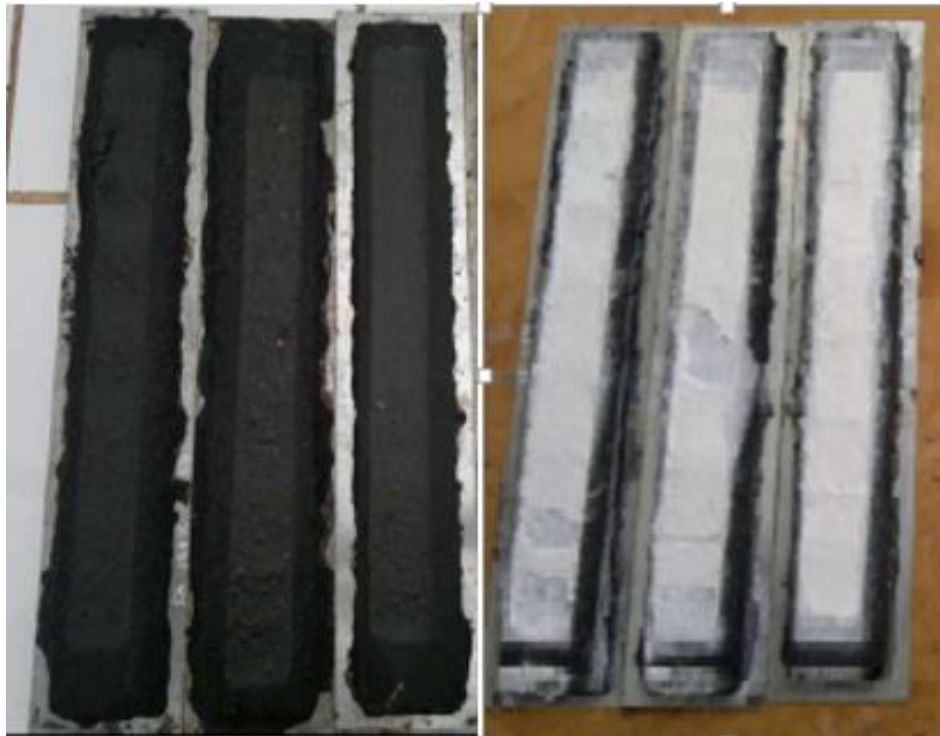


Figura 5.16: Moldes después del Ensayo de Rueda Cargada

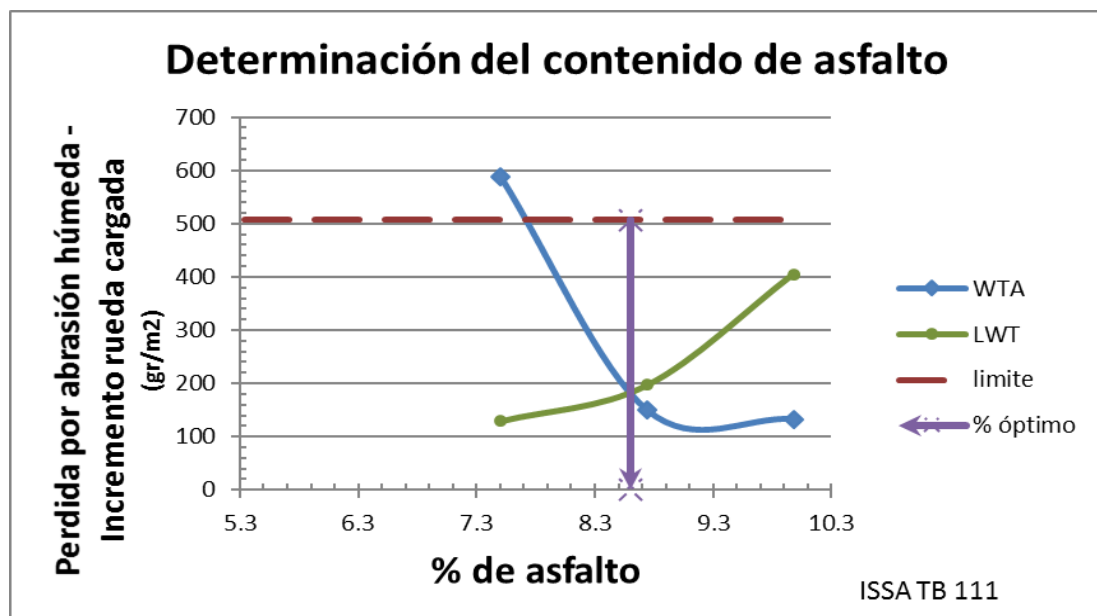


Figura 5.17: Gráfica para la Determinación del Contenido de Asfalto en Función a la Pérdida por abrasión e Incremento de Rueda Cargada

