

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



**ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS COHESIVOS MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE UN ADITIVO LÍQUIDO, EN EL SALVADOR**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:
**JAIME MANUEL CABRERA SALAZAR
LUIS ALEJANDRO RAMOS BARQUERO
WILLIAM SECUNDINO RODRÍGUEZ PINEDA**

DOCENTE ASESOR:
ING. JOEL PANIAGUA TORRES

SEPTIEMBRE DE 2014

SANTA ANA

EL SALVADOR

CENTROAMÉRICA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

VICERRECTORA ACADÉMICA:

MAESTRA ANA MARÍA GLOWER DE ALVARADO

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:

MAESTRO OSCAR NOÉ NAVARRETE

SECRETARIA GENERAL:

DRA. ANA LETICIA DE AMAYA

DEFENSORA DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS:

LICDA. CLAUDIA MARÍA MELGAR DE ZAMBRANA

FISCAL GENERAL:

LICDO. FRANCISCO CRUZ LETONA



FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE

DECANO:

DR. RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA LÓPEZ

VICEDECANO:

ING. WILLIAM VIRGILIO ZAMORA GIRÓN

SECRETARIO:

LICDO. VICTOR HUGO MERINO QUEZADA

JEFA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:
INGRA. Y MASTER SORAYA LISSETTE BARRERA RIVERA



SANTA ANA, SEPTIEMBRE DE 2014

TRIBUNAL CALIFICADOR INTEGRADO POR:

ING. JOEL PANIAGUA TORRES
(DOCENTE ASESOR)

ING. RAMÓN FRITZ ALVARADO GLOWER

INGRA. CHRISTA MARÍA MATA DE LARA



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios todo poderoso por regalarme vida y salud para poder cumplir uno de mis sueños, por permitirme gozar de mi familia y mis amigos tanto tiempo y porque puedo aprender cosas nuevas en cada instante.

Virgen María, gracias por tu intercesión, por el amor que nos das, por llevar nuestras oraciones hasta tu hijo Jesús.

Gracias a mi familia, que en ningún momento ha dejado de apoyarme, que siempre están a mi lado y por el orgullo que sienten por mi triunfo

Agradezco a cada uno de los catedráticos y profesores que me ayudaron durante mi formación académica, a mis amigos que sin dudar me han dado su apoyo y ayuda.



DEDICATORIA

A mi mamá, **Cecilia Barquero**, por ser mi fuerza, mi inspiración, mi ejemplo a seguir; esperando que algún día pueda pagarle cada uno de los sacrificios que ha hecho por mí.

A mi papá, **Oscar Aguilar**, por los momentos de felicidad que me ha regalado, por los esfuerzos que hace para sacarme adelante.

A mi hermano, **Oscar Ramos**, por ser un pilar importante en la familia, por darme ánimos durante toda mi vida.

A **Leticia Lue**, por su paciencia, entendimiento y comprensión a lo largo de mi formación académica. Por motivarme a superarme y ser mejor cada día.

LUIS RAMOS



AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso, quien me ha guiado a lo largo de este camino profesional, ha permitido y facilitado que llegue al final de esta etapa.

A Don Bosco, por ser un intermediario y llevar mis oraciones y peticiones ante Dios omnipotente.

A mi Madre y mi Padre, Elsita y Jaime, quienes me han apoyado incondicionalmente en todo aspecto de mi vida, brindándome un ejemplo de vida envidiable, entregándome la herencia más grande e invaluable que se me pueda otorgar, la educación.

A la familia Aguilar Zaldaña, quienes creyeron en mí y me apoyaron, al brindarme una oportunidad invaluable de aprendizaje profesional y una más importante aún; el aprendizaje ético y moral.



DEDICATORIA

A mi abuelito **Manuel de Jesús Granados**, que en paz descanse, quien cuando estuvo en vida siempre me impulso a estudiar para poder superarme en un futuro.

A mi abuelita **Francisca Salazar**, que gracias a su sacrificio para con sus hijos, logro sacar adelante y formar a una mujer única como lo es mi madre, **Elsita Salazar**, es a ellas a quienes les debo todos mis logros.

A mi padre **Jaime Cabrera**, quien además de ser un padre ejemplar para con sus hijos, es también un amigo que siempre supo que palabras decir en los momentos adecuados. Sos vos "Profe" mi primer y más grande maestro, mi maestro de futbol, ortografía, matemáticas, ética, moral, en fin; mi maestro de vida.

JAIME CABRERA



AGRADECIMIENTOS

Primeramente deseo dar gracias a DIOS, a La Santísima Virgen María, por haberme dado fuerzas y sabiduría para poder concluir con éxito la carrera de ingeniería civil.

A mi Madre María Emelina Pineda, por su amor y por hacer el sacrificio en brindarme la oportunidad de una educación que me permita formarme como un profesional, por su paciencia a lo largo de toda la carrera y la confianza puesta en mí para que pudiera salir adelante

A mi hermano José Saúl Pineda, por brindarme su apoyo ya que siempre pude contar con él en todo momento, motivarme a estudiar ingeniería y cuidarme siempre desde pequeño.

A mis Tía Madrina María Teresa Pineda por brindarme siempre su apoyo incondicional a lo largo de todo mi vida y especialmente en la etapa de mis estudios universitarios, por su cariño y afecto, aunque esté lejos gracias por haber estado pendientes y dispuestos a ayudarme.

A mi Tíos José Ignacio y mi Tía Teresa Romero, por su apoyo y cariño brindado, por la motivación para poder salir siempre adelante gracias por todo

A mi Primas María Pineda, Kathy Cáceres, Katherinne Pineda, Cindy Cáceres, Diana Cáceres, Gloria Pineda por estar siempre en los buenos y malos momentos por apoyarme y brindarme su cariño y especialmente por confiar en mi.



A mis compañeros de Tesis Luis Ramos y Jaime Cabrera por su apoyo mutuo y dedicación al trabajo de graduación.

A mis compañeros de la Universidad por su respaldo a lo largo de toda mi carrera, en esas noches largas de desvelo y trabajo continuo que al final vale la pena hacer.

A mi novia Jeannette Pérez, por su amor y su apoyo para poder culminar mis estudios.



DEDICATORIA

A mi Madre María Emelina Pineda quien además de ser una madre ejemplar fue un padre a la vez, por su sacrificio y entrega para poder salir a delante a pesar de toda adversidad.

Es por eso que eres mi ejemplo a seguir y te dedico mi mayor logro el cual no lo hubiera logrado si ti.

WILLIAM SECUNDINO PINEDA



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	2
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.3 OBJETIVOS	8
1.3.1 Objetivo general	8
1.3.2 Objetivos específicos	8
1.4 JUSTIFICACIÓN	9
1.5 ALCANCES	10
1.6 LIMITANTES	11
1.7 DELIMITACIÓN DEL TEMA	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	13
2.1 RED VIAL DE EL SALVADOR	14
2.2 PAVIMENTOS	18
2.3 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	22
2.4 MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	24
2.4.1 Métodos de estabilización mecánica.....	24
2.4.2 Métodos de estabilización física.....	25
2.4.3 Métodos de estabilización química.....	26
2.5 CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	28
2.5.1 Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.) (ASTM D-2487) 29	
2.5.1.1 Suelos gruesos	34



2.5.1.2	Suelos finos	35
2.5.1.2.1	Plasticidad	35
2.5.2	Clasificación de la asociación americana de funcionarios del transporte y carreteras estatales (A.A.S.H.T.O. M-145)	36
2.6	LÍMITES DE ATTERBERG	41
2.7	CONTENIDO DE HUMEDAD	42
2.8	MÁXIMA DENSIDAD DE COMPACTACIÓN	42
2.8.1	Influencia de la humedad	42
2.8.2	Influencia de la energía de compactación	43
2.8.3	Influencia del tipo de suelo	44
2.9	RELACIÓN DE SOPORTE (CBR)	45
2.9.1	Definición de número CBR	46
2.10	ADITIVO LÍQUIDO A ESTUDIAR	46
2.10.1	Modo de uso:	48
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS		51
3.1	LIMITES DE ATTERBERG (AASHTO T-89 Y T-90)	52
3.1.1	Límite líquido	52
3.1.2	Limite plástico	52
3.2	PORCENTAJE DE ARENA POR LAVADO (AASHTO T-11)	53
3.2.1	Procedimiento “A” lavado con agua	54
3.2.2	Procedimiento “B” lavado usando agente humectante	56
3.3	CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS (AASHTO M-145)	57
3.4	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (AASHTO T-265)	



3.5	MÁXIMA DENSIDAD SECA (ENSAYO PROCTOR MODIFICADO AASHTO T-180).....	60
3.6	DETERMINACIÓN DEL CBR (AASHTO T-193).....	61
3.6.1	Preparación del material	61
3.6.2	Cantidad de material	61
3.6.3	Preparación de muestras para CBR.....	62
3.6.3.1	Determinación de la densidad y humedad.....	62
3.6.3.2	Saturación para determinar el hinchamiento	63
3.6.3.3	Penetración del espécimen para determinar el CBR.	64
3.6.4	Cálculo de CBR.....	65
3.6.4.1	Métodos para determinar el CBR de diseño	68
3.6.4.1.1	Método I	68
3.6.4.1.1.1	Suelos gravosos y arenosos	68
3.6.4.1.2	Método II.....	69
3.6.4.1.1.2	Suelos cohesivos, plásticos, poco o nada expansivos.....	69
3.6.4.1.1.3	Suelos cohesivos, plásticos y expansivos	69
3.6.5	Valores referenciales de CBR, usos y suelos	71
3.7	RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO CON ADITIVO.....	71
3.7.1	Diseño de mezcla suelo-aditivo.....	71
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE DATOS		73
4.1	INTRODUCCION	74
4.2	MUESTREO DE SUELOS.....	75
4.3	CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	75
4.3.1	Determinación de subgrupo.....	77



4.3.1.1 Muestra UES FMOcc.	78
4.3.1.2 Muestra Pinalón	78
4.3.1.3 Muestra Labor	78
4.4 CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL	78
4.5 MÁXIMA DENSIDAD DE COMPACTACIÓN PROCTOR Y HUMEDAD ÓPTIMA.....	79
4.5.1 Muestra UES FMOcc.....	80
4.5.2 Muestra Pinalón.....	81
4.5.3 Muestra Labor.....	82
4.6 RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELOS SIN ADITIVO.....	83
4.6.1 Determinación de la densidad y humedad en molde de CBR.....	83
4.6.2 Determinación de las propiedades expansivas del material durante la saturación	84
4.6.3 Determinación de la resistencia a la penetración después de la saturación	85
4.6.4 CBR de diseño.....	87
4.6.4.1 Muestra UES FMOcc.	88
4.6.4.2 Muestra Pinalón	88
4.6.4.3 Muestra Labor	89
4.7 RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELOS CON ADITIVO.....	90
4.7.1 Determinación de la densidad y humedad en molde de CBR.....	90
4.7.1.1 Muestra UES FMOcc.	90
4.7.1.2 Muestra Pinalón	91
4.7.1.3 Muestra Labor	92



4.7.2 Determinación de las propiedades expansivas del material durante la saturación	93
4.7.2.1 Muestra UES FMOcc.	93
4.7.2.2 Muestra Pinalón	94
4.7.2.3 Muestra Labor	95
4.7.3 Determinación de la resistencia a la penetración después de la saturación	96
4.7.3.1 Muestra UES FMOcc.	96
4.7.3.2 Muestra Pinalón	97
4.7.3.3 Muestra Labor	99
4.7.4 CBR de diseño.....	100
4.7.4.1 Muestra UES FMOcc.	100
4.7.4.1.1 Dosificación 1:1000	100
4.7.4.1.2 Dosificación 2:1000	101
4.7.4.1.3 Dosificación 3:1000	102
4.7.4.2 Muestra Pinalón	103
4.7.4.2.1 Dosificación 1:1000	103
4.7.4.2.2 Dosificación 2:1000	104
4.7.4.2.3 Dosificación 3:1000	105
4.7.4.3 Muestra Labor	106
4.7.4.3.1 Dosificación 1:1000	106
4.7.4.3.2 Dosificación 2:1000	107
4.7.4.3.3 Dosificación 3:1000	108



4.8 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE SUELOS SIN ADITIVO Y SUELOS CON ADITIVO	109
4.8.1 Relación de soporte	109
4.8.1.1 Muestra UES FMOcc.	110
4.8.1.2 Muestra Pinalón	111
4.8.1.3 Muestra Labor	112
4.8.2 Límites de Atterberg.....	113
4.8.2.1 Muestra UES FMOcc.	113
4.8.2.2 Muestra Pinalón	114
4.8.2.3 Muestra Labor	114
4.8.3 Máxima densidad de compactación.....	115
4.8.3.1 Muestra UES FMOcc.	115
4.8.3.1 Muestra Pinalón	116
4.8.3.1 Muestra Labor	116
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
5.1 CONCLUSIONES.....	119
5.2 RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	123
ANEXOS.....	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación funcional de las carreteras regionales, volúmenes de tránsito y número de carriles.....	16
Tabla 2.2 Red vial nacional según MOPTVDU	17
Tabla 2.3 Red vial, vías no pavimentadas según MOPTVDU.....	18



Tabla 2.4 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)	30
Tabla 2.5 Materiales para terraplenes	32
Tabla 2.6 Suelos de cimentación	33
Tabla 2.7 Plasticidad según Atterberg	36
Tabla 2.8 Clasificación de suelos según A.A.S.H.T.O. M-145	40
Tabla 2.9 Propiedades ensayo CBR.....	46
Tabla 2.10 Características físico-químicas del aditivo	48
Tabla 3.1 Valores típicos de consistencia de suelos.....	53
Tabla 3.2 Masa mínima de muestra d ensayo	54
Tabla 3.3 Cantidad de masa mínima a utilizarse en la determinación de humedad de un material	59
Tabla 3.4 Precisión de balanzas, según el tamaño de la muestra a ensayar	59
Tabla 3.5 Métodos para ensayo Proctor modificado.....	61
Tabla 3.6 Hinchamiento vrs CBR.....	64
Tabla 3.7 Valores de deformación y carga de suelo patrón.....	67
Tabla 3.8 Valores de referencia de suelos, CBR y sus usos	71
Tabla 4.1 Resultados de Límites de Atterberg	76
Tabla 4.2 Resultados de % de arena.....	76
Tabla 4.3 Clasificación de los suelos	77
Tabla 4.4 Cuadro resumen prueba Proctor T-180 Muestra UES FMOcc.....	80
Tabla 4.5 Cuadro resumen prueba Proctor T-180 Muestra El Pinalón.	81
Tabla 4.6 Cuadro resumen prueba Proctor T-180 Muestra Labor.	82
Tabla 4.7 Densidad y humedad, muestra UES FMOcc., después de compactar ..	83
Tabla 4.8 Densidad y humedad, muestra Pinalón, después de compactar	83
Tabla 4.9 Densidad y humedad, muestra Labor, después de compactar	84
Tabla 4.10 Hinchamiento, muestra UES FMOcc.	84
Tabla 4.11 Hinchamiento, muestra Pinalón	85
Tabla 4.12 Hinchamiento, muestra Labor	85
Tabla 4.13 CBR de diseño, muestra UES FMOcc.	88



Tabla 4.14 CBR de diseño, muestra Pinalón	88
Tabla 4.15 CBR de diseño, muestra Labor	89
Tabla 4.16 Densidad y humedad, dosificación 1:1000, muestra UES FMOcc., después de compactar.....	90
Tabla 4.17 Densidad y humedad, dosificación 2:1000, muestra UES FMOcc., después de compactar.....	91
Tabla 4.18 Densidad y humedad, dosificación 3:1000, muestra UES FMOcc., después de compactar.....	91
Tabla 4.19 Densidad y humedad, dosificación 1:1000, muestra Pinalón, después de compactar	91
Tabla 4.20 Densidad y humedad, dosificación 2:1000, muestra Pinalón, después de compactar	91
Tabla 4.21 Densidad y humedad, dosificación 3:1000, muestra Pinalón, después de compactar	92
Tabla 4.22 Densidad y humedad, dosificación 1:1000, muestra Labor, después de compactar	92
Tabla 4.23 Densidad y humedad, dosificación 2:1000, muestra Labor, después de compactar	92
Tabla 4.24 Densidad y humedad, dosificación 3:1000, muestra Labor, después de compactar	92
Tabla 4.25 Hinchamiento, dosificación 1:1000, muestra UES FMOcc.....	93
Tabla 4.26 Hinchamiento, dosificación 2:1000, muestra UES FMOcc.....	93
Tabla 4.27 Hinchamiento, dosificación 3:1000, muestra UES FMOcc.....	93
Tabla 4.28 Hinchamiento, dosificación 1:1000, muestra Pinalón.....	94
Tabla 4.29 Hinchamiento, dosificación 2:1000, muestra Pinalón.....	94
Tabla 4.30 Hinchamiento, dosificación 3:1000, muestra Pinalón.....	94
Tabla 4.31 Hinchamiento, dosificación 1:1000, muestra Labor	95
Tabla 4.32 Hinchamiento, dosificación 2:1000, muestra Labor	95
Tabla 4.33 Hinchamiento, dosificación 3:1000, muestra Labor	95



Tabla 4.34 CBR de diseño, dosificación 1:1000, muestra UES FMOcc.....	100
Tabla 4.35 CBR de diseño, dosificación 2:1000, muestra UES FMOcc.....	101
Tabla 4.36 CBR de diseño, dosificación 3:1000, muestra UES FMOcc.....	102
Tabla 4.37 CBR de diseño, dosificación 1:1000, muestra Pinalón.....	103
Tabla 4.38 CBR de diseño, dosificación 2:1000, muestra Pinalón.....	104
Tabla 4.39 CBR de diseño, dosificación 3:1000, muestra Pinalón.....	105
Tabla 4.40 CBR de diseño, dosificación 1:1000, muestra Labor	106
Tabla 4.41 CBR de diseño, dosificación 2:1000, muestra Labor	107
Tabla 4.42 CBR de diseño, dosificación 3:1000, muestra Labor	108
Tabla 4.43 CBR con aditivo vs CBR sin aditivo, muestra UES FMOcc.....	110
Tabla 4.44 CBR con aditivo vs CBR sin aditivo, muestra Pinalón.....	111
Tabla 4.45 CBR con aditivo vs CBR sin aditivo, muestra Labor	112
Tabla 4.46 Comparación límites de Atterberg, muestra UES FMOcc.	113
Tabla 4.47 Comparación límites de Atterberg, muestra Pinalón	114
Tabla 4.48 Comparación límites de Atterberg, muestra Labor.....	114
Tabla 4.49 Comparación máxima densidad de compactación, muestra UES FMOcc.	115
Tabla 4.50 Comparación máxima densidad de compactación, muestra Pinalón .	116
Tabla 4.51 Comparación máxima densidad de compactación, muestra Labor....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos.....	22
Figura 2.2 Límites de consistencia observado por Atterberg	41
Figura 2.3 Influencia de la humedad sobre la densidad seca	43
Figura 2.4 Influencia de energía de compactación	44
Figura 2.5 Influencia del tipo de suelo	45
Figura 3.1 Gráficas de Esfuerzo-Penetración (56,25 y 12 golpes).....	66
Figura 3.2 Gráfica de corrección de curvas Esfuerzo-Penetración	66



Figura 3.3 Gráfica Densidad seca en estado saturado-CBR (0.1 y 0.2)	68
Figura 4.1 Resultados ensayo Proctor T-180 Muestra UES FMOcc.....	80
Figura 4.2 Resultados ensayo Proctor T-180 Muestra Pinalón.....	81
Figura 4.3 Resultados ensayo Proctor T-180 Muestra Labor.	82
Figura 4.4 Resistencia a la penetración, muestra UES FMOcc.	86
Figura 4.5 Resistencia a la penetración, muestra Pinalón	86
Figura 4.6 Resistencia a la penetración, muestra Labor	87
Figura 4.7 CBR de diseño, muestra UES FMOcc.	88
Figura 4.8 CBR de diseño, muestra Pinalón	89
Figura 4.9 CBR de diseño, muestra Labor.....	90
Figura 4.10 Resistencia a la penetración, dosificación 1:1000, muestra UES FMOcc.	96
Figura 4.11 Resistencia a la penetración, dosificación 2:1000, muestra UES FMOcc.	96
Figura 4.12 Resistencia a la penetración, dosificación 3:1000, muestra UES FMOcc.	97
Figura 4.13 Resistencia a la penetración, dosificación 1:1000, muestra Pinalón ..	97
Figura 4.14 Resistencia a la penetración, dosificación 2:1000, muestra Pinalón ..	98
Figura 4.15 Resistencia a la penetración, dosificación 3:1000, muestra Pinalón ..	98
Figura 4.16 Resistencia a la penetración, dosificación 1:1000, muestra Labor	99
Figura 4.17 Resistencia a la penetración, dosificación 2:1000, muestra Labor	99
Figura 4.18 Resistencia a la penetración, dosificación 3:1000, muestra Labor ...	100
Figura 4.19 CBR de diseño, dosificación 1:1000, muestra UES FMOcc.	101
Figura 4.20 CBR de diseño, dosificación 2:1000, muestra UES FMOcc.	102
Figura 4.21 CBR de diseño, dosificación 3:1000, muestra UES FMOcc.	103
Figura 4.22 CBR de diseño, dosificación 1:1000, muestra Pinalón	104
Figura 4.23 CBR de diseño, dosificación 2:1000, muestra Pinalón	105
Figura 4.24 CBR de diseño, dosificación 3:1000, muestra Pinalón	106
Figura 4.25 CBR de diseño, dosificación 1:1000, muestra Labor	107



Figura 4.26 CBR de diseño, dosificación 2:1000, muestra Labor	108
Figura 4.27 CBR de diseño, dosificación 3:1000, muestra Labor	109
Figura 4.28 Comportamiento gráfico del aditivo, muestra UES FMOcc.....	110
Figura 4.29 Comportamiento gráfico del aditivo, muestra Pinalón.....	111
Figura 4.30 Comportamiento gráfico del aditivo, muestra Labor	112

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 3.1 Límite líquido, método B	52
Ec. 3.3 Índice de plasticidad	53
Ec. 3.2 Porcentaje de Arena	53
Ec. 3.4 Índice de grupo	57
Ec. 3.5 Índice de grupo parcial.....	58
Ec. 3.6 Contenido de humedad.....	59
Ec. 3.7 Porcentaje de hinchamiento	63
Ec. 3.8 Cálculo de CBR	67
Ec. 4.1 Índice de grupo UES FMOcc.	76
Ec. 4.2 Índice de grupo Pinalón	77
Ec. 4.3 Índice de grupo Labor	77
Ec. 4.4 Grado de compactación.....	84



INTRODUCCIÓN

Los países industrializados invierten muchísimo en el desarrollo de nuevas tecnologías, y la industria de la construcción no es la excepción la cual invierte en tecnologías nuevas o en el mejoramiento de las existentes, como materiales de construcción ya sean estos concretos, agregados, tipos de acero, aditivos, etc.