Porcentaje óptimo de emulsión 14.15%

Tabla 5.1: Cuadro de la Fórmula Maestra para el Micropavimento

<i>Fórmula de trabajo para Micro-pavimento Tipo III</i>	Mix
Agregado Mina Pintag	100%
Sol. Al₂(SO₄)₃	0 %
Agua	12%
CSS-1H-P (62% Asfalto Residual+3% polímero)	14.15%
<i>Resultados de pruebas de desempeño</i>	
Tiempo de mezcla @ 20 °C (seg)	>120
Consistencia – Flujo (cm)	2.5
Cohesión 30 min (kg-cm)	13
Cohesión 60 min (kg-cm)	18
Cohesión 90 min (kg-cm)	20
Cohesión 120 min (kg-cm)	24
Abrasión en húmedo (saturación - 1 hora) g/m²	149.69
Rueda cargada (exceso de asfalto) g/m²	196.92

Los resultados del diseño son satisfactorios por lo tanto el micropavimento se elabora con el agregado de la mina de Pintag.

CAPITULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INVESTIGACIÓN

El análisis económico que se realizará, será de cuánto cuesta un kilómetro de Micropavimento realizando una estabilización con 4 opciones de materiales estabilizantes para el suelo de tipo limo orgánico arenoso, de los cuales se escogerá la opción más ventajosa en el ámbito económico ofreciendo calidad, y garantizando un vida útil larga para el micropavimento de la vía de tercer orden.

Los parámetros a seguir serán los siguientes:

6.1. DATOS GENERALES DE LA VÍA

Vía de tercer orden para un tráfico pequeño.

Longitud de la Vía = 1000m

Ancho de la Vía = 10m

Espesor a Estabilizar = 40cm

6.2. COSTOS DE LOS MATERIALES ESTABILIZANTES

MATERIAL ESTABILIZANTE	UNIDAD	PRECIO (USD)
CAL	Kg	0.07
CEMENTO	Kg	0.14
EMULSIÓN ASFÁLTICA	Kg	0.38
ORGANO SILANOS	Kg	17.00

6.3. DOSIFICACIÓN ÓPTIMA DE CADA MATERIAL ESTABILIZANTE

MATERIAL ESTABILIZANTE	UNIDAD	VALOR ÓPTIMO
CAL	%	8
CEMENTO	%	4
EMULSIÓN ASFÁLTICA	%	3
ORGANO SILANOS	%	0.1

6.4. COSTO DE ESTABILIZACIÓN DEL PROYECTO

6.4.1. PRECIOS UNITARIOS DE ESTABILIZACIÓN

6.4.1.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	Estabilización de Suelos con Cemento Espesor = 0.40m	UNIDAD:	m3		
DETALLE:					
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Motoniveladora de 150 HP	1	45	45	0.0522	2.349
Rodillo Liso Tandem de 125 HP	1	30	30	0.0522	1.567
Tanquero de Agua de 2000 Galones	1	12	12	0.0522	0.626
Herramienta Manual	1	0.2	0.2	0.0522	0.010
SUBTOTAL M					9.771

Siguiente →

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	D	A	C=A*B	O	O
	A	B		R	D=C*R
Chofer Profesional Licencia Tipo E	1	4.16	4.16	0.0522	0.217
Operador de Motoniveladora (Est. Ocup. E1) Grupo I	1	3.02	3.02	0.0522	0.157
Operador de Rodillo Autopropulsado (Est. Ocup. C2) Grupo II	1	2.94	2.94	0.0522	0.153
Ayudante de Maquinaria (Est. Ocup. C3) Sin Titulo	1	2.86	2.86	0.0522	0.149
Peon (Est. Ocup. E2)	1	2.78	2.78	0.0522	0.145