Tales innovaciones son aplicables algunas veces solo en sus regiones de origen es por tal razón que si adoptamos una tecnología extranjera, no sabremos su comportamiento en nuestro país, es ahí donde se emplean métodos o estudios para adoptarlas y hacerlas funcionales en nuestro medio, es por eso que en el marco de estas investigaciones se estudiará la estabilización de suelos cohesivos aplicando a ellos un aditivo químico líquido impermeabilizador, el cual mejora suelos con características no deseadas hablando desde el punto de vista ingenieril; haciendo que los suelos tratados puedan obtener valores índices de sus propiedades adecuados para ser implementados en obras viales y en terraplenes, sin embargo hay que tener en cuenta, que muchas veces las dosificaciones para utilizar esta clase de productos han sido determinadas mediante estudios realizados en los países de origen así que es importante acoplar estas tecnologías a nuestro medio; el presente trabajo tiene como objetivo dar a conocer de una manera general la factibilidad de estabilizar químicamente suelos cohesivos mediante el uso un agente estabilizador de carácter líquido.

Para ello es importante conocer que se ha hecho anteriormente para estabilizar químicamente los suelos con estas características en nuestro país, como estabilizaciones de carácter químico y físico, también es de suma importancia mostrar lo que se pretende lograr con la futura investigación y por último y no menos importante, mostrar la importancia que tendrá en el ámbito ingenieril salvadoreño contar con dicho estudio, el cual permitirá el uso más eficiente de estas nuevas tecnologías.



CAPÍTULO I: GENERALIDADES



1.1 ANTECEDENTES

A través de los años, se han desarrollado un gran número de estándares para la selección de los materiales para la construcción de caminos, actualmente los materiales de construcción se clasifican usando estas guías de consulta. Cada país tiene sus propios estándares basados en condiciones ambientales, principalmente geológicas y climáticas, perceptiblemente diferente de las que prevalecen en otros países. El estándar generalmente especifica la calidad granular, la calificación de la grava y el rango específico del índice de plasticidad y la capacidad mínima de carga.

La mayoría de las especificaciones para los caminos pavimentados se ha desarrollado tanto para caminos rurales como urbanos tomando en cuenta altos volúmenes de tráfico. Estos estándares han sido extrapolados para rebajar las condiciones del volumen de tráfico, con poca base científica. La calidad de los materiales para cada capa en el camino se especifica cuidadosamente dependiendo de la capa, del diseño del tráfico y de las condiciones ambientales que prevalecen. Una situación diferente resulta de los caminos sin pavimentar en las categorías de tráfico ligero, como serían los caminos agrícolas o residenciales. Los materiales usados deben necesariamente de estar localmente disponibles.

Los materiales de construcción para caminos que cumplen con todos los requisitos necesarios, se han vuelto escasos y muy costosos para conseguir. Necesitan a menudo un largo procesamiento o ser acarreados desde largas distancias, de tal modo que se vuelven inaccesibles en costo para estructuras ligeras de pavimento, además de resultar poco satisfactorios bajo cargas pesadas y condiciones mojadas. Si por ejemplo los suelos locales no cumplen los requisitos mínimos pueden ser mejorados a través de la estabilización de suelos.

La disminución de disponibilidad de suelos adecuados para la conformación de la estructura de pavimentos (rígidos o flexibles) y el aumento de sus costos junto con el incierto clima económico, significarán que el ingeniero necesitará considerar



métodos lo más económicos posibles para construir caminos, usando los materiales localmente disponibles aun cuando estos no cumplan con los estándares requeridos. La situación llega a ser aún más crítica cuando se trata de la siempre creciente demanda para la construcción de caminos en las áreas rurales subdesarrolladas y los establecimientos informales cerca de los centros metropolitanos.

Además, las presiones aumentan cuando la minería, la silvicultura y las industrias agrícolas hacen necesario la construcción de caminos de óptimo funcionamiento con los menores costos y el mínimo mantenimiento. Todo ello lleva a la necesidad de desarrollar técnicas apropiadas de diseño para la construcción de caminos.

El uso de materiales in situ es una alternativa que ofrece la ventaja de la reducción de procesamiento y los costos de acarreo, reduciendo al mínimo la erosión ambiental que produce la importación de materiales aunque proporciona un desempeño regular. Sin embargo, la mayoría de los materiales in situ no proporcionarían una cimentación adecuada sin un cierto tratamiento.

Ingenieros especializados en construcción de caminos, con algunos años de experiencia, saben bien que la mayoría de las fallas prematuras de un camino se pueden atribuir, directamente o indirectamente, a la presencia de excesiva humedad. La razón principal de esto es el efecto del agua en el refuerzo de los materiales naturales. Aunque muchos materiales tienen fuerza adecuada para soportar cargas mientras que se encuentren en un estado seco relativo, la presencia de excesiva agua produce la degradación del material y el incremento de la porosidad, lo que debilita el material.

Deberá tomarse en cuenta que el agua es un elemento esencial en el proceso de la construcción y cuando se agrega en la proporción correcta reduce la energía a utilizar para compactar el material a una cierta densidad. Si el contenido de humedad aumentara, la capa del pavimento sería perjudicialmente afectada.



Para obtener el máximo beneficio de usar los materiales locales es necesario alcanzar una alta densidad y después evitar un aumento en el contenido de humedad. Una forma de lograr esto es modificar las propiedades de absorción del agua en la arcilla presente en la grava.

Si el ingeniero es forzado a considerar medios económicos de modificar las propiedades de materiales poco adecuados para hacerlos más convenientes para los propósitos previstos, es necesario el entendimiento:

1. De las propiedades que deberán ser modificadas.
2. De la acción de un agente estabilizador de los materiales.

Para la selección de un agente estabilizador se debe de conocer la disponibilidad en el mercado y el tipo de estabilizaciones usadas anteriormente en El Salvador, como son:

- Estabilización mecánica
- Estabilización física
- Estabilización química

En la actualidad, la globalización, nos permite pensar en tecnologías desarrolladas en otros países como alternativa en el tratamiento de suelos. La estabilización química tiene una gran variedad de aditivos que cumplen diferentes funciones y que obedecen diferentes procedimientos; pero siempre con el fin de mejorar características deseadas de los suelos.

Los aditivos impermeabilizantes han tenido un crecimiento sustancial en la utilización para la estabilización de suelos; como es el caso del aditivo CBR PLUS/CON-AID, que ha ganado prestigio en Sudamérica en las últimas dos décadas por el manejo en una diversidad de proyectos viales.

Uno de los primeros proyectos realizados con éste aditivo fue en el año de 1,996 ubicado en Haras El Argentino, en el municipio de Luján, Buenos Aires, Argentina. El trabajo consistió en la compactación de la subrasante con suelo del lugar, más un tres por ciento de cal, y luego el aporte de suelo extraído de un yacimiento para



conformar una capa de 15 cm compactados, que éstos fueron estabilizados con el aditivo líquido. Este suelo era un CL (arcilla de baja a media plasticidad), y el resultado fue muy bueno. Se colocó una carpeta de rodamiento de 30 kg/m² de piedra partida granítica.

Otro proyecto ubicado en el municipio de Alte Brown, Buenos Aires, Argentina en el año de 1,999. Más de 189,000 m² estabilizados de vías terrestres, compuestas por un suelo con una elevada plasticidad y gran heterogeneidad, debido al gran aporte de cascotes y basura que los vecinos van arrojando a la calzada. El suelo de la zona es de clasificación CH (arcilla de alta compresibilidad). Con la estabilización con CBR PLUS/CON-AID, se logra llegar a Valor Soporte de alrededor de 15, lo que significa un aumento de entre el 400 y el 500%, respecto del suelo sin aditivo. El proyecto de Alte Brown también incluyó la colocación de una carpeta de piedra partida granítica de tamaño máximo de 20 mm, con una resistencia que oscilo alrededor de los 20 kg/m².

Otro punto importante es la rapidez de secado que evidencian las zonas tratadas respecto de las que no lo están, a tan solo un par de horas de cesar la lluvia, la superficie estabilizada ya tiene un aspecto muy cercano al seco, mientras que el resto de las zonas permanece inaccesible por unos 4 o 5 días.



1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los suelos son conjuntos de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de las rocas¹. Es así que sobre la superficie terrestre se encuentran una infinidad de suelos con características muy diferentes, dichos tipos de suelo pueden cambiar drásticamente de un lugar a otro, tanto que la morfología del suelo puede cambiar drásticamente en cuestión de metros en un lugar determinado. Es lógico pensar que una carretera o camino atraviesa una gran cantidad de tipos de suelo en su trazo geométrico, estos suelos no siempre presentan características deseables ingenierilmente hablando, es ahí donde surge la necesidad de mejorar las características indeseables de estos tipos de suelos encontrados, por ejemplo las arcillas.

En el tratamiento de suelos existe una gran variedad de alternativas y opciones a implementar; pero para el tratamiento de suelos con alta plasticidad, las alternativas son poco efectivas y algunas demasiado costosas, generalmente se opta por restituir dicho suelo por otro con características deseables, lo que conlleva a realizar grandes desembolso económicos para darle solución a esta problemática. Actualmente existe un aditivo líquido que se mezcla con suelos cohesivos el cual mejora las propiedades físicas y mecánicas de estos suelos, a tal punto que pueden ser utilizados en proyectos de infraestructura vial como bases, sub-bases, terraplén o superficies de rodadura, este último caso en calles de bajo tránsito o carreteras no pavimentadas como son conocidas en nuestro país, sin embargo este aditivo fue desarrollado por países de Norteamérica y por consiguiente todos los estudios que se realizaron durante el desarrollo del aditivo fueron hechos en suelos de esos países, bajo condiciones propias de esos países. En base a lo antes expuesto el problema primordial radica en la

“Inaplicabilidad de los estudios y dosificaciones del aditivo líquido en suelos con características cohesivas de nuestro país”

¹ Alfonso Rico, La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Tomo I, 1 Ed. Pág. 18.



OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Evaluar técnicamente la capacidad de soporte de suelos con características cohesivas de nuestro país, estabilizados mediante un aditivo líquido impermeabilizante.

1.2.2 Objetivos específicos

Tomar como objeto de estudio, suelos altamente plásticos (índice de plasticidad mayor de 17) habitualmente situados en proyectos viales de nuestro país.

Determinar el valor de relación de soporte (C.B.R.) de cada tipo de suelo a estudiar.

Comparar la relación de soporte (C.B.R.) de cada tipo de suelo natural, con la relación de soporte (C.B.R.) de los mismos suelos tratados con el aditivo líquido.

Determinar la dosis de aditivo líquido que otorgue mejores beneficios a los suelos cohesivos en estudio.



1.3 JUSTIFICACIÓN

En nuestro país existen diferentes métodos de estabilización de suelos ya sean físicos, químicos o mecánicos. Siendo la estabilización química una de las más utilizadas en los suelos cohesivos en nuestro medio.

Es así que en nuestro caso, dentro del contexto de la estabilización química, se implementará un aditivo químico líquido para mejorar las características físicas y mecánicas de los suelos cohesivos, del cual, no existe información o experiencia de alguna obra realizada en nuestro país. La investigación determinará el comportamiento de suelos tratados con el aditivo líquido en El Salvador; es así que se vuelve fundamental estudiar dicho comportamiento y comparar el valor de la relación de soporte de california (California Bearing Ratio C.B.R.) de los suelos naturales con los suelos tratados con el aditivo líquido, y así proponer diversas dosificaciones que sean funcionales, mejorando con esto, la capacidad de soporte de los suelos cohesivos a ser utilizados en proyectos viales de nuestro país. Pudiendo brindar un nuevo método de estabilización aplicable a suelos salvadoreños, con rápidos procesos constructivos y aprovechamiento de suelos in situ en obras viales, ya sea como base, sub-base, terraplén o carpeta de rodamiento en carreteras no pavimentadas.



1.4 ALCANCES

Mediante la realización de este estudio se persigue generar una herramienta válida que ayude en la creación o restauración de carreteras no pavimentadas, conformación de bases, sub bases o terraplén de carreteras pavimentadas; lo cual presenta una excelente opción para la aplicación de un aditivo que mejore las características mecánicas de los suelos in situ.

Dentro de las actividades a realizar en este estudio se tienen las siguientes:

- Recolectar muestras de tres tipos distintos de suelos con diferentes índices de plasticidad (IP mayores a 17).
- Realizar los distintos ensayos para conocer las características físicas y mecánicas de los suelos a evaluar.
- Determinar la proporción aditivo-agua que brinde mejores resultados del valor de CBR para cada suelo a evaluar, al aplicar el aditivo líquido.



1.5 LIMITANTES

- No existe información sobre estabilización química con aditivos impermeabilizantes en El Salvador.
- No se posee información ni experiencia técnica en la realización de los ensayos de Proctor y CBR en suelos altamente plásticos.



1.6 DELIMITACIÓN DEL TEMA

- La investigación no contemplará la composición química del aditivo ni de los suelos; de igual manera la reacción química entre ambos.
- Los costos para la estabilización mediante el aditivo a estudiar, no serán de interés en el desarrollo de la investigación.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL



2.1 RED VIAL DE EL SALVADOR

La totalidad de la red vial del país equivale aproximadamente a 6481.48 km, de los cuales 3663.45 Km corresponden a vías pavimentadas y 2818.03 Km conforman vías no pavimentadas según información del Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOPTVDU).

Los conceptos y definiciones relacionados con la red vial, utilizados en El Salvador por diferentes instituciones públicas y privadas difieren entre sí, algunos enunciados coinciden con el marco legal vigente, otros conceptos son asumidos para cada institución de acuerdo a criterios y a puntos de vista propios.

La Ley del FOVIAL (Fondo de Conservación Vial) asume estas definiciones y añade otros conceptos². En el artículo tres numeral dos sobre “definiciones” dice:

Red Vial Nacional Prioritaria: Conjunto de carreteras pavimentadas y caminos no pavimentados bajo la competencia del Gobierno Nacional, cuyo propósito fundamental es comunicar adecuadamente a los municipios del país, y a éste con el resto de la región centroamericana. La Red Vial Nacional Prioritaria se integra de la siguiente manera:

- **Carreteras Pavimentadas**, las cuales se subdividen en especiales, primarias y secundarias, de conformidad a lo que establece la ley de la materia;
- **Camino Principal no Pavimentado**, el cual conecta el municipio con la principal carretera pavimentada o municipios entre sí, así como otros tramos de prioridad nacional esenciales para el desarrollo agropecuario, turístico y económico del país;

² Decreto legislativo No. 208, 30 de Noviembre de 2000



- **El conjunto de puentes y obras de paso** comprendidas en las referidas carreteras y caminos.

El Ministerio de Obras Públicas (MOP), agrega calificativos a las definiciones anteriores, de acuerdo al tipo de superficie, inclinación y otros. En este sentido, se habla de terciaria mejorada, si la vía posee una capa delgada de asfalto, y rural mejorada, las que según sea la superficie de rodaje o pendiente de la vía, se clasifican en rural A o rural B.

La Ley de Carreteras y Caminos Vecinales es la más explícita en definir y clasificar las vías terrestres de comunicación:

- **Especiales**, que son todas aquellas que resumen condiciones geométricas superiores a las primarias.
- **Primarias**, las capacitadas para intensidades de tránsito superiores a dos mil vehículos promedio por día, con doce metros de plataforma, siete metros treinta centímetros de rodaje y un mínimo de siete metros noventa centímetros de rodaje en los puentes.
- **Secundarias**, las capacitadas para intensidades de tránsito comprendidas entre quinientos y dos mil vehículos promedio por día, con nueve metros cincuenta centímetros de plataforma, seis metros cincuenta centímetros de rodaje y un mínimo de siete metros cuarenta centímetros de rodaje en los puentes.
- **Terciarias**, aquellas cuya intensidad de tránsito está comprendida entre cien y quinientos vehículos promedio por día, con seis metros de plataforma, revestimiento de materiales locales selectos y un mínimo de seis metros cincuenta centímetros de rodaje en los puentes.



- **Rurales**, las capacitadas para una intensidad de tránsito de cien vehículos promedio por día, con cinco metros de plataforma y un mínimo de tres metros de rodaje en los puentes; o que, sin llenar tales características, dicha carretera haya sido construida por el Gobierno Central.
- **Caminos vecinales o municipales**, son aquellos que no estando comprendidos en la clasificación del artículo anterior, comunican villas, pueblos, valles, cantones o caseríos entre sí o conectan éstos con cualquier carretera, los cuales en ningún caso podrán tener menos de seis metros cincuenta centímetros de ancho.

El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2,011 clasifican las carreteras y caminos en base a la siguiente tabla:

Tabla 2.1 Clasificación funcional de las carreteras regionales, volúmenes de tránsito y número de carriles.

FUNCION	CLASE DE CARRETERA	NOMENCLATURA	TPDA (FINAL AÑO DE DISEÑO)	NUMERO DE CARRILES
ARTERIAL PRINCIPAL	AUTOPISTA	AA	>20,000	6-8
	ARTERIA RURARL	AR	10,00-20,000	4-6
	ARTERIAL URBANA	AU	10,00-20,000	4-6
ARTERIAL MENOR	ARTERIAL MENOR RURAL	AMR	3,000-10,000	2
	ARTERIAL MENOR URBANA	AMU	3,000-10,000	2
COLECTOR MAYOR	COLECTOR MAYOR RURAL	CMR	10,00-20,000	4-6
	COLECTOR MAYOR URBANA	CMU	10,00-20,000	4-6
COLECTOR MENOR	COLECTOR MENOR RURAL	CR	500-3,000	2
	COLECTOR MENOR URBANA	CU	500-3,000	2
LOCAL	LOCAL RURAL	LR	100-500	2
	LOCAL URBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1-2

Con excepción de la (1) clase RURAL que será de terracería, todas las demás clases deberán de ser pavimentadas. Las Clases CR, CU y LR también podrán ser pavimentadas o de terracería.



Extensión de la red vial nacional

De la misma manera que las clasificaciones varían según la fuente consultada, así varían los datos sobre la extensión de la red vial nacional. El MOPTVDU en su estudio del año 2012 uno de los más recientes hechos por la entidad muestra los siguientes resultados:

Tabla 2.2 Red vial nacional según MOPTVDU

Departamentos	Pavimentos Km.	No Pavimentadas Km.	Total Km.
Ahuachapán	168.32	258.67	426.99
Santa Ana	297.99	314.11	612.10
Sonsonate	256.60	170.31	426.91
Chalatenango	297.77	312.21	609.98
La Libertad	415.17	225.03	640.20
San Salvador	296.35	151.63	447.98
Cuscatlán	158.75	97.73	256.48
La Paz	337.80	78.74	416.54
Cabañas	147.21	219.72	366.93
San Vicente	171.40	161.18	332.58
Usulután	324.08	216.17	540.25
San Miguel	302.07	251.55	553.62
Morazán	224.90	108.09	332.99
La Unión	265.04	252.89	517.93
Total	3,663.45	2,818.03	6,481.48

La red vial nacional en esencia está comprendida por un 56.52% de caminos pavimentados y 43.48 % de caminos no pavimentados.

Los caminos no pavimentados están conformados por caminos terciarios y caminos rurales según lo muestra la siguiente tabla, sin embargo es notable que la mayoría sean caminos rurales.



Tabla 2.3 Red vial, vías no pavimentadas según MOPTVDU

Departamento	Terciaria	Rural	Total Km.
Ahuachapán	74.02	184.65	258.67
Santa Ana	23.26	290.85	314.11
Sonsonate	21.64	148.67	170.31
Chalatenango	97.19	215.02	312.21
La Libertad	45.21	179.82	225.03
San Salvador	23.64	127.99	151.63
Cuscatlán	2.42	95.31	97.73
La Paz	0.30	78.44	78.74
Cabañas	76.44	143.28	219.72
San Vicente	85.12	76.06	161.18
Usulután	48.24	167.93	216.17
San Miguel	88.83	162.72	251.55
Morazán	23.70	84.39	108.09
La Unión	65.21	187.68	252.89
Total	675.22	2,142.81	2,818.03

El Ministerio de Obras Publicas dentro de las características de las carreteras terciarias menciona que son revestidas de materiales locales selectos, y que los caminos rurales son otra clasificación que no llenan las características de las demás clasificaciones pero que han sido construidas por el gobierno central, por lo cual las carreteras rurales son recubiertas de materiales locales sin ser selectos o apropiados para usos carreteros.

2.2 PAVIMENTOS

La piedra fue uno de los primeros materiales que contó el hombre, ya que servía de materia prima para la construcción de objetos.

Se estima que fue en el 3000 a.C. que el Imperio Hilita (en la península de Anatonía) construyó los primeros caminos a suelo firme. Otro antecedente destacado son los caminos que realizaron los esclavos egipcios alrededor de las pirámides.



A mediados del siglo XVIII se desarrolla el uso de la cal en países como Inglaterra, a través del trabajo de hombres como el ingeniero John Smeaton. Constructor del Faro de Eddystone, Smeaton fue uno de los responsables del cambio vial en la ciudad británica.

La Europa del siglo XIX se caracteriza por un desarrollo en la construcción de caminos pavimentados. En pueblos como Tressaget (en Francia) se observaron los primeros caminos realizados a base de piedras de gran tamaño.

Con la llegada de la Era Industrial se explora con mayor cuidado la realización de rutas de pavimento, utilizando piedras más pequeñas (adoquines). La aparición del automóvil fomenta la diagramación de caminos más extensos, aptos para el traslado de vehículos de peso.

El desarrollo del petróleo fomenta la utilización de betunes asfálticos para la fabricación de carreteras viales y pistas de aterrizaje.

El alquitrán se incorpora al pavimentado de calles de Londres y Madrid. Pero los grandes avances en la materia se dan en los Estados Unidos, a través de la fabricación de nuevas capas asfálticas, que permiten una mayor flexibilidad en el desplazamiento de los autos.

A partir de 1905 comienza a utilizarse el concreto como material para la construcción de las carreteras, dando lugar al proyecto de obras públicas más importante de la historia: el sistema inter-estatal de carreteras de Los Estados Unidos de América.

En nuestro país desde el año de 1920 partes del centro de San Salvador se pavimentan con asfalto y otras utilizando concreto. Luego, entre los años de 1921 y 1928 se dio un gran avance en la construcción de pavimentos, tanto del tipo asfáltico como de concreto hidráulico.

El fin del siglo XX encuentra nuevas técnicas en el desarrollo de nuevas carreteras, que mejoran la adherencia y la capacidad de drenaje ante situaciones climáticas adversas.



¿Qué son los pavimentos?

Pavimento es el conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas. Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías, además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa, el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

Dentro de la estructura de un pavimento se pueden distinguir las siguientes capas que son definidas según el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos de la siguiente manera:



- **Carpeta de Rodadura:** Parte superior de un pavimento, por lo general de pavimento bituminoso o rígido, que sostiene directamente la circulación vehicular.
- **Base:** Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.
- **Sub Base:** Es la capa destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento que transmite la base, de tal manera que la capa de sub rasante la pueda soportar.
- **Sub Rasante:** Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Tipos de Pavimento

Los pavimentos utilizados ampliamente en El Salvador se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles cargas es muy diferente, tal como puede verse en la figura 2.1.

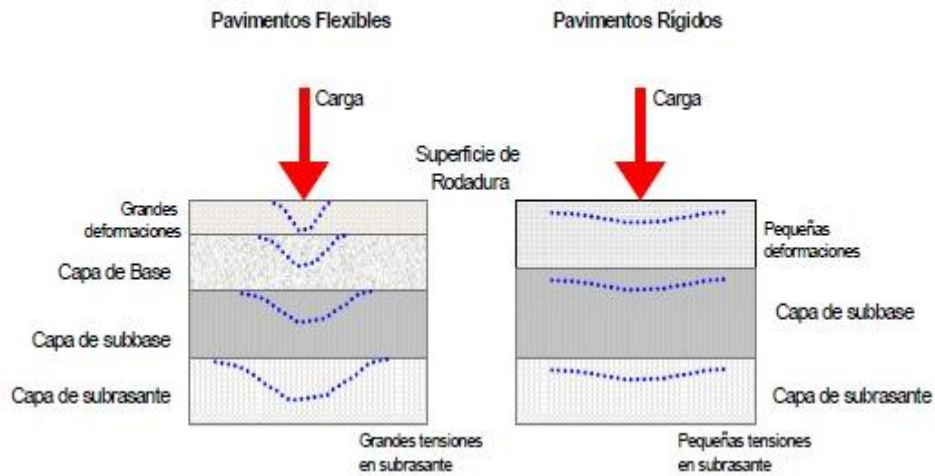


Figura 2.1 Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub rasante.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la sub rasante.

2.3 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La superficie terrestre muestra una gran variedad de configuraciones de tipo morfológica y de composición de los diferentes tipos de suelo, en el desarrollo de las diferente obras civiles es evidente que no siempre se encontrara un suelo adecuado que garantice la estabilidad y durabilidad de dichas obras, y si a esta situación se le agrega la creciente importancia medioambiental y social por minimizar la apertura de nuevos bancos de préstamos de materiales y vertederos necesarios para el desalojo de tierras que requiere una obra civil, es evidente que



se debe hacer esfuerzos mayores en la utilización de materiales calificados como tolerables, marginales e incluso inadecuados.

La estabilización de suelos consiste en modificar las propiedades de este para hacerlo capaz de cumplir mejores requerimientos. Existen básicamente los siguientes tipos de estabilizaciones:

- **Física:** consiste en la adición de otro tipo de suelo con propiedades deseables que ayuden a mejorar la distribución de partículas o granulometría.
- **Química:** se basa en la aplicación de un producto químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a mejorar, los cambios son de carácter intrínseco e irreversible.
- **Mecánica:** es de las más utilizadas y efectivas, consiste en densificar el suelo por medio de la compactación ya sea manual o mecánica.

Entre algunas de las propiedades que se buscan mejorar frecuentemente tenemos:

- **Estabilidad volumétrica:** Generalmente se refiere a los problemas relacionados con los suelos expansivos por cambios de humedad, relacionado con condiciones climáticas o actividad ingenieril. Este estado se busca en las arcillas en las cuales se busca transformar la masa arcillosa expansiva en una masa rígida o granulada, con sus partículas unidas por lazos suficientemente fuertes como para resistir las presiones internas de expansión. Los métodos más efectivos son los del tipo químico.



- **Resistencia:** Se refiere a la capacidad de transmitir carga sin sufrir daños en su estado original, una de las maneras más adecuadas para mejorar esta propiedad es por medio del uso de la estabilización mecánica y física.
- **Permeabilidad:** Se mejora esta propiedad con el uso de métodos mecánicos y químicos, los cuales reducen efectivamente la permeabilidad.
- **Compresibilidad:** Se encuentra tanto en suelos cohesivos como friccionantes, y es la capacidad de deformarse ante la transmisión de cargas, se mejora mediante la estabilización mecánica.
- **Durabilidad:** se busca mejorar la resistencia al intemperismo, erosión o abrasión, por ejemplo del tráfico en un camino

2.4 MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La estabilización de suelos consiste en mejorar las características de este para obtener comportamientos deseables dentro del ámbito de la ingeniería civil, estos métodos o procesos son muy variados y algunos van desde la incorporación de nuevos materiales que produzcan estabilidad a los suelos, hasta la formación de verdaderos mecanismos de defensa contra la acción de las fuerzas climáticas. Los métodos más comunes para lograr esta mejora en las características se clasifican básicamente en: estabilización mecánica, estabilización física y estabilización química.

2.4.1 Métodos de estabilización mecánica

Son aquellos con los que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia, es decir obtener una buena



compactación y densificación del material portante.

Entre los métodos de estabilización mecánica más comunes tenemos:

- **Método de la pila vibrante.**
- **Compactación dinámica.**
- **Combinación de ambos.**

2.4.2 Métodos de estabilización física

Persigue la obtención de una adecuada granulometría, mediante el agregado de materiales granulares o cohesivos o ambos a la vez, al primitivo suelo.

- **Estabilización con cemento (suelo-cemento).**

El suelo-cemento se usa normalmente como capa de apoyo de otros materiales tratados con cemento o de concreto hidráulico o bien como capa resistente. Existen diferentes criterios para evaluar la calidad del suelo-cemento, como por ejemplo, la resistencia a la compresión, a la flexión y a los ciclos de humedecimiento y secado.

- **Estabilización con asfalto (suelo-asfalto).**

Al mezclar las partículas granulares con asfalto, se produce un material más durable y resistente. También se le agregan algunas partículas finas para llenar los vacíos.

Es importante el contenido de humedad del material a anexar al asfalto y también esperar a que se evaporen los gases que este contiene antes de tenderlo y compactarlo.



2.4.3 Métodos de estabilización química

Es la aplicación de un agente estabilizador químico que tiene como objetivo estabilizar el suelo al mezclarse con este.

Un ejemplo claro es el desarrollo de un proyecto vial; estas adiciones químicas se le aplica principalmente a bases, sub-bases, y terraplén para proveer una estabilización garantizada a la vía. El agente estabilizador utilizado será el debidamente escogido y nombrado en el proyecto.

- **Estabilización de suelos con cal.**

La cal es el único producto capaz de proveer una variedad de beneficios, puede ser utilizada en suelos inestables para: secar, modificar y estabilizar.

Suelos aptos para la estabilización con cal:

- Es indispensable antes de comenzar cualquier trabajo con un suelo, tener el conocimiento más preciso posible sobre las características de los materiales que los componen, de los problemas que estos materiales van a generar y de las soluciones que pueden adoptarse.
- Como norma general, se puede señalar que los suelos deben ser plásticos, y en este sentido se considera que, a partir de un índice de plasticidad (IP), igual o mayor de 10, el suelo es adecuado para reaccionar satisfactoriamente a su estabilización, ya que es la clave para las reacciones químicas que proporcionan mejoras en las propiedades del suelo de forma inmediata y a largo plazo.

- **Estabilización de suelos con aditivos.**

Una forma económica y práctica de estabilizar un suelo, es agregarle aditivos que mejoran sus propiedades resistentes, lo impermeabilizan y regulan su contenido de humedad o su evaporación. Existe para ellos



diferentes procedimientos, entre los cuales se mencionan los que generalmente se utilizan:

- **Aditivos humectantes.**

Los suelos de arenas o limos excesivamente secos son disgregables y poco estables, y las arcillas con contenidos de humedad por debajo del límite de retracción, se resquebrajan y agrietan fácilmente. En estos casos, los suelos se estabilizan agregándoles aditivos que les confieran y retengan la humedad mínima necesaria para evitar que no sean lavados por las primeras lluvias, luego de una prolongada sequía. La sal común constituye un buen aditivo de bajo costo, que se amasa con el suelo a razón de 10 a 15 kg/m³ y retiene la humedad, absorbiéndola del aire, especialmente en las zonas cálidas y húmedas.

- **Aditivos impermeabilizantes.**

Cuando la permeabilidad es reducida, y el contenido de humedad elevado, una forma de controlarla es mediante el empleo de aditivos que mantengan el agua fuera del contacto de las partículas del suelo.

Para ello se emplean con éxito materiales bituminosos tales como el asfalto rebajado, que se mezcla con el suelo en un porcentaje variable entre el 5% y el 10%, dependiendo del contenido de granos finos. Se logra así impermeabilizar los suelos cohesivos, en especial los de baja plasticidad.

Otra forma de impermeabilizar suelos es aplicando sustancias químicas adecuadas, como los polifosfatos de sodio, que forman geles duros o blandos, aumentando la densidad del suelo y reduciendo la permeabilidad.



En el desarrollo de la investigación se estudiará el comportamiento mecánico de un aditivo líquido impermeabilizante, perteneciente a la estabilización química; que posee el nombre de CBR PLUS.

2.5 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Dada la gran variedad de los suelos que se presentan en la naturaleza, la Mecánica de Suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación de los mismos. Cada uno de estos métodos tiene, prácticamente, su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado. Y así se tiene la clasificación de los suelos según el tamaño de sus partículas, la clasificación de la Asociación Americana de Funcionarios de Caminos Públicos (American Association State Highway Officials), la clasificación de la Administración de aeronáutica Civil (C.A.A.), el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), etc. La existencia de esta variedad de sistemas de clasificación de suelos se debe, posiblemente, al hecho de que tanto el ingeniero civil como el geólogo y el agrónomo analizan al suelo desde diferentes puntos de vista. Sin embargo, lo que es fundamental es el hecho de que cualquier clasificación que quiera abarcar las necesidades correspondientes debe estar basada en las propiedades mecánicas de los suelos, ya que éstas son elementales en las variadas aplicaciones de la ingeniería. Aunque hoy en día es casi aceptado por la mayoría que el S.U.C.S. es el que mejor satisface los diferentes campos de aplicación de la Mecánica de Suelos, se hará una explicación somera de la clasificación triangular por tamaño de partículas.



2.5.1 Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.) (ASTM D-2487)

Este sistema fue presentado por Arthur Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en 1942 para aeropuertos.

La tabla 2.4 presenta la clasificación del sistema unificado.

Como puede observarse en dicha tabla, los suelos de partículas gruesas y los suelos de partículas finas se distinguen mediante el tamizado del material por la malla No. 200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicha malla y los finos a los que pasan, y así un suelo se considera grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en la malla No. 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicha malla.

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.



Tabla 2.4 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)

DIVISIÓN MAYOR		Símbolo	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO		
<p>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenida en la malla N° 200</p> <p>Las partículas de 0.074 mm. De diámetro (malla N° 200) son aproximadamente las más pequeñas visibles a simple vista</p> <p>ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa en la malla N° 4</p> <p>GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en la malla N° 4</p> <p>PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 CM. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA N° 4</p>	<p>ARENAS LIMPIAS (poco o nada de partículas finas)</p>	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos	<p>Determinense los porcentajes de grava y arena de la curva granulométrica. Dependiendo del porcentaje de finos (fracción que pasa la malla N° 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos de 5%: GW, GP, SW, SP. Más de 12%: GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12%: casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles</p>		
		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos			
		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo			
			SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
		GRAVAS CON FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	GM		Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	
			GC		Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	
	GRAVAS LIMPIAS (poco o nada de partículas finas)	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena, con poco o nada de finos			
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos			
					<p>Coefficiente de uniformidad (Cu): mayor de 4. Coeficiente de curvatura (Cc): entre 1 y 3. $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$</p> <p>NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW</p>	
					<p>Límites de Atterberg de "línea A" o IP menor que 4</p> <p>Arriba de la "línea A" y con IP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles</p>	
					<p>Límites de Atterberg arriba de "línea A" con IP mayor que 7</p>	
					<p>$Cu = D_{60}/D_{10}$ mayor de 6 $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3</p>	
				<p>NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA SW</p>		
				<p>Límites de Atterberg de "línea A" o IP menor que 4</p> <p>Arriba de la "línea A" y con IP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles</p>		
				<p>Límites de Atterberg arriba de "línea A" con IP mayor que 7</p>		

Fuente: Mecánica de suelos y cimentaciones, Crespo Villalaz, 5ª edición.



Tabla 2.4 (Continuación)

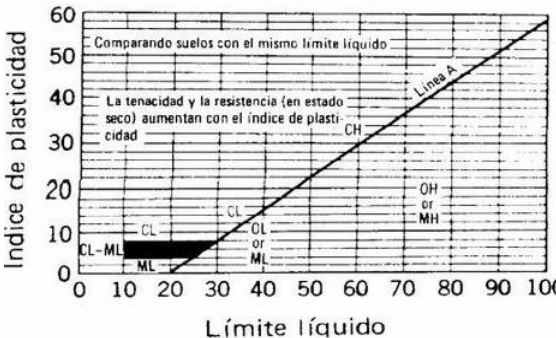
DIVISIÓN MAYOR		Símbolo	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 Las partículas de 0.074 mm. De diámetro (malla N° 200) son aproximadamente las más pequeñas visibles a simple vista	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillas ligeramente plásticas	EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS G=Grava M=Limo O=Suelos orgánicos W=Bien graduado L=Baja compresibilidad S=Arena C=Arcilla Pt=Turba P=Mal graduada H=Alta compresibilidad CARTA DE PLASTICIDAD Para la clasificación de suelos de partículas finas en el lab. 
		CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres	
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos	
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas	
		OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad	
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Pt	Turba y otros suelos altamente plásticos	



Tabla 2.5 Materiales para terraplenes

Tipo de suelo*	Permeabilidad	Resistencia al cortante	Compresibilidad	Susceptibilidad al agrietamiento	Susceptibilidad a la licuación	Manejabilidad	
GW	Permeable	Muy alta	De baja compresibilidad siempre y cuando haya sido colocados y compactados adecuadamente. Su compactación es fundamental	No susceptible al agrietamiento	No susceptibles a la licuación cuando están bien compactados	Muy buena	
GP	Permeable a muy permeable	Alta				Muy buena	
SW	Permeable	Muy alta				Muy buena	
SP	Semipermeable a permeable	Alta				De buena a correcta	
GM	Semipermeable	Alta	Compresibilidad baja si más del 60% del material es grueso (tamaño superior a la malla No. 4). Si el material contiene menos de 35% de material grueso, se pueden estimar los asentamientos con base en la compresibilidad de finos	Control de humedad de compactación muy importante	Media si mal compactados	Muy buena	
GC	Impermeable	Alta			Baja	Muy buena	
SM	Semipermeable a impermeable	Alta			Media a alta	Muy susceptible si mal compactado	Buena a correcta
SC	Impermeable	Alta a media			Media a baja	Muy baja	Buena a correcta
ML	Impermeable	Media a baja	Los asentamientos pueden ser grandes y se calculan con base en pruebas de consolidación	Muy susceptibles; deben colocarse con alto grado de saturación	Media a alta si mal compactados	Correcta a muy pobre	
MH	Muy impermeable	Baja			Muy baja	Buena a correcta	
CL	Impermeable	Media			Media a alta si mal compactados	Pobre a muy pobre	
CH	Muy impermeable	Baja a media			Muy baja	Muy pobre	
OL	Impermeable	Baja			Muy baja	Correcta a pobre	

*De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Fuente: Mecánica de suelos y cimentaciones, Crespo Villalaz, 5ª edición.



Tabla 2.6 Suelos de cimentación

Clase de suelo	Suelos gruesos limpios (GW,GP, SW, SP)	Suelos gruesos con finos (GM, GC, SM, SC)	Suelos fino (MH, ML, CH, CL, OL)
Permeabilidad	Permeables. Las pruebas de permeabilidad son las únicas representativas	Semipermeables a impermeables. Las pruebas de permeabilidad de campo son las más adecuadas para un contenido de finos menor que el 25 por ciento.	Suelos impermeables en caso de no ser fisurados. La determinación del coeficiente de permeabilidad durante una prueba de consolidación es adecuada.
Compresibilidad y expansibilidad	Los asentamientos son pequeños cuando los materiales son compactos, y la magnitud de los esfuerzos reducida. Si los depósitos son heterogéneos pueden dar lugar a irregularidades importantes en la compresibilidad	La compresibilidad varía notablemente según la compacidad del depósito. Las arenas finas limosas pueden presentar asentamientos bruscos en caso de saturarse bajo cargas.	Es indispensable efectuar pruebas de consolidación en el laboratorio. Los suelos limosos no saturados pueden presentar asentamientos bruscos al saturarse bajo carga. Los suelos arcillosos en estado seco pueden presentar expansión al aumentar su contenido de agua.
Resistencia al corte	Muy variable dependiendo de la compacidad de los depósitos y su homogeneidad. Se relaciona salvo en el caso de arenas sueltas saturadas, con el número de golpes en una prueba de penetración estándar	Es indispensable estudiarla en laboratorio efectuando pruebas triaxiales como especímenes inalterados. Se han de tomar en consideración las posibles variaciones del contenido de agua y la heterogeneidad del manto al definir las condiciones de las pruebas.	Es indispensable estudiarlos en laboratorio efectuando pruebas triaxiales con especímenes inalterados. Puede ser útil en ciertos casos efectuar una prueba de veleta.



Tabla 2.6 (Continuación)

Clase de suelo	Suelos gruesos limpios (GW, GP, SW, SP)	Suelos gruesos con finos (GM, GC, SM, SC)	Suelos finos (MH, ML, CH, CL, OL)
Tubificación	Salvo los materiales de los grupos SW y SP, representan buena resistencia a la tubificación. Es muy importante en este aspecto la heterogeneidad de los depósitos	Las arenas limosas presentan una resistencia a la tubificación media a baja, mientras los otros materiales de ese grupo tienen una resistencia a la tubificación de alta a media. Es muy importante en este aspecto la heterogeneidad de los depósitos.	Los limos presentan baja resistencia a la tubificación y las arcillas de media a alta. Es muy importante en este aspecto la heterogeneidad de los depósitos.
Licuación	Las arenas sueltas finas y saturadas son muy susceptibles a la licuación. Los otros materiales de este grupo son, por lo general, poco sensibles a la licuación.	Las arenas finas, limosas, uniformes y en estado suelto son muy sensibles.	Susceptibilidad prácticamente nula.

Fuente: Mecánica de suelos y cimentaciones, Crespo Villalaz, 5ª edición.

2.5.1.1 Suelos gruesos

En los suelos gruesos se tienen las gravas (G) y las arenas (S) de tal modo que un suelo pertenece al grupo de las gravas si más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4, y pertenece al grupo de las arenas en caso contrario.

Tanto las gravas como las arenas se dividen en cuatro grupos (GW, GP, GM, GC; y SW, SP, SM, SC; respectivamente), como puede verse en la tabla 2.6.

En el símbolo GW, el prefijo G (gravel) se refiere a las gravas y W (well graded) quiere decir bien graduado. De igual modo, el símbolo GP indica gravas pobremente o mal graduadas (poorly graded gravel), el símbolo GM indica gravas limosas, en la que el sufijo M proviene del suco *mo*, y el símbolo GC indica gravas arcillosas. El sufijo C indica arcilla (clay).



Asimismo, los símbolos SW, SP, SM y SC indican arenas (sands) bien graduadas, arenas mal graduadas, arenas limosas y arenas arcillosas respectivamente.

El criterio de clasificación de estos suelos en el laboratorio viene indicado en el lado superior de la tabla.

2.5.1.2 Suelos finos

También en los suelos finos el sistema unificado los considera agrupados en tres grupos para los limos y arcillas con límite líquido menor de 50%, en tres grupos para los limos y arcillas con límite líquido mayor de 50% y en un grupo para los suelos finos altamente orgánicos. Si el límite líquido del suelo es menor de 50%, es decir, si el suelo es de compresibilidad baja o media, se añade el sufijo L (low compresibility) a los prefijos M, C y O, obteniéndose de ese modo los símbolos ML (limos inorgánicos de baja compresibilidad) y CL (arcillas inorgánicas de baja compresibilidad) y OL (limos orgánicos de baja compresibilidad).

Si el límite líquido es mayor de 50%, es decir, si el suelo es de compresibilidad alta, se añade el sufijo H (high compresibility) a los prefijos M, C y O, obteniéndose así los símbolos MH (limos orgánicos de alta compresibilidad), CH (arcillas inorgánicas de alta compresibilidad) y (arcillas orgánicas de alta compresibilidad).

Los suelos altamente orgánicos, como las turbas, se designan con el símbolo Pt.

2.5.1.2.1 Plasticidad

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separó los cuatro estados de consistencia de los suelos coherentes.



Los mencionados límites son: Límite líquido (L.L.), límite plástico (L.P.) y límite de contracción (L.C.), y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio.

Según Atterberg, la plasticidad se puede cuantificar mediante un índice llamado “índice de plasticidad”, el cual indica que tan plástico es un suelo, éste índice se define como la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico, por lo que esta diferencia denota un rango del contenido de humedad en el cual un suelo se comporta plásticamente, es por ello que Atterberg clasifica a la plasticidad así:

Tabla 2.7 Plasticidad según Atterberg

Índice Plástico	Plasticidad
0	No plástico
< 7	Baja plasticidad
7 - 17	Media plasticidad
17 - 40	Alta plasticidad
> 40	Muy alta plasticidad

Fuente: Crespo Villalaz Carlos, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ª Edición, página 70

2.5.2 Clasificación de la asociación americana de funcionarios del transporte y carreteras estatales (A.A.S.H.T.O. M-145)

Esta es uno de los sistemas mas antiguos para la clasificación de los suelos, desde su introducción en 1929 como Public Road Administration Classification Sistema (Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos), ha sufrido varias revisiones, modificaciones y se usa ampliamente para evaluar los suelos en la construcción de carreteras y terraplenes. El sistema de clasificación AASHTO bajo la norma M-145, actualmente en uso se muestra en la tabla 2.8. El suelo se clasifica en siete grupos diferentes, designados desde el A-1 hasta el A-7.

La categoría de los suelos granulares está compuesta por los grupos A-1, A-2 y A-3, y su comportamiento, en general es de bueno a excelente, salvo los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como los suelos arcillosos debido a la alta



plasticidad de los finos que contiene, siempre que el porcentaje de estos supere el 15%. Los grupos incluidos por los suelos granulares son los siguientes:

- A-1: Corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas (gruesa y fina) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo las mezclas bien graduadas de gravas y arenas sin finos.
 - A-1-a: Incluye los suelos con predominio de gravas, con o sin material fino, bien graduado
 - A-1-b: Incluye suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino, bien graduado.
- A-3: Corresponde, típicamente, a suelos constituidos por arena fina de playa o de duna, de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluyen este grupo, los depósitos fluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa o grava.
- A-2: Este grupo comprende a todos los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz nº 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o la plasticidad de estos (o ambas cosas) están por encima de los límites fijados para dichos grupos. Por todo esto, este grupo contiene una gran variedad de suelos granulares que estarán entre los correspondientes a los grupos A-1 y A-3 y a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.
 - A-2-4 y A-2-5: En estos subgrupos se incluyen los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz nº 200 y cuya fracción que pasa por el tamiz nº 40 tiene las características de los grupos A-4 y A-5, de suelos limosos. En estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices de plasticidad por encima de las



limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3.