SUBTOTAL N **0.980**

MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		D	B	O
		A		C=A*B
Cemento Portland Tipo I	Kg	56	0.14	7.84

SUBTOTAL O **7.84**

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P) 18.59

INDIRECTOS Y UTILIDADES % 20.00% 3.71

OTROS INDIRECTOS % 0.00

COSTO TOTAL DEL RUBRO **22.31**

VALOR OFERTADO **22.31**

6.4.1.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA ESTABILIZACIÓN CON CAL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	Estabilización de Suelos con Cal Espesor = 0.40m			UNIDAD:	m3
DETALLE:					
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTID AD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM IENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Motoniveladora de 150 HP	1	45	45	0.0522	2.349
Rodillo Liso Tandem de 125 HP	1	30	30	0.0522	1.566
Tanquero de Agua de 2000 Galones	1	12	12	0.0522	0.6264
Herramienta Manual	1	0.2	0.2	0.0522	0.0104
SUBTOTAL M					9.7718
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTID AD	JORNAL/HO RA	COSTO HORA	RENDIM IENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Chofer Profesional Licencia Tipo E	1	4.16	4.16	0.0522	0.21715
Operador de Motoniveladora (Est. Ocup. E1) Grupo I	1	3.02	3.02	0.0522	0.15764
Operador de Rodillo Autopulsado (Est. Ocup. C2) Grupo II	1	2.94	2.94	0.0522	0.15347
Ayudante de Maquinaria (Est. Ocup. C3) Sin Titulo	1	2.86	2.86	0.0522	0.14929
Peon (Est. Ocup. E2)	1	2.78	2.78	0.0522	0.14512
SUBTOTAL N					0.98031

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Cal Hidratada	Kg	112	0.07	7.84
SUBTOTAL O				7.84
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)				18.59211
INDIRECTOS Y UTILIDADES %			20.00%	3.718422
OTROS INDIRECTOS %				0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO				22.31
VALOR OFERTADO				22.31

6.4.1.3. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA ESTABILIZACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	Estabilización de Suelos con Emulsión Asfáltica Espesor = 0.40m			UNIDAD:	m3
DETALLE:					
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDA	TARIF	COSTO	RENDIMIENT	COST
	D	A	HORA	O	O
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Motoniveladora de 150 HP	1	45	45	0.0522	2.349
Rodillo Liso Tandem de 125 HP	1	30	30	0.0522	1.566
Tanquero de Agua de 2000 Galones	1	12	12	0.0522	0.626
Camión Cisterna de Emulsión Asfáltica	1	32	32	0.0522	1.670
Herramienta Manual	1	0.2	0.2	0.0522	0.010
SUBTOTAL M					9.771

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/ HORA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIM IENTO R	COSTO D=C*R
Chofer Profesional Licencia Tipo E	2	4.16	8.32	0.0522	0.434
Operador de Motoniveladora (Est. Ocup. E1) Grupo I	1	3.02	3.02	0.0522	0.158
Operador de Rodillo Autopropulsado (Est. Ocup. C2) Grupo II	1	2.94	2.94	0.0522	0.153
Ayudante de Maquinaria (Est. Ocup. C3) Sin Titulo	1	2.86	2.86	0.0522	0.149
Peon (Est. Ocup. E2)	1	2.78	2.78	0.0522	0.145
SUBTOTAL N					0.98031

MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNITARIO B	COSTO C=A*B
Emulsión Asfáltica CSS-1h	Kg	42	0.38	15.96
SUBTOTAL O				15.96
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)				26.712
INDIRECTOS Y UTILIDADES %			20.00%	5.342
OTROS INDIRECTOS %				0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO				32.05
VALOR OFERTADO				32.05

6.4.1.4. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA ESTABILIZACIÓN CON ORGANO - SILANOS

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	Estabilización de Suelos con Organo-Silanos Espesor = 0.40m			UNIDAD:	m3
DETALLE:					
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDA D A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIM IENTO R	COSTO D=C*R
Motoniveladora de 150 HP	1	45	45	0.0522	2.349
Rodillo Liso Tandem de 125 HP	1	30	30	0.0522	1.566
Tanquero de Agua de 2000 Galones	1	12	12	0.0522	0.6264
Camión Cisterna de Emulsión Asfáltica	1	32	32	0.0522	1.6704
Herramienta Manual	1	0.2	0.2	0.0522	0.01044
SUBTOTAL M					9.7718