- A-2-6 y A-2-7: En estos subgrupos se incluyen suelos como los descritos para en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que los finos contienen arcilla plástica con tienen las características de los grupos A-6 y A-7.

La categoría de los suelos limo-arcillosos está compuesta por los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, cuyo comportamiento es de regular a malo. En esta categoría los suelos se clasifican en los distintos grupos atendiendo únicamente a su límite líquido y a su índice de plasticidad.

Los grupos incluidos en los suelos finos son los siguientes:

- A-4: El suelo típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz nº 200. También se incluyen en este grupo los suelos constituidos por mezclas de suelo fino limosos y hasta un 64% de gravas y arenas.
- A-5: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que suele tener carácter diatomáceo o micáceo, y pueden ser muy compresibles, como indica su elevado límite líquido.
- A-6: El suelo típico de este grupo es un suelo arcillosos plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz nº 200. También se incluyen en este grupo las mezclas de suelo fino arcilloso y hasta un 64% de gravas y arenas. Estos suelos, experimentan generalmente grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.



- A-7: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que tiene las características de elevado límite líquido del grupo A-5, y puede ser elástico y estar sujeto a grandes cambios de volumen.
 - A-7-5: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido y que pueden ser altamente compresibles, además de estar sujetos a importantes cambios de volumen.
 - A-7-6: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad elevado en relación con el límite líquido y que están sujetos a cambios de volumen muy importantes.

El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

1. El tamaño del grano.
 - Gravas: Fracción que pasa la malla de 3" (76.2 mm) y es retenida en la malla No 10 (2 mm).
 - Arenas: Fracción que pasa la malla No 10 (2 mm) y es retenida en la malla No 200 (0.075 mm).
 - Limos y arcillas: Fracción que pasa la malla No 200 (0.075 mm).
2. Plasticidad: El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor.
3. Índice de Grupo: El cual se utiliza para evaluar suelos dentro del mismo grupo, además indica que tan plástico es el suelo clasificado, mientras más alto el número de índice de grupo más plástico será el suelo.



Tabla 2.8 Clasificación de suelos según A.A.S.H.T.O. M-145

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% O MENOS DEL TOTAL PASA EL TAMIZ No. 200)						
	A - 1		A - 3	A - 2			
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
% del material que pasa el tamiz No. 10 (2 mm.)	50 máx.	---	---	---	---	---	---
No. 40 (0.425 mm.)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	---	---	---	---
No. 200 (0.075mm.)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa el tamiz No. 40 (0.425 mm.)							
Límite líquido LL	---		---	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Límite plástico LP	6 máx.		NP	10	10	11 mín.	11 mín.
Índice de grupo	0		0	0		4 máx.	
Tipo de material	Piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas			
Estimación general del suelo	Excelente a bueno						

Tabla 2.8 (Continuación)

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS (Más del 35% del total pasa el tamiz No. 200)			
	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
				A - 7 - 5 A - 7 - 6
% del material que pasa el tamiz No. 10 (2 mm.)	---	---	---	---
No. 40 (0.425 mm.)	---	---	---	---
No. 200 (0.075mm.)	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa el tamiz No. 40 (0.425 mm.)				
Límite líquido LL	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Límite plástico LP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de grupo	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipo de material	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Estimación general del suelo	De pobre a malo			

Fuente: clasificación de suelos (norma AASHTO M-145)



2.6 LÍMITES DE ATTERBERG

Albert Mauritz Atterberg (1911) realizó una serie de experimentos con suelos finos haciendo variar su contenido de humedad, con el objetivo de encontrar la relación que existe entre el contenido de humedad y la consistencia del suelo. Este investigador observó que para ciertos contenidos de humedad el suelo presentaba uno de los cuatro estados distintos de consistencia, que son: sólido, semisólido, plástico y líquido.

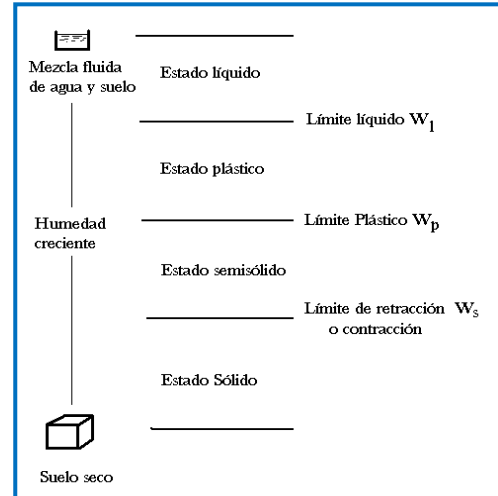


Figura 2.2 Límites de consistencia observado por Atterberg

Posteriormente Terzaghi y Casagrande idearon métodos para determinar estos

contenidos de humedad específicos para los distintos estados de consistencia, en la actualidad a estos contenidos de humedad especiales se los conoce como límites de Atterberg o Estados de consistencia, y son los siguientes:

Líquido: La presencia de una cantidad excesiva de agua anula las fuerzas de atracción interparticular que mantenían unido al suelo (la cohesión) y lo convierte en una papilla, un líquido viscoso sin capacidad resiste.

Plástico: El suelo es fácilmente moldeable, presentando grandes deformaciones con la aplicación de esfuerzos pequeños. Su comportamiento es plástico, por lo que no recupera su estado inicial una vez cesado el esfuerzo. Mecánicamente no es apto para resistir cargas adicionales.

Semisólido: El suelo deja de ser moldeable, pues se quiebra y resquebraja antes de cambiar de forma. No obstante, no es un sólido puro, ya que disminuye de volumen si continúa perdiendo agua. Su comportamiento mecánico es aceptable.



Sólido: En este estado el suelo alcanza la estabilidad, ya que su volumen no varía con los cambios de humedad. El comportamiento mecánico es óptimo.

Las humedades correspondientes a los puntos de transición entre cada uno de estos estados definen los límites líquido (LL), plástico (LP) y de contracción (LC) respectivamente.

2.7 CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido gravimétrico de agua o contenido de humedad de un material, es definido como la relación de la masa de agua contenida en los poros, o agua libre, en una masa dada de material respecto a la masa sólida de las partículas que lo constituyen, expresada como porcentaje. El término partículas sólidas, como se usa en ingeniería geotécnica, se refiere típicamente a partículas minerales de suelo y roca que se han formado naturalmente y que no son fácilmente solubles en agua.

2.8 MÁXIMA DENSIDAD DE COMPACTACIÓN

La compactación de un suelo es una propiedad importante en carreteras, al estar directamente relacionada con la resistencia, deformabilidad y estabilidad de un suelo firme; adquiere una importancia crucial en el caso de los terraplenes y todo tipo de relleno en general, en los que el suelo debe quedar lo más consolidado posible para evitar asentamientos causantes de variaciones en la rasante y alabeo de la capa de rodadura durante la posterior explotación de la vía. Una frase que resumiría lo anteriormente dicho sería: cuanto más compacto esté un suelo, más difícil será volverlo a compactar.

2.8.1 Influencia de la humedad

En la compactación de suelos, la humedad juega un papel decisivo: mientras que un suelo seco necesita una determinada energía de compactación para vencer los



rozamientos internos entre sus partículas, el mismo suelo ligeramente húmedo precisará un menor esfuerzo, ya que el agua se comporta como un agente lubricante formando una película alrededor de los granos y disminuyendo la fricción entre ellos.

Si seguimos añadiendo agua al suelo, llegará un momento en el que ésta haya ocupado la totalidad de los huecos del mismo. Este hecho acarreará un aumento de volumen; dada la incompresibilidad del líquido y una mayor dificultad para evacuarlo del suelo, por lo que su compactación disminuirá.

De la anterior explicación, se deduce que existirá una humedad óptima con la que se obtenga una compactación máxima, para una misma energía de compactación.

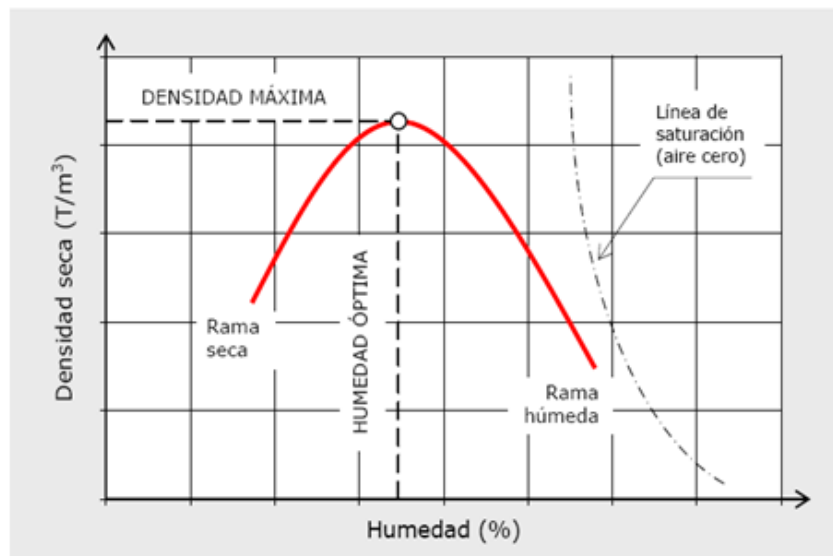


Figura 2.3 Influencia de la humedad sobre la densidad seca

2.8.2 Influencia de la energía de compactación

Si tomamos un mismo suelo y estudiamos la relación humedad-densidad para distintas energías de compactación, observaremos que el punto de humedad óptima varía en función de la energía que hayamos comunicado a la muestra.

Un estudio más en profundidad de las curvas obtenidas (figura 2.4) permite obtener una segunda conclusión, no menos importante: dicha variación presenta una clara polaridad, obteniéndose una humedad óptima menor cuanto



mayor sea la energía de compactación empleada.

Otra lectura que puede realizarse de esta gráfica es que para humedades mayores que la óptima, el aumento de densidad conseguido con un apisonado más energético es mucho menor que el obtenido con humedades bajas. La conclusión práctica que se extrae es que en terrenos secos, una consolidación energética puede ser más eficaz.

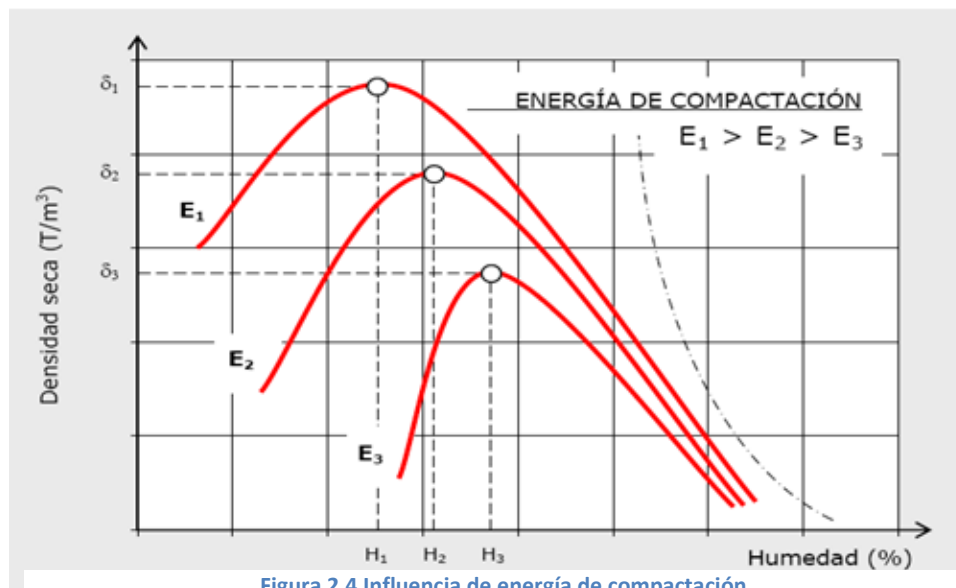


Figura 2.4 Influencia de energía de compactación

2.8.3 Influencia del tipo de suelo

La tipología del suelo, concretamente su composición granulométrica, determina la forma de la curva de compactación. Podría decirse aquello de que no hay dos suelos iguales, aunque sí pueden englobarse en dos grandes grupos de comportamiento.

Así, los suelos granulares bien graduados y con bajo contenido en finos obtienen su densidad máxima para valores bajos de humedad. La compactación de este tipo de suelos se realiza desde la rama seca de la curva, humectándolos progresivamente hasta llegar al grado de humedad óptimo. Además, presentan una curva aguda, lo que indica su gran sensibilidad a la humedad de

compactación.

Por el contrario, los suelos arcillosos, limosos o los formados por arenas de granulometría muy uniforme dan curvas tendidas, lo que indica la gran dificultad de compactación que presentan. Suelen compactarse por colapso desde la rama húmeda, saturando el suelo en agua para debilitar los enlaces interparticulares.

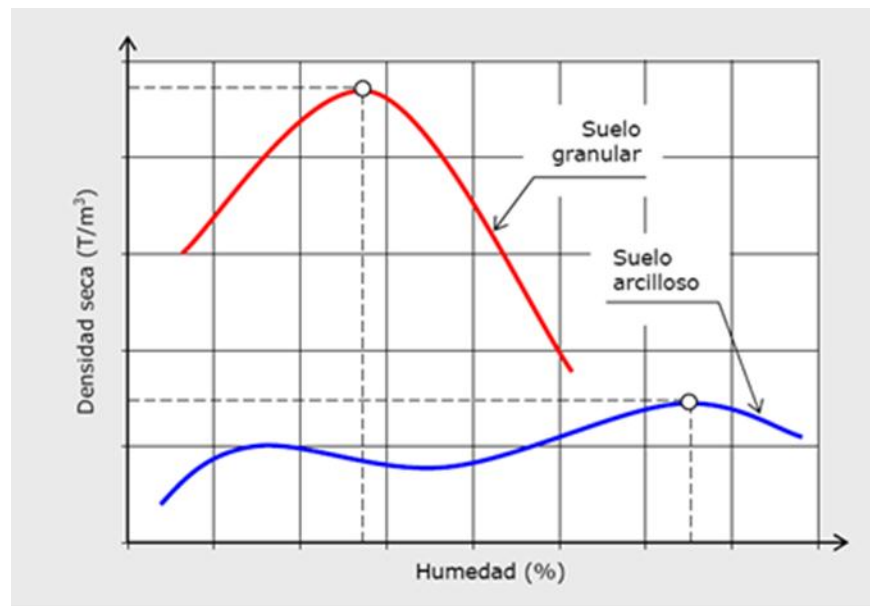


Figura 2.5 Influencia del tipo de suelo

2.9 RELACIÓN DE SOPORTE (CBR)

El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1" ó 0.2" de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar.

También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.



2.9.1 Definición de número CBR

El número CBR (o simplemente CBR), se obtiene de la relación de la carga unitaria (lbs/pulg²) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (19.4 cm²) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón (lbs/pulg²) requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para un suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar o modificada

Tabla 2.9 Propiedades ensayo CBR

CBR			
Peso martillo (lb)	10		
Diámetro del molde (pulg)	6		
No. de capas (por espécimen)	5		
No. golpes/capa (para 3 especímenes)	12	25	56

Fuente: AASHTO T-193

2.10 ADITIVO LÍQUIDO A ESTUDIAR

Como se mencionó anteriormente en los tipos de estabilización, el aditivo líquido investigado es el CBR PLUS.

¿Qué es el estabilizador CBR PLUS?

Es un compuesto único orgánico que forma una capa aceitosa protectora, en la superficie del suelo y en las partículas de arcilla. Éste aditivo químico líquido está diseñado específicamente para el mejoramiento de suelos en la construcción vial, que se utilizan tanto en caminos naturales como en capas estructurales de un pavimento.

Su rango de utilización abarca todos los suelos arcillosos o los que al menos contengan un 5% de arcilla. En los suelos arcillosos mejorará sus características



físicas y químicas y en aquellos en los que el contenido de arcilla sea minoritario, facilitará la compactación y controlará la “actividad” de esta última.

La consolidación de calles y rutas con CBR PLUS posibilita la circulación continua de vehículos aun en condiciones climáticas desfavorables y modifica el aspecto estético de las zonas, mejorando la calidad de vida de la población con excelentes resultados de duración ilimitada.

Las capas estabilizadas proveen una adecuada resistencia y una larga vida útil, permitiendo combinaciones estructurales variables según el tipo de tránsito de diseño.

Es un producto no tóxico ni contaminante, no daña la vegetación ni es peligroso para la manipulación por parte del personal.

CBR PLUS permite que los ingenieros utilicen el material "in-situ" reduciendo los costos de construcción y eliminando la importación de materiales inadecuados que degradan el medio ambiente y reducen los bancos de arenas y otros materiales; Se reduce al mínimo la degradación ambiental.

Algunas de las ventajas que presenta la utilización del aditivo líquido son:

- Mejora la maniobrabilidad de suelos.
- Incrementa la fuerza cohesiva del suelo.
- Aumenta la densidad.
- Reducción de polvo en los caminos sin pavimento.
- Reducción en los costos de mantenimiento.
- Reducción de los costos de construcción / reparación.
- Ahorro en la transportación de materiales ajenos al lugar.

El aditivo químico presenta las siguientes características físico-químicas:



Tabla 2.10 Características físico-químicas del aditivo

Amistoso al medio ambiente y al usuario	No es corrosivo
Fácil y seguro de usar	No es inflamable
Sin residuos sólidos	No se lixivia
Totalmente soluble en agua	No es cancerígeno
Vida útil permanente	No es tóxico

Los beneficios técnicos que presenta el aditivo químico son:

- Reduce el índice plástico
- Aumenta la Densidad Seca Máxima
- Aumenta el Valor Soporte Relativo
- Disminuye el hinchamiento
- Reduce el desprendimiento de polvo

2.10.1 Modo de uso:

El aditivo CBR PLUS es fácilmente soluble en agua; por lo que la forma de agregar el aditivo al suelo a tratar se divide básicamente en los siguientes pasos:

- **Escarificación:** Consiste en la remoción y disgregación del suelo a lo largo y ancho de la calzada, y en la profundidad especificada, permitiendo que adquiera una condición suelta que facilite su mezclado el agua y aditivo, así como su posterior compactación. Este proceso se hace con la ayuda de una motoniveladora provista de un “ripper” que permita el rasgado del suelo.
- **Refinamiento del suelo:** En esta etapa lo que se busca es retirar rocas de gran tamaño (superiores o iguales a piedra cuarta) con el objeto que se posea un suelo uniforme que permita un óptimo mezclado con el agua y aditivo.



- **Mezclado del aditivo líquido químico con agua:** En una pipa o contenedor se hace la mezcla de aditivo líquido con el agua, la proporción recomendada por el fabricante es mezclar 20 litros de aditivo con 10,000 litros de agua, teniendo una concentración 2:1000. Se debe garantizar la homogeneidad de la mezcla, para esto se recomienda hacer recircular el agua de la pipa o contenedor.
- **Aplicación de mezcla aditivo-agua:** Se debe humedecer la vía uniformemente en la totalidad de su largo y ancho, la humedad requerida debe ser lo más cercano posible a la humedad óptima de compactación obtenida de ensayos Proctor.
- **Escarificación secundaria o de mezcla:** Ya humedecido el suelo se debe garantizar que esta humedad sea uniforme en todo el cuerpo de la capa de suelo a estabilizar, esto se puede hacer una vez más con la ayuda de una motoniveladora, después de mezclado el suelo se debe conformar la capa de manera uniforme para continuar con su compactación. El tiempo desde que se aplica el aditivo hasta la escarificación secundaria es suficiente para complementar la uniformización de la humedad, procurando que ese tiempo no sea menor de 30 minutos.
- **Compactación:** Debido a que se está en la presencia de compactación de material arcilloso, la compactación primaria se realizara con el equipo adecuado, como lo es el rodillo vibratorio pata de cabra.
- **Compactación fina y acabado:** El acabado que brinda una compactación hecha por medio de rodillo vibratorio pata de cabra no es adecuado para formar parte de una superficie de rodadura o tránsito para los vehículos, por



lo cual se necesita dar un acabado a la vía, y para ello dicho acabado se da por medio del uso de un compactador de rodillo liso, el cual además de dar el acabado brindara una superficie lisa donde el agua podrá escurrir hacia los lados ya que el suelo se encuentra impermeabilizado por acción del aditivo liquido químico.

- **Rendimiento teórico:** Con 100 litros de aditivo líquido químico y una dosificación 2:1000, es posible estabilizar un camino de 7 metros de ancho 1 kilómetro de extensión y con una capa estabilizada de 15 centímetros de espesor.
- **Curado:** Dependiendo del clima, será necesario rociar ligeramente la superficie tratada de 3 a 5 días para evitar la evaporación rápida de la humedad de la superficie, de ocurrir esto se pueden presentar grietas indeseables en la superficie.
- **Control de calidad:** Para garantizar el éxito de la ejecución del proceso estabilización se debe chequear en campo el grado de compactación que posea la capa conformada y comparar este valor con el valor Proctor obtenido en laboratorio.



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS



3.1 LÍMITES DE ATTERBERG (AASHTO T-89 Y T-90)

3.1.1 Límite líquido

Un espécimen de suelo es tamizado por la malla No 40 (425 μm), para remover cualquier material retenido en él. El límite líquido es determinado realizando ensayos en los que una porción del espécimen es extendida en una copa (Copa de Casagrande), luego es dividida en dos utilizando un ranurador y posteriormente es sacudido el suelo por medio de repetidos golpes proporcionados a la copa hasta que las dos mitades de la muestra se unan una distancia de 1.3 cm ($\frac{1}{2}$ pulgada), posteriormente se determina la humedad de la porción de suelo que se ha unido. El límite líquido determinado con múltiples puntos (Método A) requiere tres ensayos como mínimo sobre un rango de contenidos de humedad a ser realizados y los datos son graficados o calculados para hacer una relación de la cual el límite líquido es determinado. El límite líquido por un punto (Método B), utiliza el dato de un ensayo a un contenido de humedad corregido mediante la ecuación 3.1 para determinar el límite líquido.

$$LL = \omega\% \left(\frac{n}{25}\right)^{0.121}$$

Ec. 3.1 Límite líquido, método B

3.1.2 Límite plástico

El límite plástico es determinado presionando y enrollando una fracción pequeña de suelo plástico en forma de cilindro de un diámetro de 3.2 mm ($\frac{1}{8}$ pulgada) hasta que el contenido de agua es reducido a un punto en el cual, éste se desmorona o agrieta (en el caso de las arcillas) y ya no puede ser alargado por presión y re-enrollado. Para dicho cilindro en tal estado se determina el contenido de humedad por medio de secado al horno. El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.



Tabla 3.11 Valores típicos de consistencia de suelos

PARAMETRO		TIPO DE SUELO		
		Arena	Limo	Arcilla
LL	Límite líquido	15 – 20	30 - 40	40 – 150
LP	Límite plástico	15 – 20	20 -25	25 – 50
LC	Límite de contracción	12 – 18	14 – 25	8 – 35
IP	Índice de plasticidad	0 – 3	10 – 15	10 – 100

Fuente: AASHTO

El índice de plasticidad se define como la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico:

$$IP = LL - LP$$

Ec. 3.2 Índice de plasticidad

3.2 PORCENTAJE DE ARENA POR LAVADO (AASHTO T-11)

El material más fino que el tamiz de 75µm (No. 200), puede ser separado de partículas mayores eficazmente y completamente por el tamizado en húmedo, que por el tamizado en seco. Por consiguiente, cuando se desean determinaciones exactas de material más fino que 75 µm en agregado fino y grueso, se utiliza este método de ensayo en la muestra antes del tamizado en seco de acuerdo con la especificación AASHTO T-27. La ecuación a utilizar será la siguiente:

$$\% \text{ de Arena} = \frac{WsD}{WsA} * 100$$

Ec. 3.3 Porcentaje de Arena

Dónde:

WsD: Peso seco Después de lavado



WSA: Peso seco Antes de lavado

El agua corriente es adecuada para separar el material más pequeño que 75µm del material más grueso en la mayoría de agregados. En algunos casos, el material más fino se adhiere a las partículas más grandes, como algunas capas de arcilla y capas en agregados que han sido extraídos de mezclas bituminosas.

La muestra de ensayo, después de secarse, será conforme a la tabla 3.2

Tabla 3.12 Masa mínima de muestra d ensayo

Tamaño Nominal Máximo	Masa mínima, g
4.75mm (No. 4) o menor	300
9.5mm (3/8 pulg)	1000
19.0mm (3/4 pulg)	2500
37.5mm (1 ½ pulg) o mayor	5000

Fuente: AASHTO T-27

Se utilizará el procedimiento “A”, salvo indicación contraria dada por la especificación con la cual los resultados del ensayo serán comparados, o cuando lo dicte la agencia para la cual el trabajo es realizado.

3.2.1 Procedimiento “A” lavado con agua

1. Secar la muestra de ensayo hasta alcanzar una masa constante, a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Determinar la masa con una precisión del 0.1 por ciento de la masa de la muestra de ensayo.
2. Si la especificación aplicable requiere que la cantidad que pasa el tamiz de 75µm (No. 200) sea determinado en una porción de la muestra que pasa un tamiz más pequeño que el tamaño máximo nominal del agregado, separar la muestra en el tamiz designado y determinar la masa del material que pasa el tamiz designado al 0.1 por



ciento de la masa de la porción de la muestra de ensayo. Usar esta como la masa seca original de la muestra de ensayo.

3. Después de secar y determinar la masa, colocar la muestra de ensayo en el contenedor y agregar suficiente agua para cubrirla. Ningún detergente, agente dispersante, u otra sustancia se añadirá al agua. Agitar la muestra con suficiente vigor para que haya una separación completa de todas las partículas más finas que el tamiz de 75- μm (No. 200) de las partículas más gruesas, y que el material fino quede en suspensión. El uso de una cuchara grande u otra herramienta similar para revolver y agitar el agregado en el agua de lavado tiene resultados satisfactorios. Inmediatamente vierta el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre el tamiz o arreglo de tamices, organizados con el tamiz más grueso arriba. Esfuércese por evitar, tanto como sea posible, la decantación de partículas más gruesas de la muestra.
4. Añada una segunda cantidad de agua a la muestra en el recipiente, agitar, y decantar como antes. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado salga clara.
5. Regresar todo el material retenido en el grupo de tamices, limpiando con un chorro de agua la muestra lavada. Secar el agregado lavado hasta obtener masa constante a una temperatura de 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F) y determinar la masa con una precisión del 0.1 por ciento de la masa original de la muestra.

NOTA. Después del lavado de la muestra y la limpieza de cualquier material retenido en el tamiz de 75 μm (No. 200) llevarlos de vuelta al recipiente, el agua no deberá ser decantada al recipiente sino es a través del tamiz de 75- μm , para evitar pérdida de



material. El agua en exceso del enjuague deberá evaporarse de la muestra en el proceso de secado.

3.2.2 Procedimiento “B” lavado usando agente humectante

1. Preparar la muestra de la misma manera que en procedimiento “A”.
2. Después de secarse y determinar la masa, colocar la muestra de ensayo en un recipiente. Añada suficiente agua para cubrir la muestra, y añadir agente humectante al agua. Agitar la muestra con suficiente vigor para que haya una separación completa de las partículas más finas que el tamiz de 75 μ m (No. 200) de las partículas más gruesas, para dejar el material fino en suspensión. El uso de una cuchara grande u otra herramienta similar para revolver y agitar el agregado en el agua de lavado ha sido encontrado satisfactorio. Inmediatamente verter el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre el grupo de tamices, organizados con el tamiz más grueso arriba. Esforzarse por evitar, tanto como sea posible, la decantación de partículas más gruesas de la muestra.

NOTA: El agente humectante deberá ser suficiente para producir un poco de espuma cuando la muestra es agitada. La cantidad dependerá de la dureza del agua y la calidad del detergente. Espuma en exceso puede derramarse de los tamices y puede llevarse material con ella.

3. Añada una segunda cantidad de agua (sin agente humectante) a la muestra en el contenedor, agitar, y decantar como antes. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado sea clara.
4. Completar el ensayo como el procedimiento A.



3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS (AASHTO M-145)

Para clasificar un suelo según la tabla 2.7 (capítulo 2) debemos tener previamente el porcentaje de suelo pasante por la malla No. 200 y los datos obtenidos de los Límites de Atterberg, como lo son: límite líquido y plástico. Además para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras, se incorpora también un número llamado índice de grupo (*IG*) junto con los grupos y subgrupos del suelo. Este número se describe en paréntesis después de la designación de grupo o de subgrupo. El índice de grupo esta dado por la ecuación:

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

Ec. 3.4 Índice de grupo

Donde: *F* = Porcentaje que pasa la malla No 200.

LL = Limite liquido.

IP = Índice de plasticidad.

El primer termino de la ecuación (3.3) $(F - 35) \left[0.2 + 0.005 (LL - 40) \right]$, es el índice de grupo parcial determinado a partir del límite líquido. El segundo termino $0.01 (F - 15) (IP - 10)$, es el índice de grupo parcial determinad a partir del índice de plasticidad. Algunas reglas para determinar el índice de grupo son:

1. Si la ecuación (3.3) da un valor negativo para *IG*, este es igual a cero.
2. Se redondea al numero entero mas cercano (Por ejemplo, si *IG* = 3.4 se redondea a 3; *IG* = 3.5 se redondea a 4).
3. No hay un límite superior para el índice de grupo.



4. El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre será cero.
5. Al calcular el índice de grupo para los suelos A-2-6 y A-2-7, use el índice de grupo parcial a partir del índice plástico, o:

$$IG = 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Ec. 3.5 Índice de grupo parcial

En general, la calidad del comportamiento de un suelo como material para subrasantes es inversamente proporcional al índice de grupo.

NOTA: El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Al poseer los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha, por un proceso de eliminación, el primer grupo desde la izquierda en el que los datos de prueba se ajusten, es la clasificación correcta.

3.4 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (AASHTO T-265)

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno, donde una muestra se seca en un horno hasta que alcance una masa constante; la pérdida de masa debida al secado, se considera que esta constituida por agua. El contenido de agua se calcula como la relación a partir de la masa de agua y de la masa de la muestra seca.

La masa mínima de material húmedo seleccionado para ser representativo del total de la muestra en un ensayo, si ésta no es empleada; deberá ser de acuerdo a la siguiente tabla:



Tabla 3.13 Cantidad de masa mínima a utilizarse en la determinación de humedad de un material

Tamaño máximo de la partícula (que pasa el 100%)	Tamaño del tamiz estándar.	Masa mínima recomendada del espécimen húmedo de ensayo para reportar el contenido de agua hasta +/- 0.1%	Masa mínima recomendada del espécimen húmedo de ensayo para reportar contenido de agua hasta +/- 1%
2 mm o menos	No 10	20 g	20 g*
4.75 mm	No 4	100 g	20 g*
9.5 mm	3/8"	500 g	50 g
19.0 mm	3/4"	2.5 Kg	250 g
37.5 mm	1 1/2"	10 Kg	1 Kg
75.0 mm	3"	50 Kg	5Kg

Fuente: AASHTO T-265

Nota: *Para que la muestra sea representativa no se deberá usar menos de 20 g.

Para registrar los cambios de masa que experimenta el suelo será necesaria una balanza, la cual debe tener ciertas características acorde a la cantidad de muestra a ensayar.

Tabla 3.14 Precisión de balanzas, según el tamaño de la muestra a ensayar

Cantidad de muestra a ensayar (g)	Precisión de la balanza (g)
< 200	0.01
200 – 2500	0.10
< 2500	1.00

Fuente: AASHTO T-265

Al final todo se reduce a determinar la cantidad de agua que posee el espécimen y comparar esta masa de agua con la masa de suelo seco, numéricamente tenemos:

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Ec. 3.6 Contenido de humedad



Dónde:

$\omega\%$ = Contenido de humedad de la muestra en porcentaje

W_w = Peso de agua (gr)

W_s = Peso de las partículas sólidas del suelo (gr)

3.5 MÁXIMA DENSIDAD SECA (ENSAYO PROCTOR MODIFICADO AASHTO T-180)

Un suelo con un contenido de humedad seleccionado es colocado en cinco capas dentro de un molde cilíndrico de dimensiones conocidas, cada capa es compactada por medio de la caída de un pisón de 4.54 Kg (10 lb) con una altura de caída de 18", aplicando de 25 a 56 golpes (dependiendo del método) y sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación de 56000 lb pie/pie³ (2700 kN-m/m³), determinándose posteriormente su peso unitario seco. El procedimiento es repetido para un número suficiente de contenidos de agua para establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua del suelo. Graficados estos datos representan una relación curvilínea conocida como curva de compactación. Los valores del contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo del suelo, son determinados utilizando dicha curva.

Para la selección del diámetro del molde y número de golpes, tenemos la siguiente tabla:



Tabla 3.15 Métodos para ensayo Proctor modificado

<p>Método A Molde: 4 pulgadas de diámetro. (101.6 mm.) Material: que pase la malla No. 4 (4.75 mm.) Número de capas: cinco. Número de golpes por capa: 25. Martillo: 10 lbs con caída de 18"</p>	<p>Método B Molde: 6 pulgadas de diámetro (152.4 mm.) Material: el suelo que pasa la malla No. 4 (4.75 mm.) Número de capas: cinco. Número de golpes por capa: 56 Martillo: 10 lbs con caída de 18"</p>
<p>Método C Molde: 4 pulgadas de diámetro (101.6 mm.) Material: el suelo que pasa la malla de (19 mm) Número de capas: cinco. Número de golpes por capa: 25 Martillo: 10 lbs con caída de 18"</p>	<p>Método D Molde: 6 pulgadas de diámetro (152.4mm.) Material: el suelo que pasa la malla: (19 mm) Número de capas: cinco. Número de golpes por capa: 56 Martillo: 10 lbs</p>

Fuente: AASHTO T-180

NOTA: el método a utilizar en el desarrollo de ésta investigación para el estudio de las 3 muestras de suelo es el método A.

3.6 DETERMINACIÓN DEL CBR (AASHTO T-193)

3.6.1 Preparación del material

- a) Secar el material al aire o calentándolo a 60 °C.
- b) Desmenuzar los terrones existentes y tener cuidado de no romper las partículas individuales de la muestra.
- c) La muestra deberá tamizarse por la malla ¾" y la No. 4. La fracción retenida en el tamiz ¾" deberá descartarse y reemplazarse en igual proporción por el material comprendido entre los tamices ¾" y No. 4. Luego se mezcla bien.
- d) Se determina el contenido de humedad de la muestra así preparada.

3.6.2 Cantidad de material

Para cada molde a compactar se necesitan 5 Kg de material. Cada muestra se utiliza una sola vez.



3.6.3 Preparación de muestras para CBR

La preparación de las muestras para CBR comprende los 3 ensayos siguientes:

3.6.3.1 Determinación de la densidad y humedad.

Preparar una muestra que tenga la misma densidad y humedad que se proyecta alcanzar en el sitio donde se construirá el pavimento.

Procedimiento:

- a) En el molde cilíndrico de 6" se coloca el disco espaciador y papel filtro grueso.
- b) La muestra se humedece añadiendo una cantidad de agua calculada para ajustar la humedad inicial del suelo y llevarla a la humedad óptima obtenida del ensayo Proctor modificado. Se mezcla uniformemente.
- c) Se preparan 3 especímenes o moldes, cada uno con diferente energía de compactación, el primero con 12 golpes por capa, el siguiente con 25 golpes por capa y el último con 56 golpes por capa. Se compacta en 5 capas, y de esta manera obtener una briqueta compactada de espesor de 5".
- d) Se quita el collarín, se enrasa la parte superior del molde, se volteará el molde (colocar otro papel filtro al voltear el molde) sobre la base perforada y se quitará el disco espaciador.
- e) Se pesará el molde con la muestra y la base, se determinará la densidad húmeda.
- f) Con el material sobrante de la compactación, se debe de calcular su contenido de humedad.
- g) Calcular la densidad seca.

Humedad de mezclado

Es un factor importante en suelos finos y debe controlarse debidamente.

El contenido de humedad de la muestra amasada deberá ser igual a la óptima obtenida en el ensayo Proctor, se ha comprobado que si esta humedad de



mezclado varía en $\pm 0.5\%$ de la que se desea obtener, los CBR variarán apreciablemente aun cuando se obtenga una densidad aproximadamente igual a la densidad deseada.

3.6.3.2 Saturación para determinar el hinchamiento

- Determinada la densidad húmeda se coloca sobre la superficie libre de la muestra el plato con el vástago graduable. Luego sobre el plato se colocará varias pesas de plomo. La sobrecarga mínima será de 10 lbs.
- Colocado el vástago y las pesas, se colocará el molde dentro de un tanque o depósito lleno con agua.
- Se monta el trípode con un extensómetro y se toma una lectura inicial y se tomará la lectura cada 24 horas.
- Al cabo de las 96 horas o antes (si el material deja de variar las lecturas) se anota la lectura final para calcular el hinchamiento. Se calcula el % de hinchamiento que es la lectura final menos la lectura inicial dividido entre la altura inicial de la muestra multiplicado por 100.

Los adobes, suelos orgánicos y algunos suelos cohesivos tienen expansiones muy grandes generalmente mayor del 10%.

Los especímenes son saturados por 96 horas, con una sobrecarga igual al peso del pavimento que se utilizará en el campo pero en ningún caso será menor que 4.5 Kg. (10 lbs).

$$\%H = \frac{Lect. (96h) * 0.001" * 100}{Hmuestra(pulg)}$$

Ec. 3.7 Porcentaje de hinchamiento

Dónde: 0.001" es un factor de conversión de las unidades de lectura a pulgadas.

Como dato informativo observar el hinchamiento versus el CBR:



Tabla 3.16 Hinchamiento vrs CBR

Suelo con hinchamiento $\geq 3\%$	CBR $< 9\%$
Suelo con hinchamiento = 2%	CBR $\leq 15\%$
Suelo con hinchamiento $< 1\%$	CBR $> 30\%$

Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería FIC – CISMID C.B.R. (California Bearing Ratio) Ing. Luis Chang:

Drenaje

Después de saturada la muestra, se saca del depósito donde ha sido sumergida la muestra y cuidadosamente se drena (decantando) durante 15 minutos el agua libre que queda. Como para drenar bien el agua es necesario voltear el cilindro, sujétese bien el disco y las pesas metálicas al hacer esta operación. Luego remuévase el disco, las pesas y el papel filtro, pésese la muestra con el fin de obtener la densidad húmeda en estado saturado.

3.6.3.3 Penetración del espécimen para determinar el CBR.

- a) Si no es necesario sumergir la muestra en agua, se colocará sobre ella la pesa anular y se montarán las pesas de plomo, de tal modo que se obtenga una sobrecarga semejante a la del pavimento a construirse. Pasar al literal c) y d).
- b) Si la muestra ha sido sumergida en agua para medir su expansión, y después que haya sido drenada, se colocará la pesa anular y encima de las pesas de plomo que tenía la muestra cuando estaba sumergida en agua; o sea que la sobrecarga para la prueba de penetración deberá ser prácticamente igual a la sobrecarga que tenía durante el ensayo de hinchamiento.
- c) El molde con la muestra y la sobrecarga, se coloca debajo de la prensa y se asienta el pistón sobre la muestra, aplicando una carga de 10 lbs.
- d) Una vez asentado el pistón, se coloca en cero el extensómetro que mide la penetración y el dial del esfuerzo también se coloca en cero.



- e) Se hince el pistón en incrementos de 0.025” a la velocidad de 0.05”/minuto y se leen las cargas totales que ha sido necesario aplicar hasta hincar el pistón 0.5 pulgada.
- f) Una vez hincado el pistón hasta 0.5 pulgada, se suelta la carga lentamente; se retira el molde de la prensa y se quitan las pesas y la base metálica perforada.
- g) Finalmente se determina el contenido de humedad de la muestra.

Para el control de campo, bastará determinar el contenido de humedad correspondiente a la parte superior de la muestra pero en el laboratorio se recomienda tomar el promedio de los diferentes contenidos de humedad (parte superior e inferior de la muestra).

3.6.4 Cálculo de CBR

Las lecturas tomadas, tanto esfuerzo-deformación, se representan gráficamente en un sistema de coordenadas.

Se Dibujan las 3 curvas esfuerzo-deformación correspondientes a las muestras de cada molde, en escala natural, los valores de la deformación se registrará en el eje de abscisas y los valores de los esfuerzos en el eje de ordenadas. Si es necesario se debe corregir las curvas indicando su nuevo origen.

Determinar los esfuerzos correspondientes a 0.1 “y 0.2 “de penetración de cada una de las curvas esfuerzo-deformación.

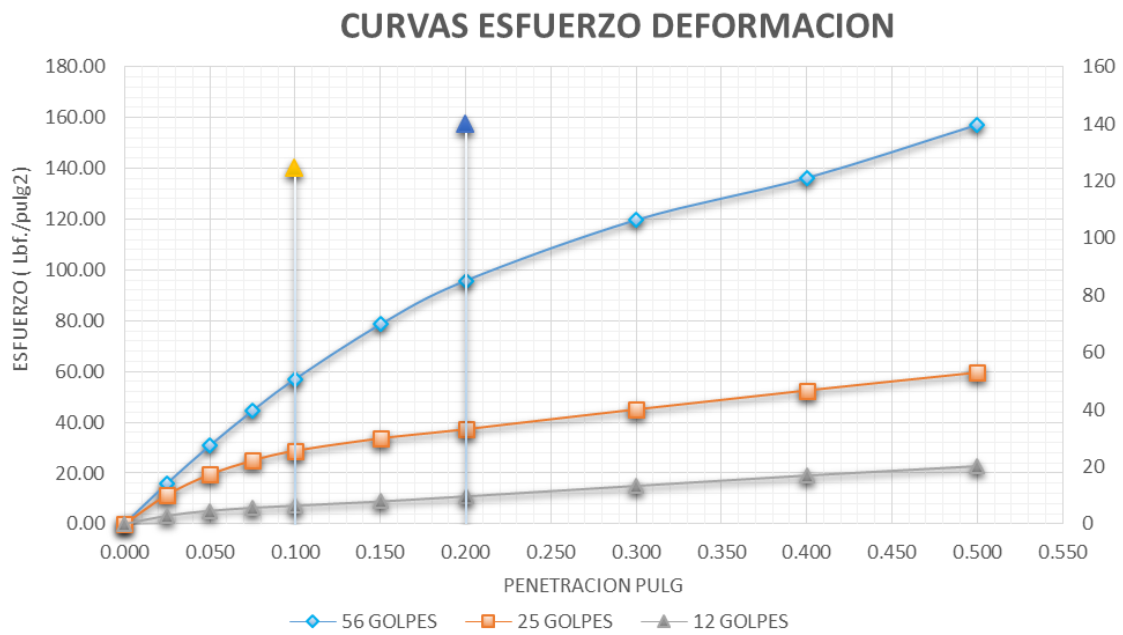


Figura 3.6 Gráficas de Esfuerzo-Penetración (56,25 y 12 golpes)

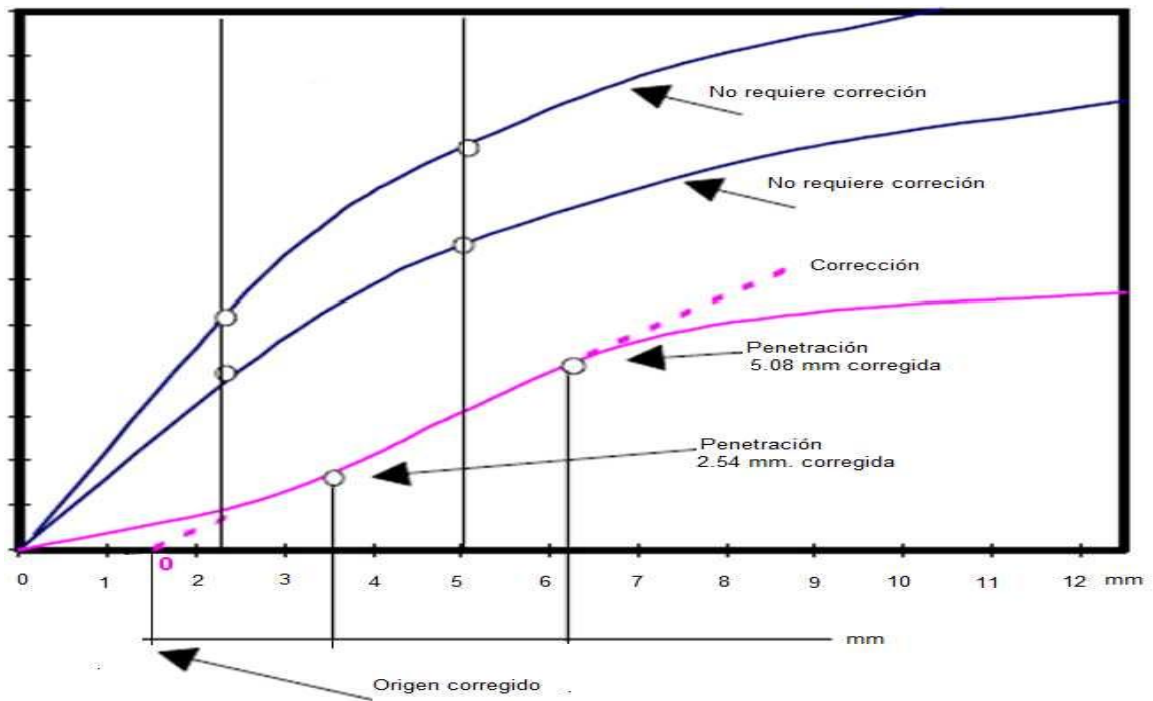


Figura 3.7 Gráfica de corrección de curvas Esfuerzo-Penetración



Determinar los índices CBR para 0.1" y 0.2" de penetración, los cuales se obtienen dividiendo cada valor de esfuerzo correspondiente a 0.1" y 0.2" de la muestra ensayada entre el esfuerzo patrón correspondiente a 0.1" y 0.2". Se toma como material de comparación la piedra triturada que sería el 100%, es decir CBR = 100%. La resistencia a la penetración que presenta a la hinca del pistón es la siguiente:

$$CBR = \frac{CARGA\ UNITARIA\ DE\ ENSAYO}{CARGA\ UNITARIA\ PATRON} \times 100$$

Ec. 3.8 Cálculo de CBR

En la práctica, el símbolo de % se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero.