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANT IDAD A	JORNAL/ HORA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIM IENTO R	COSTO D=C*R
Chofer Profesional Licencia Tipo E	2	4.16	8.32	0.0522	0.434
Operador de Motoniveladora (Est. Ocup. E1) Grupo I	1	3.02	3.02	0.0522	0.158
Operador de Rodillo Autopropulsado (Est. Ocup. C2) Grupo II	1	2.94	2.94	0.0522	0.153
Ayudante de Maquinaria (Est. Ocup. C3) Sin Titulo	1	2.86	2.86	0.0522	0.149
Peon (Est. Ocup. E2)	1	2.78	2.78	0.0522	0.145
SUBTOTAL N					0.980

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Organo-Silanos	Kg	1	17	17
SUBTOTAL O				17
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)				27.752
INDIRECTOS Y UTILIDADES %			20.00%	5.550
OTROS INDIRECTOS %				0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO				33.30
VALOR OFERTADO				33.30

En la siguiente tabla se realizará el cálculo de los precios de cada uno de los materiales estabilizantes para 1Km de vía:

MATERIAL ESTABILIZANTE	Porcentaje	Precio Unitario	VOLUMEN	Costo Total
	(%)	(USD)	(m3)	(USD/Km)
CAL	8	22.31	4000	89240
CEMENTO	4	22.31	4000	89240
EMULSIÓN ASFÁLTICA	3	32.05	4000	128200
ORGANO SILANOS	0.1	33.30	4000	133200

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, el realizar la obra con Organo Silanos, es demasiado costosa pero se obtiene la impermeabilidad en el suelo, factor el cual puede hacer que dure mucho más la estructura del micropavimento, pero en cambio con cal y cemento es menos costoso, pero

la desventaja es que el suelo se mantiene permeable y puede tener menor vida útil que con Organo – silanos.

6.5. COSTO DEL PROYECTO CON MICROPAVIMENTO

Costo del metro cuadrado de Micropavimento = 2.50 dólares americanos

Si se tiene un kilómetro de vía en la cual existe un área de 10000 m².

MATERIAL ESTABILIZANTE	Porcentaje	Precio Unitario	Area a de Vía	Costo Estabilizado	Costo Estabilizado y con Capa de Rodadura
	(%)	(USD)	(m ²)	(USD)	(USD/Km)
CAL	8	22.31	10000	89240	114240
CEMENTO	4	22.31	10000	89240	114240
EMULSIÓN ASFÁLTICA	3	32.05	10000	128200	153200
ORGANO SILANOS	0.1	33.30	10000	133200	158200

Como se pudo observar en la tabla anterior, en cada uno de los valores de estabilización de cada uno de los materiales estabilizantes, aumentó 25000 dólares, valor perteneciente a la construcción del micropavimento, de todo el tramo analizado (1Km).

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. ANTECEDENTES

- Los porcentajes óptimos para cada uno de los materiales estabilizantes fueron:
 - Cal 8%
 - Cemento 4%
 - Emulsión Asfáltica 3%
 - Organo Silanos 0.1%
 - Por lo tanto el menor porcentaje es 0.1% y es para la estabilización con órganosilanos, pero es más costosa que los demás productos estabilizantes, en cambio con Cal es un mayor porcentaje pero es menos costoso.
- Para elevar el porcentaje de CBR, una excelente opción es la cal, ya que como estos suelos son orgánicos, la cal reacciona perfectamente, produciendo un incremento de más del 100% en el CBR.
- El cemento es un material estabilizante que da estabilidad, pero es menor al valor del CBR de la cal.
- La emulsión asfáltica no es recomendable para estabilizar estos suelos, ya que no reacciona adecuadamente con los suelos, y por lo tanto no existe mayor variación con respecto al valor del suelo en estado natural.
- La estabilización con Órgano-Silanos es bastante ventajosa ya que éste producto, le impermeabiliza totalmente al suelo, tanto al limo arenoso como al limo orgánico arenoso.