Tabla 3.17 Valores de deformación y carga de suelo patrón.

Deformación		Carga Unitaria Patrón		
mm	pulg	Mpa	Psi	k/cm ²
2.5	0.10	6.9	1,000	70
5.0	0.20	10.3	1,500	105
7.5	0.30	13.0	1,900	133
10.0	0.40	16.0	2,300	161
12.7	0.50	18.0	2,600	182

Dibujar las curvas densidad seca (DS) en estado saturado versus CBR correspondientes a 0.1" y 0.2" de penetración.

El número CBR de diseño usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0,1"), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08 mm (0,2") es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR de diseño.



Si el valor de CBR correspondiente a 0.2" es muy superior al valor de CBR correspondiente a 0.1" deberá repetirse el ensayo para comprobar.

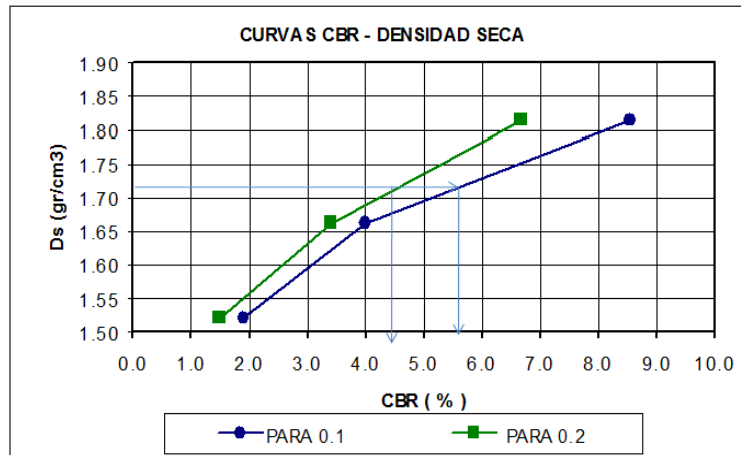


Figura 3.8 Gráfica Densidad seca en estado saturado-CBR (0.1 y 0.2)

3.6.4.1 Métodos para determinar el CBR de diseño

El comportamiento de los suelos varía de acuerdo a su grado de alteración (inalterada y alterada) y a su granulometría y características físicas (granulares, finos, poco plásticos).

El método a seguir para determinar el CBR de diseño será diferente en cada caso.

3.6.4.1.1 Método I

Se aplica a condiciones climáticas normales y a aquellos suelos cuyo CBR no varíe apreciablemente con el contenido de humedad.

No requiere estricto control de la humedad cuando se compacta en el campo.

Aplica a:

3.6.4.1.1.1 Suelos gravosos y arenosos

Estos suelos en la clasificación unificada, corresponden a los siguientes grupos: GW, GP, SW y SP.

- Son suelos generalmente de $IP < 2$ y de compactación rápida en el campo.



- En general el CBR casi no vería apreciablemente con los cambios de humedad.
- El CBR se puede determinar sin saturar la muestra.
- El CBR que se adopte podrá ser el que corresponde a su máxima densidad o si se sigue un criterio más conservador, el menor de los CBR obtenidos.
- El CBR de estos suelos granulares es generalmente mayor de 20%.

Procedimiento de método I

- A. Se determinará una curva compactación a 56 golpes.
- B. Se preparan 3 muestras (56, 25, 12) a humedad óptima $\pm 0.5\%$.
- C. Cada muestra se satura y se anota la expansión.
- D. Después de las 96 horas se corre el ensayo.
- E. El CBR de diseño será aquel correspondiente a la densidad que se especifique.

3.6.4.1.2 Método II

Se aplica a condiciones climatéricas desfavorable y a aquellos suelos que son muy sensibles a cambios de humedad.

Se requiere un mayor control de la humedad en el campo

Aplica a:

3.6.4.1.1.2 Suelos cohesivos, plásticos, poco o nada expansivos

Estos suelos son los más comunes y pertenecen a la siguiente clasificación unificada: GM, GC, SM, SC, CL, ML, OL.

3.6.4.1.1.3 Suelos cohesivos, plásticos y expansivos

Estos suelos pertenecen a la clasificación unificada: MH, CH y OH.

- Seleccionar cuidadosamente las humedades y densidades.
- No siempre la humedad óptima y la densidad máxima es la más adecuada.



- Muchas veces el hinchamiento de estos suelos es menor cuando se compacta a densidades y con humedades distintas a la densidad máxima y humedad óptima.
- El CBR a usar es aquel en que el suelo presente menor hinchamiento.
- Para facilitar la selección del CBR de diseño, es recomendable representar gráficamente los % de hinchamiento vs. Los contenido de humedad en los diferentes estados de compactación.
- La comparación de las curvas que relacionan los hinchamientos, CBR y densidades con las humedades de compactación permitirá establecer los límites de humedad y densidad apropiados, facilitando así la selección del CBR de diseño.

Procedimiento

- A. Se recomienda realizar 3 curvas de compactación cada una de ellas a 56, 25, 12 golpes/capa.
- B. Se saturan por 96 horas, se determina el hinchamiento y se drena.
- C. Se determina el CBR de cada muestra.
- D. El CBR de diseño se seleccionará de las curvas CBR-Densidad, Densidad-Humedad.
- E. Generalmente la densidad que se selecciona para determinar el CBR es la correspondiente al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca).



3.6.5 Valores referenciales de CBR, usos y suelos

Tabla 3.18 Valores de referencia de suelos, CBR y sus usos

Sistema de clasificación				
No.	Clasificación general	Usos	Unificado	AASHTO
0 – 3	Muy pobre	Sub rasante	OH,CH,MH,OL	A5, A6,A7
3 – 7	Muy pobre a regular	Sub rasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 – 20	Regular	Sub base	OL,CL,ML,SC,S M,SP	A2,A4,A6,A7
20 - 50	Bueno	Sub base y base	GM,GC,SW,SM, SP,GP	A-1b,A2-5, A-3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a,A2-4,A-3

Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería FIC – CISMID C.B.R. (California Bearing Ratio) Ing. Luis Chang

3.7 RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO CON ADITIVO

El procedimiento a seguir en la realización de éste ensayo es de igual manera a lo descrito en la sección 3.6 (RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO SIN ADITIVO), con la única diferencia que el agua a agregar al suelo (5kgr) será una solución comprendida entre aditivo líquido y agua, en proporción deseada o adecuada.

3.7.1 Diseño de mezcla suelo-aditivo

Para el cálculo de la dosificación del aditivo a agregar al suelo, es necesario poseer un valor de referencia que haya brindado resultados satisfactorios a cierto tipo de suelo; por lo que el fabricante recomienda de manera general el uso del aditivo en una proporción en volumen igual a 1:500, ósea que por cada parte de aditivo agregada debe de haber 500 partes de agua en las mismas unidades de volumen (concentración de 0.2% de aditivo con respecto al agua).



La dosificación 1:500 recomendada por el fabricante ha sido desarrollada en los suelos de la zona o región donde fue desarrollada la investigación, por lo que adoptar solamente esa dosis no garantizaría el mejoramiento de los 3 tipos de suelos a estudiar. Es por tal razón que se debe de experimentar con diferentes dosificaciones del aditivo con el fin de construir una curva de mejoramiento del valor de soporte (CBR) versus concentración del aditivo. Mediante ésta curva se describirá la respuesta del suelo al ser estabilizado por diferentes cantidades del aditivo líquido.

Las concentraciones a utilizar partirán desde la dosis recomendada por el fabricante, tomando un punto con mayor cantidad de aditivo y otro con menor; ya que para lograr describir la curva de respuesta del suelo estabilizado con el aditivo se necesitarán 3 puntos como mínimo por cada tipo de suelo. Es por ello que se investigó el comportamiento de los 3 tipos de suelos al ser estabilizados por soluciones de aditivo-agua de proporción 1:1000, 2:1000 (1:500) y 3:1000.



CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE DATOS



4.1 INTRODUCCION

La estabilizacion de suelos busca fundamentalmente aumentar la capacidad portante de los suelos, en el ambito de ingenieria de caminos y carreteras esta capacidad portante se puede verificar mediante el ensayo del CBR o Relacion de Soporte de California. Para llevar a cabo este ensayo es necesario obtener la humedad optima de compactacion la cual se obtiene por medio del ensayo Proctor. Ademas debido a que los suelos objeto de estudio son suelos arcillosos con una plasticidad alta es necesario caracterizar los suelos muestreados como plasticos.

Es en el marco de esta logica que en el siguiente capitulo se presentan resultados de estos ensayos los cuales se hicieron con el objetivo de conocer el comportamiento de esta nueva tecnologia en lo que a estabilizacion química se refiere, en suelos altamente plasticos del pais, bajo las condiciones controladas que un laboratorio permite brindar.



4.2 MUESTREO DE SUELOS

Los suelos buscados para probar el comportamiento del aditivo líquido son suelos cohesivos y de preferencia con alta plasticidad, es así que para obtener suelos con esta característica se consultó con gente familiarizada con suelos cohesivos, y de esta manera, poder hacer un muestreo un poco más orientado a la obtención de suelos de interés para el estudio.

Muestra Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria de Occidente. Denominada “Muestra UES FMOcc.” es un suelo encontrado en el costado norte de la Facultad Multidisciplinaria de Occidente

Muestra Cantón El Pinalón, municipio y departamento de Santa Ana. Denominada “Muestra Pinalón”. Suelo encontrado durante la ejecución de un proyecto de infraestructura y presentaba hinchamientos en presencia de humedad además de resquebrajamiento al exponerse al sol y perder humedad.

Muestra Hacienda La Labor, denominado “Muestra Labor”. Suelo encontrado en km 88 de la carretera que conduce de Santa Ana hacia Ahuachapán, municipio y departamento de Ahuachapán. El suelo presenta un color negro uniforme signo de abundante materia orgánica. Según relatos de gente del lugar, al momento de construir la carretera se tuvieron bastantes problemas en ese sector debido a las características indeseables del suelo ingenierilmente hablando.

4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Debido a que los suelos objeto de estudio son suelos cohesivos plásticos es necesario clasificar con precisión las propiedades de los suelos muestreados para que se apeguen a los objetivos del estudio, es así que bajo los criterios de AASHTO según prueba AASHTO M-145 se debe conocer los límites de consistencia o límites de Atterberg, porcentaje de suelo pasante por la malla No. 200 e IG (índice de grupo), cuando estamos en presencia de suelos finos.



A continuación se presentan los resultados de las pruebas necesarias para clasificar el suelo:

Tabla 4.19 Resultados de Límites de Atterberg

LÍMITES UES FMOcc. %		LÍMITES PINALÓN %		LÍMITES LABOR %	
Líquido	58.52	Líquido	48.65	Líquido	92.39
Plástico	20.33	Plástico	21.28	Plástico	39.88
Índice de plasticidad	38.19 Altamente plástico	Índice de plasticidad	27.37 Altamente plástico	Índice de plasticidad	52.51 Muy altamente plástico

Fuente: Anexo A

NOTA: el límite líquido fue calculado mediante el procedimiento del método B.

Tabla 4.20 Resultados de % de arena

UES FMOcc.			PINALÓN			LABOR		
ANTES DE LAVAR								
Suelo seco	gr	453.21	Suelo seco	gr	489.60	Suelo seco	gr	522.28
DESPUÉS DE LAVAR								
Suelo seco	gr	135.963	Suelo seco	gr	88.13	Suelo seco	gr	40.18
% de arena	%	30.00	% de arena	%	18.00	% de arena	%	7.69
% pasante malla No. 200	%	70.00	% pasante malla No. 200	%	82.00	% pasante malla No. 200	%	92.31

Fuente: Anexo B

NOTA: el ensayo se realizó con el uso de agente humectante, método B.

Para el cálculo del índice de grupo (IG) se hará uso de la ecuación 3.1 (capítulo 3), sigue de la siguiente manera:

$$IG = (70 - 35) [0.2 + 0.005 (58.52 - 40)] + 0.01(70 - 15)(38.19 - 10)$$

$$IG = 26$$

Ec. 4.9 Índice de grupo UES FMOcc.

$$IG = (82 - 35) [0.2 + 0.005 (48.56 - 40)] + 0.01(82 - 15)(27.37 - 10)$$



$$IG = 23$$

Ec. 4.10 Índice de grupo Pinalón

$$IG = (92.31 - 35) [0.2 + 0.005 (92.39 - 40)] + 0.01 (92.31 - 15) (52.51 - 10)$$

$$IG = 59$$

Ec. 4.11 Índice de grupo Labor

NOTA: cuando el índice de grupo calculado resulta mayor que 20, entonces su valor se toma de 20, esto para poder clasificar cada muestra de suelo y determinar el grupo al que pertenezcan.

Como se poseen los datos necesarios para la clasificación de suelos, invocamos la tabla 2.7, del capítulo 2, de la sección 2.5.2 Clasificación de A.A.S.H.T.O., donde toma valores límite de % de material pasante de la malla No. 200, límite líquido, límite plástico e índice de grupo, para clasificar un suelo. A continuación se muestra el grupo al que pertenecen las tres muestras de suelo:

Tabla 4.21 Clasificación de los suelos

Criterios	Valores límite	Clasificación	Tipo de suelo
% de material que pasa el tamiz No. 200	36 mín	A - 7	Suelo arcilloso
Límite líquido	41 mín		
Límite plástico	11 mín		
Índice de grupo	20 máx		

Fuente: AASHTO M-145

4.3.1 Determinación de subgrupo

En la clasificación AASHTO M-145 el grupo A-7 se divide en dos subgrupos que son: A-7-5 y A-7-6. Para determinar a que subgrupo pertenece se debe comparar el índice de grupo con respecto al resultado de restar al límite líquido la cantidad de 30.



4.3.1.1 Muestra UES FMOcc.

El índice de plasticidad es mayor que el resultado de LL- 30, como se muestra a continuación:

$$LL - 30 = 28.52 < IP = 38.19$$

La muestra UES FMOcc pertenece al subgrupo **A-7-6 (20)**, arcilla arenosa altamente plástica

4.3.1.2 Muestra Pinalón

El índice de plasticidad es mayor que el resultado de LL- 30, como se muestra a continuación:

$$LL - 30 = 18.65 < IP = 27.37$$

La muestra Pinalón pertenece al subgrupo **A-7-6 (20)**, arcilla arenosa altamente plástica.

4.3.1.3 Muestra Labor

El índice de plasticidad es menor que el resultado de LL- 30, como se muestra a continuación:

$$LL - 30 = 62.39 > IP = 52.51$$

La muestra Labor pertenece al subgrupo **A-7-5 (20)**, arcilla orgánica muy altamente plástica con traza de arena.

4.4 CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL

El contenido de humedad es una característica muy importante en la realización de varios ensayos, ya que al conocerlo se pueden realizar pruebas con gran precisión, en el caso de la prueba Proctor, y otras pruebas necesitan de éste valor para ser desarrolladas, como la prueba de CBR.

Para seleccionar la cantidad de muestra a utilizar para la determinación del contenido de humedad se hizo referencia a la tabla 3.3 (capítulo 3), que nos habla de la masa mínima a utilizar según el tamaño máximo de partículas.



Las 3 muestras de suelo pasan por completo por la malla No. 4; pero algunas partículas son retenidas en la malla No. 10; por lo que la norma AASHTO T-265 recomienda que se utilice como masa mínima 20 gr en una balanza con precisión de 0.01 gr.

El contenido de humedad fue calculado de forma independiente para cada prueba que se realizó, con algunas excepciones. Las tablas con los resultados de los contenidos de humedad de las pruebas realizadas se incorporarán en la sección de Anexo - C.

4.5 MÁXIMA DENSIDAD DE COMPACTACIÓN PROCTOR Y HUMEDAD ÓPTIMA

La máxima densidad de compactación se obtiene bajo cierta condición de humedad, humedad que permite un acomodo de las partículas al ser compactada la muestra. Esto permitirá disminuir los asentamientos cuando el suelo se someta a carga. Los suelos cohesivos por su naturaleza presentan gran cantidad de grumos en su estado natural, los cuales deben ser desechos para permitir que la humedad agregada durante el ensayo Proctor sea adquirida homogéneamente por el suelo. En el caso de la muestra “UES FMOcc.” y “Pinalón” tamizar las muestras por la malla No. 4 fue suficiente, sin embargo en el caso de la muestra “Labor” por sus características poco permeables y extremadamente plástico fue necesario tamizar el suelo a utilizar por la malla No. 8, es así que se obtuvieron los siguientes resultados:

NOTA: para la realización de la prueba Proctor modificada, se utilizó el método A según la tabla 3.5, capítulo 3.



4.5.1 Muestra UES FMOcc.

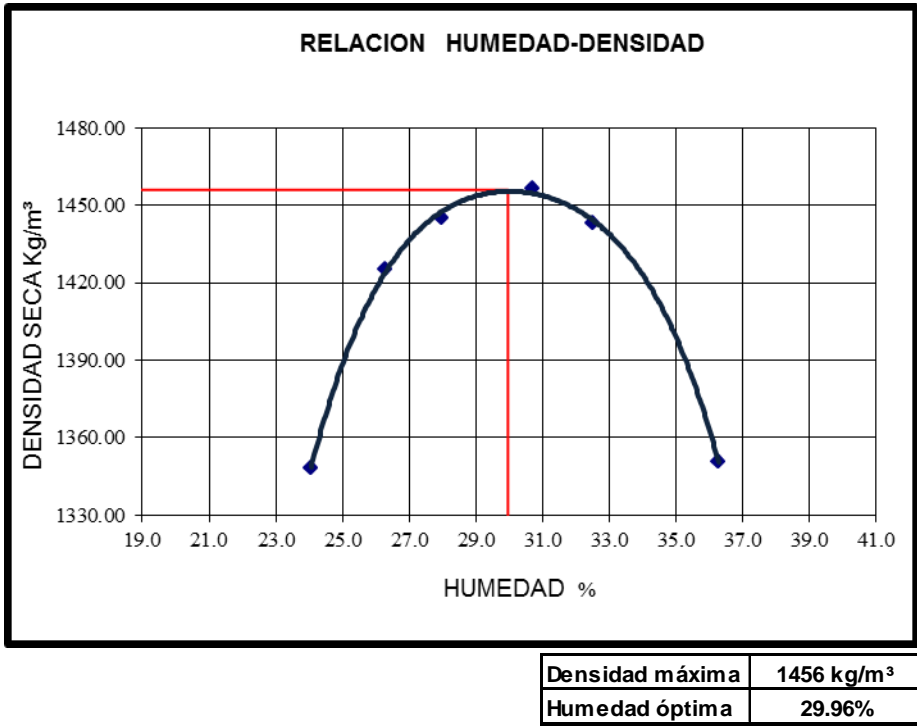


Figura 4.9 Resultados ensayo Proctor T-180 Muestra UES FMOcc.

Tabla 4.22 Cuadro resumen prueba Proctor T-180 Muestra UES FMOcc.

Humedad de Ensayo	%	26	28	30	33	36	39
Desidad Humeda	Kg/m³	1672.37	1799.65	1849.45	1903.69	1912.54	1840.60
Humedad	%	24.06	26.27	27.97	30.71	32.52	36.28
Desidad Seca	Kg/m³	1348.06	1425.19	1445.27	1456.39	1443.22	1350.56

Fuente: Anexo D.1

La tabla resumen muestra los datos obtenidos en forma numérica, los porcentajes de humedad de ensayo correspondientes fueron tomados en base a una prueba empírica conocida a nivel de laboratorio, llamada Proctorito. Esta prueba empírica (no normada) brinda un indicio de la humedad a la cual podría asemejarse la humedad óptima de compactación, para este caso la prueba de Proctorito brindó indicios que la humedad óptima podría estar ubicada entre el 28% al 32%, es por



eso que se partió de 30% y se probó con dos humedades arriba de esta cantidad y dos humedades menores.

4.5.2 Muestra Pinalón

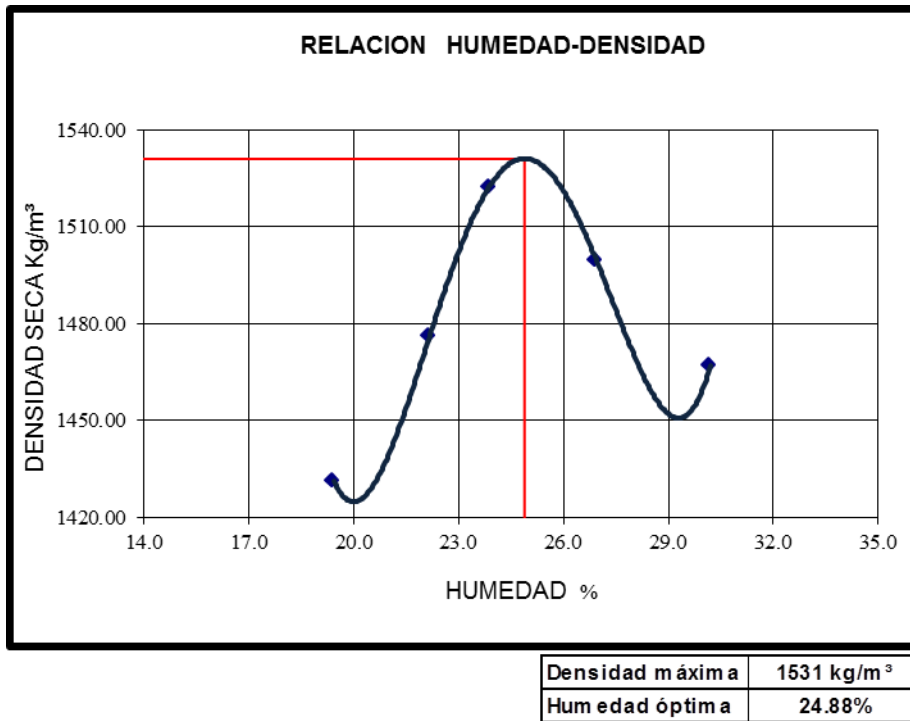


Figura 4.10 Resultados ensayo Proctor T-180 Muestra Pinalón.

Tabla 4.23 Cuadro resumen prueba Proctor T-180 Muestra El Pinalón.

Humedad de Ensayo	%	21	23	25	28	31
Densidad Humeda	kg/m ³	1709.26	1803.86	1885.86	1903.73	1910.03
Humedad	%	19.426	22.174	23.870	26.934	30.199
Densidad Seca	Kg/m ³	1431.23	1476.47	1522.45	1499.77	1467.01

Fuente: Anexo D.2

El ensayo Proctor T-180 de la Muestra El Pinalón, es un clásico ejemplo del comportamiento caprichoso de los suelos cohesivos en lo que a comportamiento Humedad vs Densidad Seca se refiere, ya que al contrario de los suelos granulares, limos arenosos; la gráfica no presenta una forma de campana bien definida si no una forma senoidal.



4.5.3 Muestra Labor

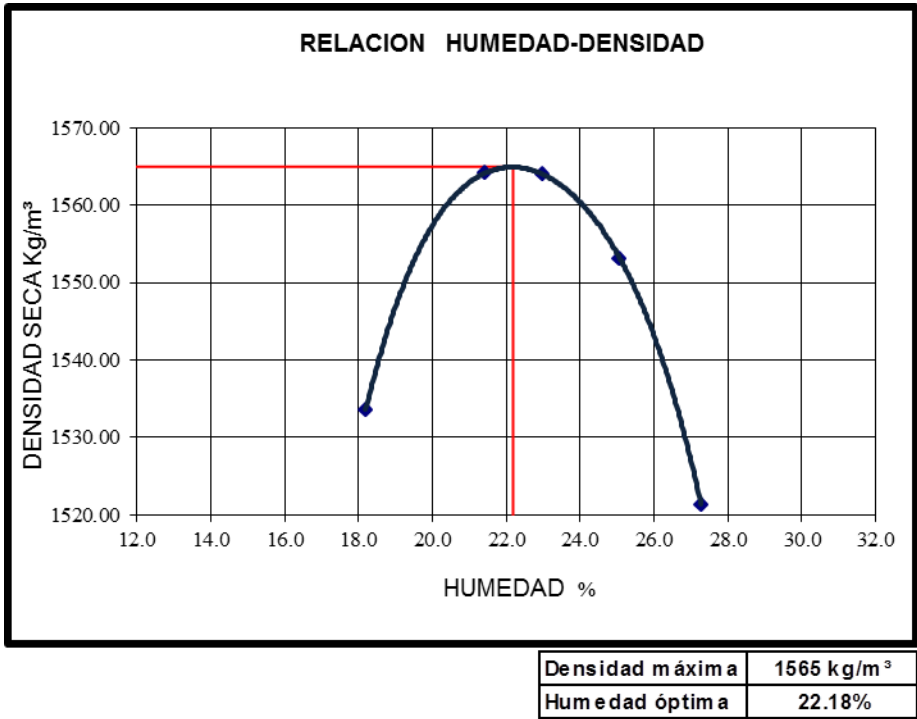


Figura 4.11 Resultados ensayo Proctor T-180 Muestra Labor.

Tabla 4.24 Cuadro resumen prueba Proctor T-180 Muestra Labor.

Humedad de Ensayo	%	20	24	26	28	30	32
Densidad húmeda	kg/m³	1812.63	1899.25	1923.54	1942.56	1936.22	1917.21
Humedad	%	18.19	21.42	22.99	25.07	27.27	27.04
Densidad seca	Kg/m³	1533.60	1564.15	1563.98	1553.12	1521.34	1509.20

Fuente: Anexo D.3

La muestra La Labor por ser un suelo altamente plástico orgánico, presento varias peculiaridades durante los distintos ensayos, por ejemplo en este ensayo se discrimino un punto de humedad de ensayo, específicamente el de 32% ya que al obtener la humedad definitiva esta reporto un 27.04% lo cual indico una incongruencia con la lógica de los valores de los datos.



4.6 RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELOS SIN ADITIVO

Para poder determinar el funcionamiento del aditivo sobre los suelos cohesivos del país es necesario conocer cuáles son las características de los suelos en su estado natural, hay que recordar que el objetivo de la estabilización de suelos es mejorar la capacidad portante de los suelos y en carreteras el ensayo por excelencia es la Relación de Soporte de California o CBR por sus siglas en ingles. A continuación los resultados de la prueba de CBR según AASHTO T-193, dividiéndolo en sus 3 ensayos:

4.6.1 Determinación de la densidad y humedad en molde de CBR

Al conocer la máxima densidad seca de cada muestra de suelo en estudio, y la humedad óptima requerida para lograrlo (datos obtenidos de la prueba Proctor modificada), se muestran los siguientes datos:

Tabla 4.25 Densidad y humedad, muestra UES FMOcc., después de compactar

Nº de golpes/capa		56	25	12
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.85	1.63	1.46
% de humedad	%	29.53	29.51	29.53
Densidad seca	gr/cm ³	1.43	1.26	1.13
Grado de compactación	%	98.03	86.63	77.31

Fuente: Anexo E.1

Tabla 4.26 Densidad y humedad, muestra Pinalón, después de compactar

Nº de golpes/capa		56	25	12
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.89	1.80	1.62
% de humedad	%	24.36	24.38	24.29
Densidad seca	gr/cm ³	1.52	1.45	1.30
Grado de compactación	%	99.26	94.37	84.83

Fuente: Anexo E.2



Tabla 4.27 Densidad y humedad, muestra Labor, después de compactar

Nº de golpes/capa		56	25	12
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.84	1.64	1.47
% de humedad	%	22.17	22.28	22.19
Densidad seca	gr/cm ³	1.50	1.34	1.20
Grado de compactación	%	96.04	85.58	76.66

Fuente: Anexo E.3

NOTA: para la determinación del grado de compactación, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Grado de compactación} = \frac{\text{Densidad seca (ensayo CBR)}}{\text{Máxima densidad seca (Proctor)}} * 100$$

Ec. 4.12 Grado de compactación

4.6.2 Determinación de las propiedades expansivas del material durante la saturación

Las lecturas de expansión tomadas por el dial cada 24 horas, son introducidas en la ecuación 3.5 (capítulo 3) para así calcular el porcentaje de hinchamiento. Los datos obtenidos de cada muestra de suelo son los siguientes:

Tabla 4.28 Hinchamiento, muestra UES FMOcc.

Intervalos	% de hinchamiento		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
24 horas	1.82	3.08	3.30
48 horas	2.36	3.22	3.45
72 horas	2.56	3.30	3.54
96 horas	2.66	3.34	3.58

Fuente: Anexo E.1



Tabla 4.29 Hinchamiento, muestra Pinalón

Intervalos	% de hinchamiento		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
24 horas	3.45	4.59	4.67
48 horas	3.73	4.89	4.76
72 horas	3.91	5.05	4.85
96 horas	3.93	5.07	4.87

Fuente: Anexo E.2

Tabla 4.30 Hinchamiento, muestra Labor

Intervalos	% de hinchamiento		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
24 horas	14.30	19.70	19.73
48 horas	17.97	19.96	20.10
72 horas	18.97	20.22	20.15
96 horas	19.19	20.27	20.23

Fuente: Anexo E.3

4.6.3 Determinación de la resistencia a la penetración después de la saturación

Los valores de esfuerzo (lb/pulg²) obtenidos con su respectiva penetración (pulgadas) son graficados, y mediante la ecuación que mejor describa la tendencia de los datos, podemos obtener los valores corregidos de esfuerzo a la penetración de 0.1 pulgadas y 0.2 pulgadas.

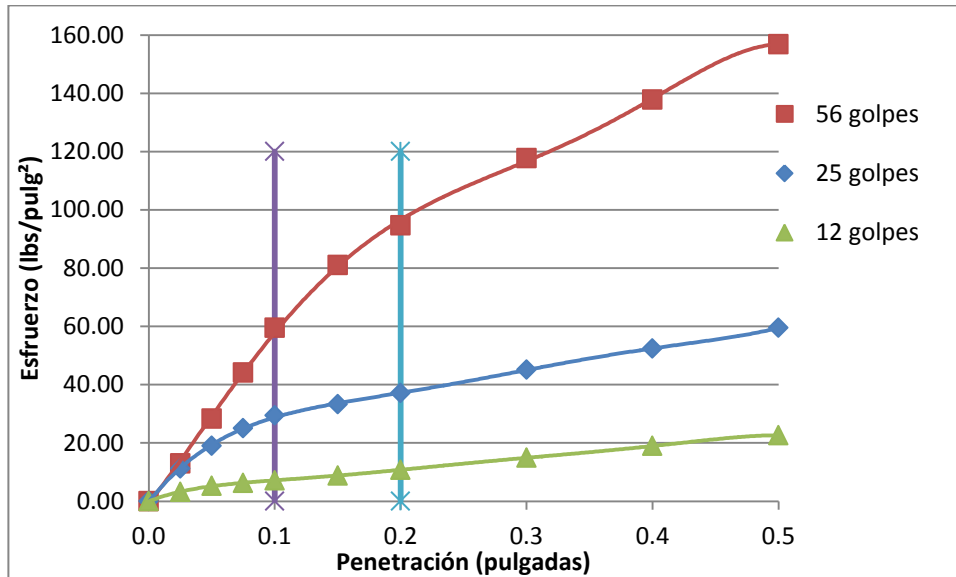


Figura 4.12 Resistencia a la penetración, muestra UES FMOcc.

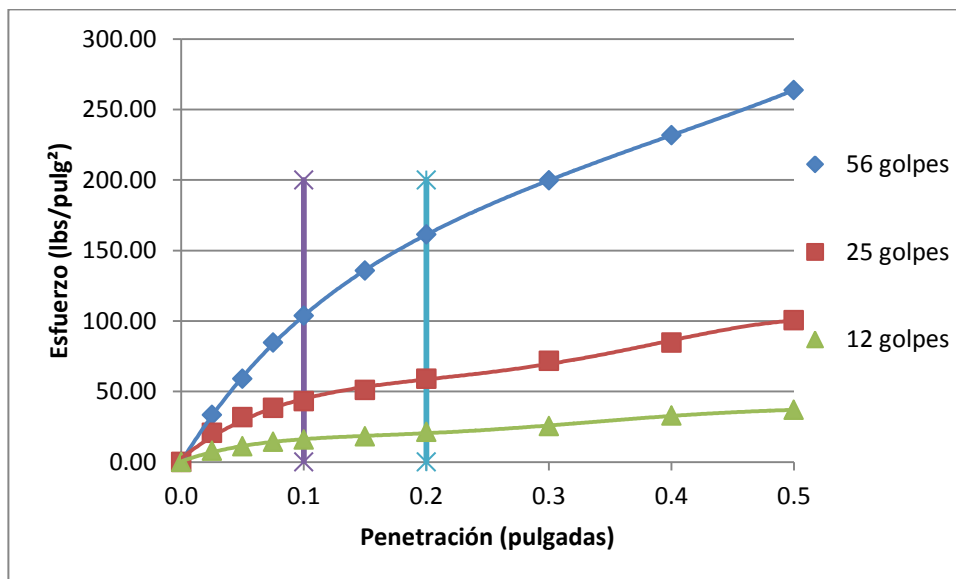


Figura 4.13 Resistencia a la penetración, muestra Pinalón

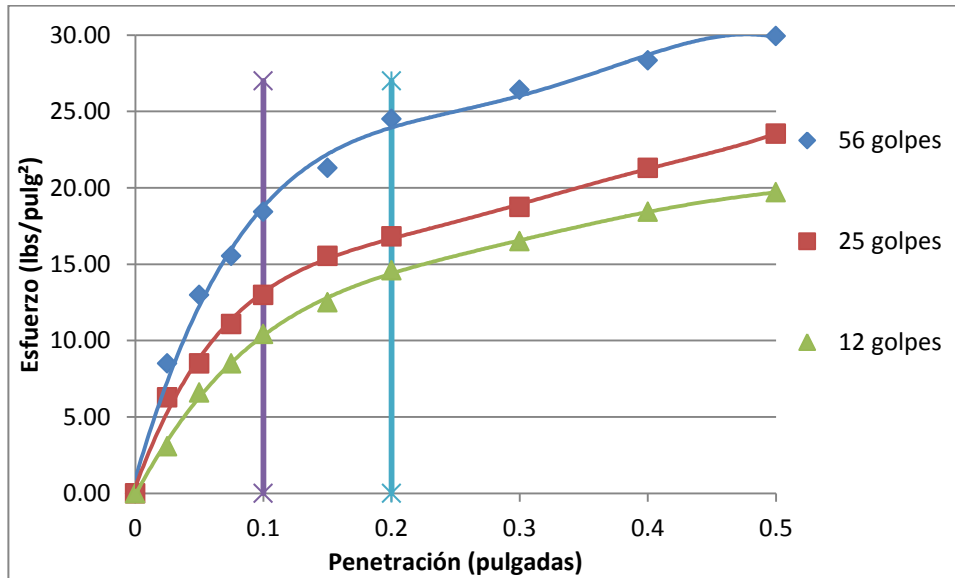


Figura 4.14 Resistencia a la penetración, muestra Labor

4.6.4 CBR de diseño

Los valores de esfuerzo corregido a 0.1 pulgadas y 0.2 pulgadas han sido convertidos a valores de CBR mediante la ecuación 3.6 y posteriormente graficados versus los respectivos valores de densidad seca después de compactar obtenidos para cada número de golpes.

Al conocer la MDS (máxima densidad seca) de cada muestra de suelo mediante el ensayo Proctor modificado, se interceptan las gráficas de CBR vs DS con el 95% de la MDS, la curva que resulte con mayor valor de CBR (curva a 0.1 pulgadas o 0.2 pulgadas), ese valor se tomará como CBR de diseño.

A continuación se expone cada muestra de suelo con su respectivo CBR de diseño:



4.6.4.1 Muestra UES FMOcc.

Tabla 4.31 CBR de diseño, muestra UES FMOcc.

# de golpes	Densidad seca (gr/cm ³)	CBR		CBR corregido		95% de MDS Proctor	CBR de diseño
		0.1 pulg	0.2 pulg	0.1 pulg	0.2 pulg		
12	1.13	0.71	0.72	0.72	0.72	1.38 gr/cm ³	5.25
25	1.26	2.94	2.47	2.87	2.48		
56	1.43	5.95	6.31	5.70	6.39		

Fuente: Anexo E.1

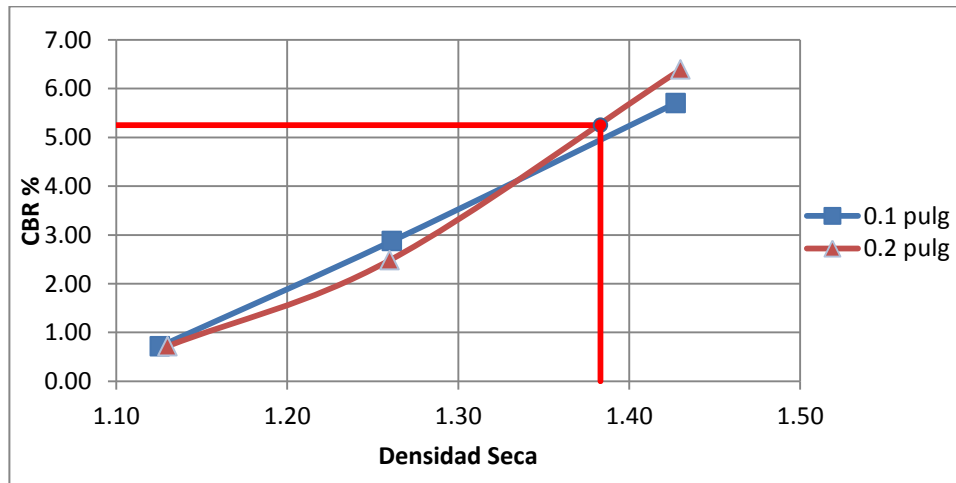


Figura 4.15 CBR de diseño, muestra UES FMOcc.

4.6.4.2 Muestra Pinalón

Tabla 4.32 CBR de diseño, muestra Pinalón

# de golpes	Densidad seca (gr/cm ³)	CBR		CBR corregido		95% de MDS Proctor	CBR de diseño
		0.1 pulg	0.2 pulg	0.1 pulg	0.2 pulg		
12	1.30	1.59	1.42	1.82	1.48	1.45 gr/cm ³	4.81
25	1.45	4.31	3.94	4.43	3.83		
56	1.52	10.38	10.76	10.40	10.76		

Fuente: Anexo E.2

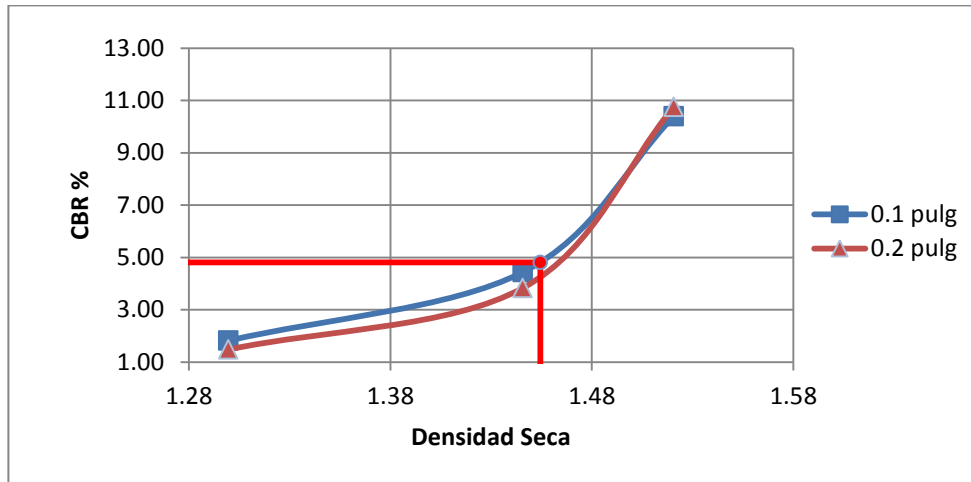


Figura 4.16 CBR de diseño, muestra Pinalón

4.6.4.3 Muestra Labor

Tabla 4.33 CBR de diseño, muestra Labor

# de golpes	Densidad seca (gr/cm³)	CBR		CBR corregido		95% de MDS Proctor	CBR de diseño
		0.1 pulg	0.2 pulg	0.1 pulg	0.2 pulg		
12	1.20	1.04	0.97	1.03	0.96	1.49 gr/cm³	1.81
25	1.34	1.3	1.12	1.32	1.11		
56	1.50	1.84	1.63	1.87	1.57		

Fuente: Anexo E.3

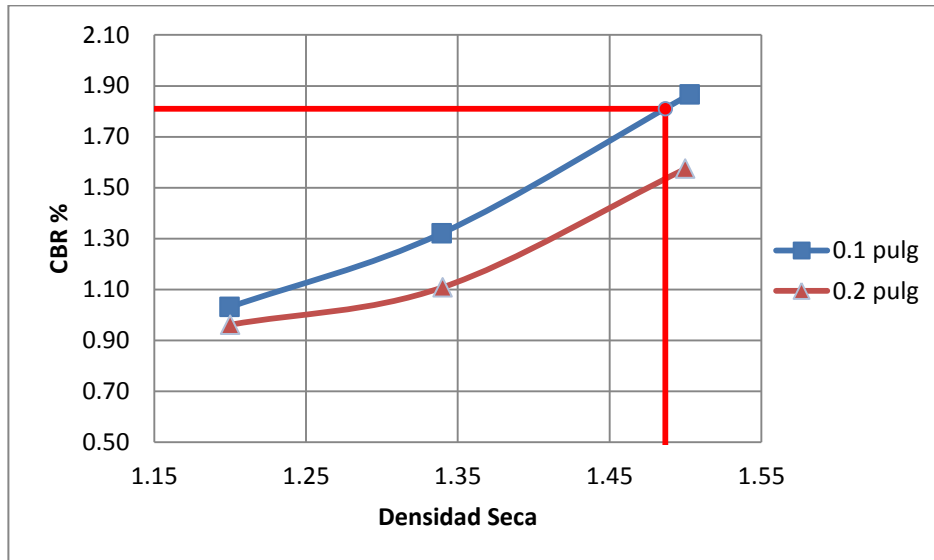


Figura 4.17 CBR de diseño, muestra Labor

4.7 RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELOS CON ADITIVO

Para determinar la relación de soporte de los suelos con aditivo, se llevó a cabo el mismo procedimiento que la relación de soporte de los suelos sin aditivo. El análisis de los datos se hará nuevamente separando la prueba de CBR en sus 3 ensayos; diferenciando en cada ensayo las dosificaciones de aditivo/agua de las muestras en estudio (1:1000, 2:1000, 3:1000):

4.7.1 Determinación de la densidad y humedad en molde de CBR

4.7.1.1 Muestra UES FMOcc.

Tabla 4.34 Densidad y humedad, dosificación 1:1000, muestra UES FMOcc., después de compactar

Nº de golpes/capa		56	25	12
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.87	1.72	1.60
% de humedad	%	29.67	29.72	29.66
Densidad seca	gr/cm ³	1.44	1.32	1.24
Grado de compactación	%	99.11	90.95	84.86

Fuente: Anexo F.1.1



Tabla 4.35 Densidad y humedad, dosificación 2:1000, muestra UES FMOcc., después de compactar

Nº de golpes/capa		56	25	12
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.87	1.77	1.63
% de humedad	%	29.45	29.62	29.57
Densidad seca	gr/cm ³	1.45	1.36	1.26
Grado de compactación	%	99.27	93.52	86.47

Fuente: Anexo F.1.2

Tabla 4.36 Densidad y humedad, dosificación 3:1000, muestra UES FMOcc., después de compactar

Nº de golpes/capa		56	25	12
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.90	1.81	1.68
% de humedad	%	29.61	29.61	29.52
Densidad seca	gr/cm ³	1.46	1.40	1.30
Grado de compactación	%	100.52	95.94	89.29

Fuente: Anexo F.1.3

4.7.1.2 Muestra Pinalón

Tabla 4.37 Densidad y humedad, dosificación 1:1000, muestra Pinalón, después de compactar

Nº de golpes/capa		56	25	12
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.91	1.78	1.66
% de humedad	%	24.85	24.40	24.51
Densidad seca	gr/cm ³	1.53	1.43	1.33
Grado de compactación	%	99.98	93.70	87.03

Fuente: Anexo F.2.1

Tabla 4.38 Densidad y humedad, dosificación 2:1000, muestra Pinalón, después de compactar

Nº de golpes/capa		56	25	12
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.94	1.87	1.64
% de humedad	%	24.54	24.48	24.53
Densidad seca	gr/cm ³	1.56	1.50	1.32
Grado de compactación	%	101.70	98.26	85.98

Fuente: Anexo F.2.2



Tabla 4.39 Densidad y humedad, dosificación 3:1000, muestra Pinalón, después de compactar

Nº de golpes/capa		56	25	12
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.95	1.85	1.67
% de humedad	%	24.42	24.63	24.44
Densidad seca	gr/cm ³	1.57	1.48	1.34
Grado de compactación	%	102.28	96.90	87.80

Fuente: Anexo F.2.3

4.7.1.3 Muestra Labor

Tabla 4.40 Densidad y humedad, dosificación 1:1000, muestra Labor, después de compactar

Nº de golpes/capa		56	25	12
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.87	1.70	1.54
% de humedad	%	21.81	21.71	21.79
Densidad seca	gr/cm ³	1.53	1.40	1.30
Grado de compactación	%	97.95	89.41	83.06

Fuente: Anexo F.3.1

Tabla 4.41 Densidad y humedad, dosificación 2:1000, muestra Labor, después de compactar

Nº de golpes/capa		56	25	12
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.91	1.72	1.55
% de humedad	%	21.85	21.87	21.86
Densidad seca	gr/cm ³	1.57	1.41	1.27
Grado de compactación	%	100.12	90.28	81.07

Fuente: Anexo F.3.2

Tabla 4.42 Densidad y humedad, dosificación 3:1000, muestra Labor, después de compactar

Nº de golpes/capa		56	25	12
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.86	1.69	1.56
% de humedad	%	21.96	21.84	21.85
Densidad seca	gr/cm ³	1.53	1.39	1.28
Grado de compactación	%	97.45	88.51	81.80

Fuente: Anexo F.3.3



4.7.2 Determinación de las propiedades expansivas del material durante la saturación

4.7.2.1 Muestra UES FMOcc.

Tabla 4.43 Hinchamiento, dosificación 1:1000, muestra UES FMOcc.