- Los porcentajes que se indican para la mezcla están en función al peso seco del agregado.
- Después de realizar el ensayo de granulometría al material pétreo y de acuerdo a su gradación, los agregados cumplen con las especificaciones para el siguiente tipo de Micro-pavimento.
 - El agregado de la Mina Pintag para Micro-pavimento TIPO III

7.2. CONCLUSIONES

- Las mejores opciones de estabilización fueron con Cal y Cemento, por su capacidad portante y por lo económico, pero para obtener una excelente estabilización, con muchas ventajas, se podría realizar una estabilización mixta, podría ser órgano-silanos con cemento, u órgano-silanos con cal, de ésta manera se tendría porcentajes más bajos, sea de cemento o cal, y también se reduciría el porcentaje de dosificación de los órgano-silanos. Llegando al punto de abaratar costos, obteniendo resultados de estabilización muy buenos, (CBR alto y un suelo totalmente impermeable).
- El tiempo de rotura de las mezclas en laboratorio es de 30 minutos y se obtiene cohesión necesaria para la apertura al tráfico en cada una de las mezclas a partir de los 80 minutos de fabricada. En campo se deberá verificar de acuerdo a las condiciones ambientales y meteorológicas, considerando que este diseño se realizó en las instalaciones de Calacalí, que se encuentra a 3000 msnm y temperaturas entre 18 y 20°C.

7.3. RECOMENDACIONES

- Para realizar el muestreo en campo, siempre hay que tomar en cuenta la metodología que se encuentra en las normas, ya que existen factores muy importantes como son la humedad natural del suelo, en el caso de una estabilización.
- Nunca dejarse engañar de un valor alto en la parte de estabilización ya que para estos casos, siempre se debe tener la vida útil que ofrece cada material estabilizante.
- El presente diseño ha sido realizado con agregados adquiridos directamente en la mina, realizando un muestreo y transporte del mismo acorde con los procedimientos normados para este tipo de trabajos.
- Los resultados y fórmula de trabajo presentados en esta investigación, han sido obtenidos en condiciones controladas de laboratorio, debiendo ratificarse o rectificarse los resultados a obtenerse en condiciones reales de trabajo cuando se lo realiza en campo.
- Durante el proceso constructivo se deberán realizar por cada entrega de material, muestreos y ensayos de los materiales utilizados para ratificar que se cumplan los requerimientos de calidad dados en las especificaciones.
- Es necesario que la Humedad de los agregados, granulometría, plasticidad y valores de equivalente de arena sean controlados al menos al inicio de cada jornada y por cada entrega de material, llevando un registro estadístico, detallado los resultados para mantener un historial, que permita tomar decisiones, en caso de requerirse alguna modificación

tanto a la estabilización como al diseño del micropavimento.

- En caso de existir variaciones en las características del material se deberá rediseñar la mezcla de micropavimento.
- Los agregados deberán estar protegidos de la Humedad, agregados con exceso de Humedad afectan el comportamiento de la mezcla.
- El agua a ser utilizada en el diseño, deberá estar pura y limpia de cualquier tipo de contaminación orgánica o química, de lo contrario se podría utilizar un filtro de grava, el cual purificará al menos en un 80% el agua.
- No se deben realizar trabajos en caso de Humedad excesiva o posibilidad de lluvias. La Humedad ambiental afecta notablemente las características del suelo como de la mezcla asfáltica, por lo que, para la aplicación de ésta metodología en campo, se deberá llevar un registro detallado de la variación de las condiciones ambientales que permitan mantener un historial en caso de requerirse alguna modificación al diseño tanto del micropavimento como de la estabilización del suelo en estudio.

BIBLIOGRAFÍA

ASEFMA. (s.f.). *Construpedia*. Obtenido de

http://www.construmatica.com/construpedia/Tipos_de_Asfalto

Butterworth, E. (1981). *Silicon in Organic Synthesis Colvin*.

Das, B. M. (1999). *Principles of Foundation Engineering* . California:
Thomson Learning.

ISSA, A. (2010). *Norma para la construcción de Micropavimentos*.

toxement. (2003). http://www.toxement.com.co/pdfs/Emulsion_Asfaltica.pdf.

Wong, M. (1995). http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_civil/asfalto/.