Intervalos	% de hinchamiento		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
24 horas	0.37	0.44	1.09
48 horas	0.59	0.61	1.16
72 horas	0.70	0.74	1.24
96 horas	0.72	0.75	1.27

Fuente: Anexo F.1.1

Tabla 4.44 Hinchamiento, dosificación 2:1000, muestra UES FMOcc.

Intervalos	% de hinchamiento		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
24 horas	0.35	0.98	1.52
48 horas	0.50	1.24	1.70
72 horas	0.63	1.30	1.79
96 horas	0.70	1.37	1.87

Fuente: Anexo F.1.2

Tabla 4.45 Hinchamiento, dosificación 3:1000, muestra UES FMOcc.

Intervalos	% de hinchamiento		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
24 horas	0.35	0.92	1.17
48 horas	0.46	1.16	1.22
72 horas	0.57	1.20	1.3
96 horas	0.58	1.22	1.32

Fuente: Anexo F.1.3



4.7.2.2 Muestra Pinalón

Tabla 4.46 Hinchamiento, dosificación 1:1000, muestra Pinalón

Intervalos	% de hinchamiento		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
24 horas	2.44	3.41	4.82
48 horas	2.94	3.49	4.88
72 horas	3.01	3.54	4.91
96 horas	3.23	3.58	4.91

Fuente: Anexo F.2.1

Tabla 4.47 Hinchamiento, dosificación 2:1000, muestra Pinalón

Intervalos	% de hinchamiento		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
24 horas	2.80	2.87	2.66
48 horas	2.89	3.06	2.70
72 horas	2.95	3.22	3.33
96 horas	3.15	3.26	3.44

Fuente: Anexo F.2.2

Tabla 4.48 Hinchamiento, dosificación 3:1000, muestra Pinalón

Intervalos	% de hinchamiento		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
24 horas	2.29	2.82	2.95
48 horas	2.73	2.90	3.17
72 horas	2.90	2.97	3.30
96 horas	2.97	3.17	3.34

Fuente: Anexo F.2.3



4.7.2.3 Muestra Labor

Tabla 4.49 Hinchamiento, dosificación 1:1000, muestra Labor

Intervalos	% de hinchamiento		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
24 horas	12.54	13.72	14.76
48 horas	15.31	17.04	17.63
72 horas	16.53	18.78	17.80
96 horas	17.64	20.16	17.82

Fuente: Anexo F.3.1

Tabla 4.50 Hinchamiento, dosificación 2:1000, muestra Labor

Intervalos	% de hinchamiento		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
24 horas	5.55	7.87	9.15
48 horas	6.86	9.34	11.37
72 horas	8.09	9.78	12.00
96 horas	8.22	10.84	12.10

Fuente: Anexo F.3.2

Tabla 4.51 Hinchamiento, dosificación 3:1000, muestra Labor

Intervalos	% de hinchamiento		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
24 horas	11.17	14.63	12.89
48 horas	13.75	17.95	15.29
72 horas	15.45	18.19	17.52
96 horas	16.39	18.30	17.62

Fuente: Anexo F.3.3



4.7.3 Determinación de la resistencia a la penetración después de la saturación

4.7.3.1 Muestra UES FMOcc.

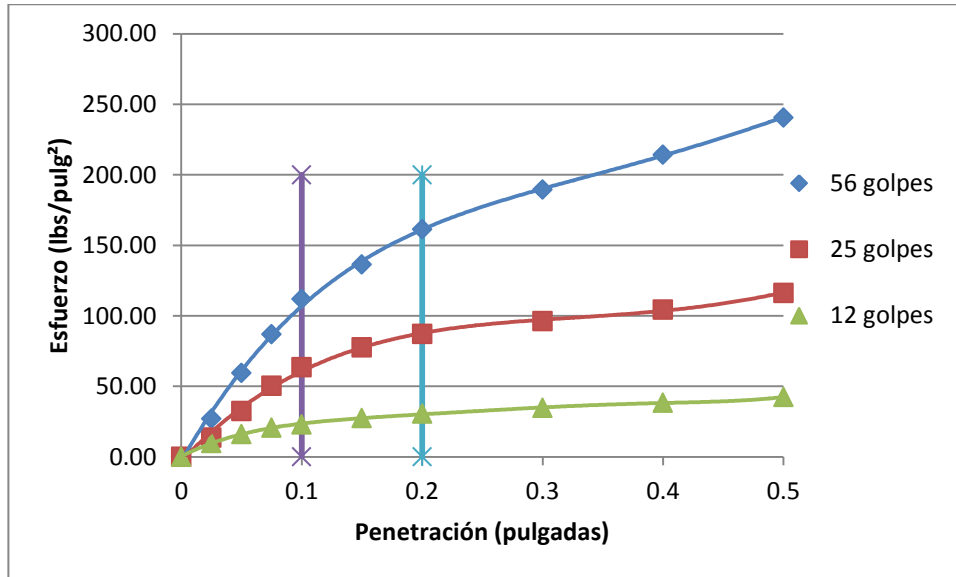


Figura 4.18 Resistencia a la penetración, dosificación 1:1000, muestra UES FMOcc.

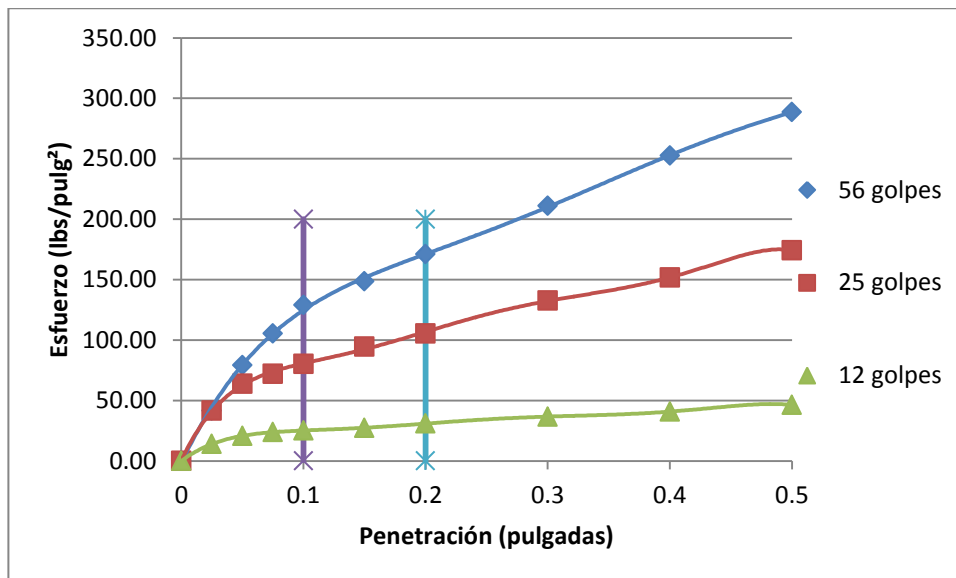


Figura 4.19 Resistencia a la penetración, dosificación 2:1000, muestra UES FMOcc.

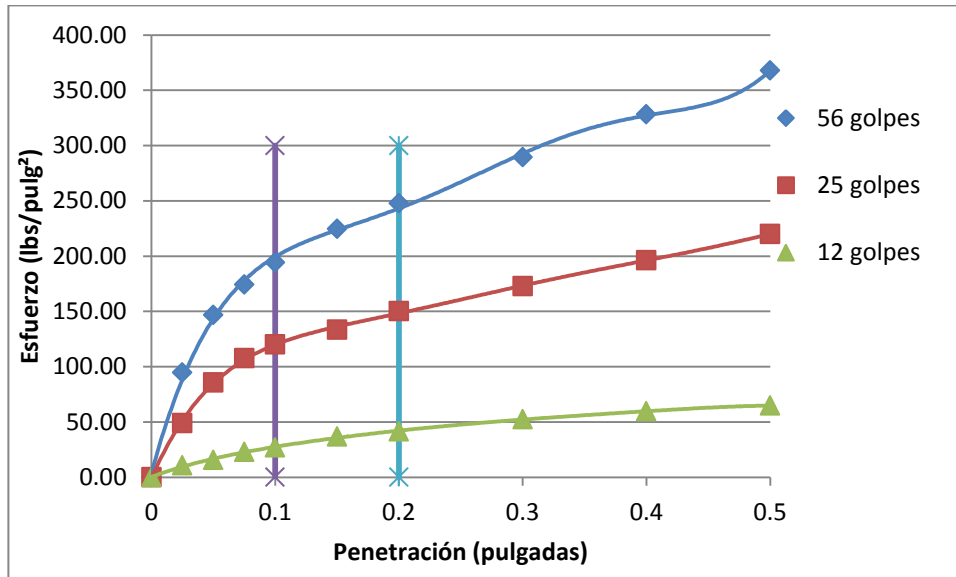


Figura 4.20 Resistencia a la penetración, dosificación 3:1000, muestra UES FMOcc.

4.7.3.2 Muestra Pinalón

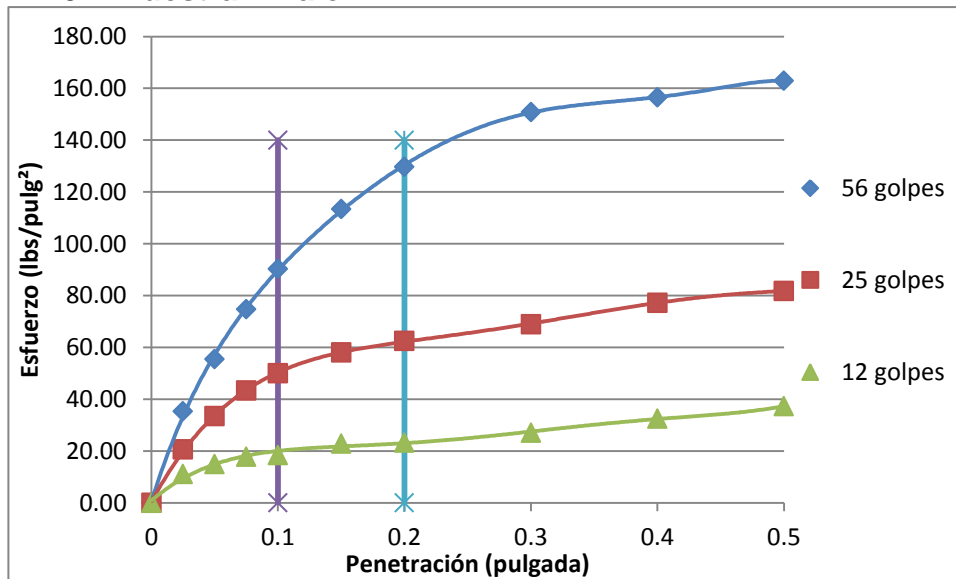


Figura 4.21 Resistencia a la penetración, dosificación 1:1000, muestra Pinalón

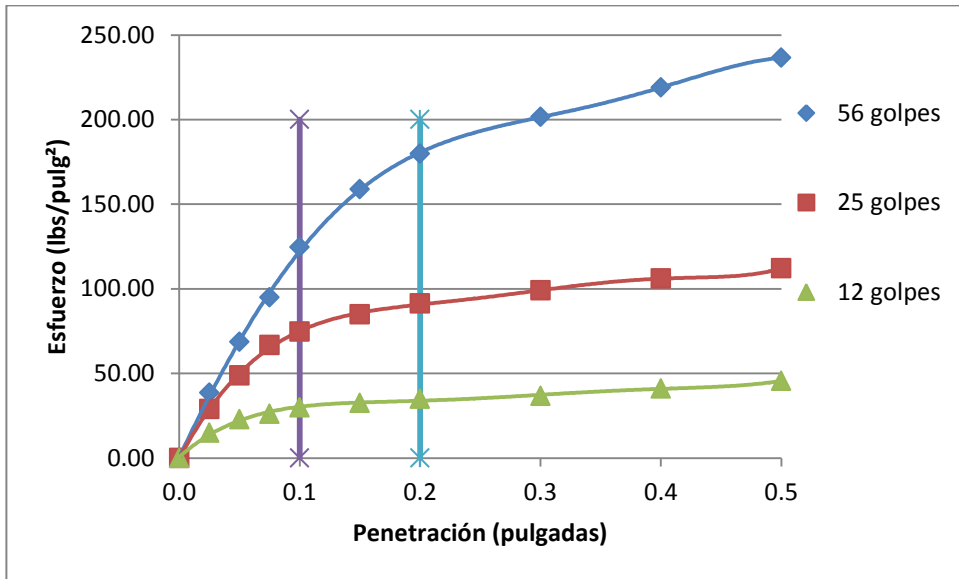


Figura 4.22 Resistencia a la penetración, dosificación 2:1000, muestra Pinalón

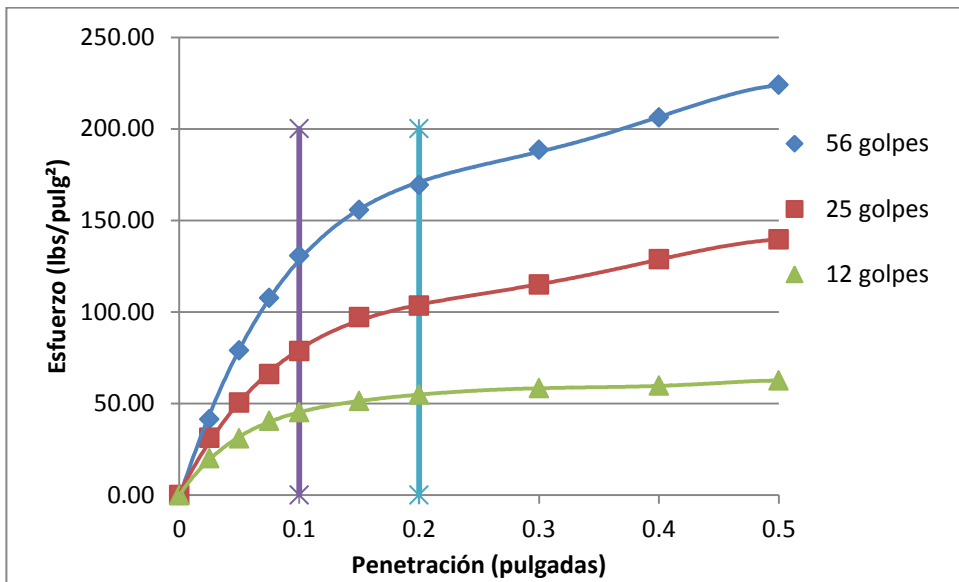


Figura 4.23 Resistencia a la penetración, dosificación 3:1000, muestra Pinalón



4.7.3.3 Muestra Labor

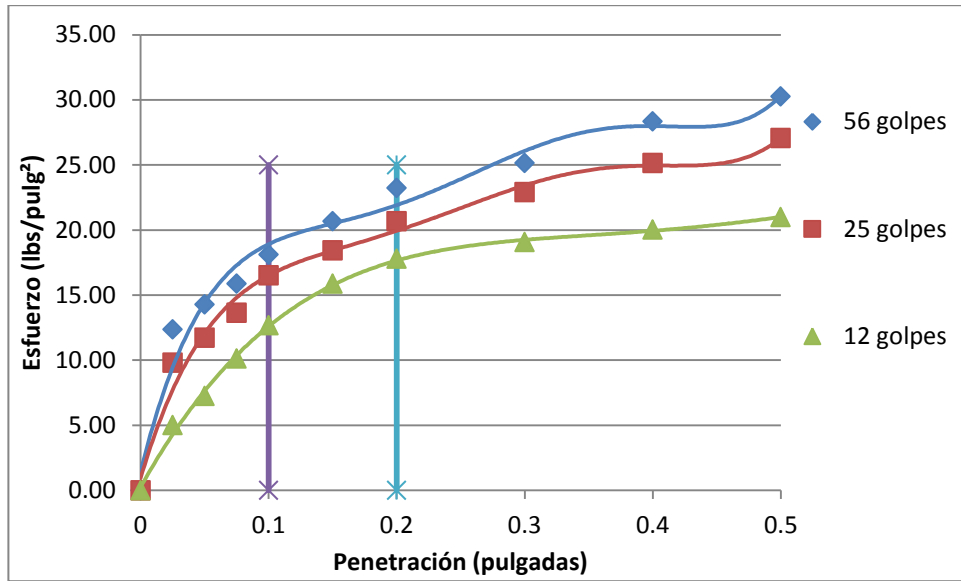


Figura 4.24 Resistencia a la penetración, dosificación 1:1000, muestra Labor

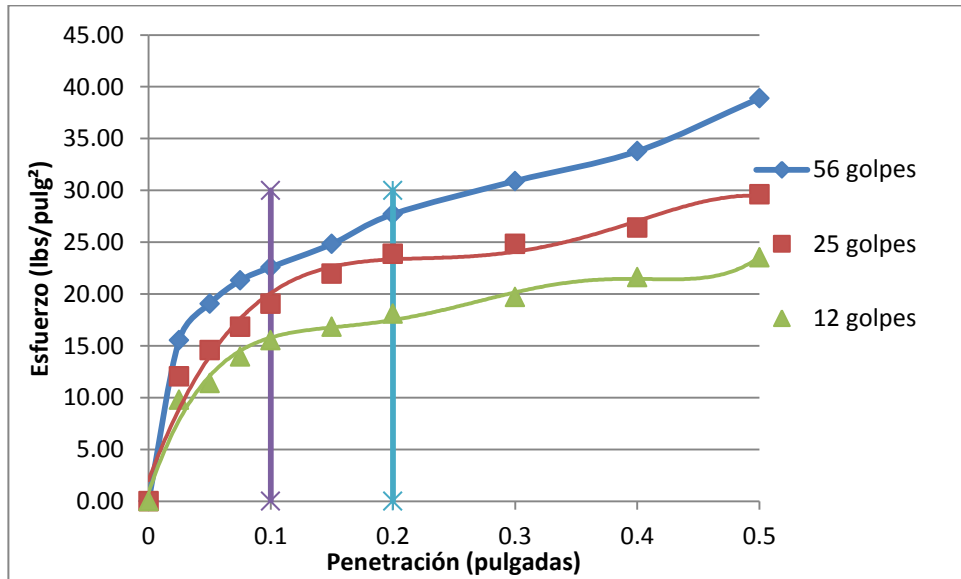


Figura 4.25 Resistencia a la penetración, dosificación 2:1000, muestra Labor

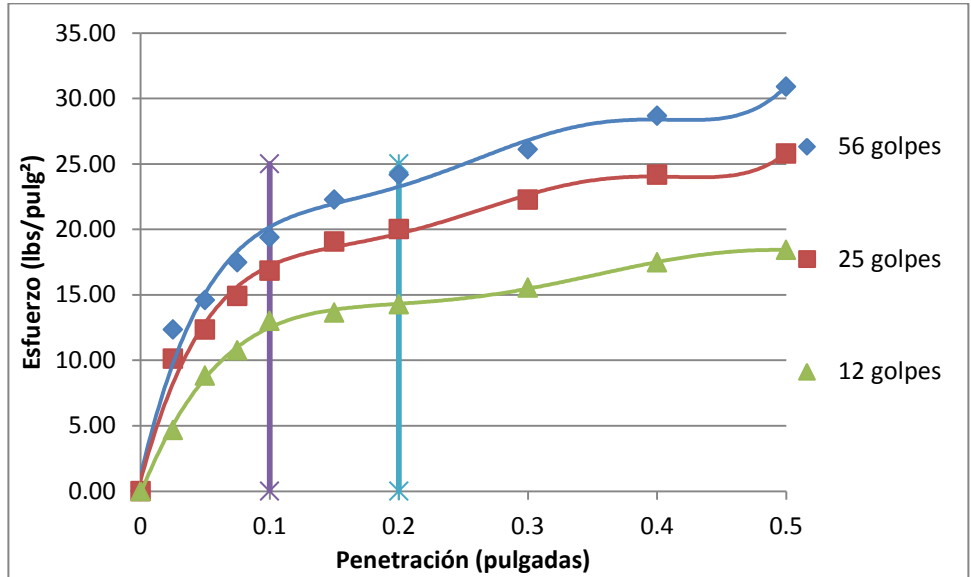


Figura 4.26 Resistencia a la penetración, dosificación 3:1000, muestra Labor

4.7.4 CBR de diseño

4.7.4.1 Muestra UES FMOcc.

4.7.4.1.1 Dosificación 1:1000

Tabla 4.52 CBR de diseño, dosificación 1:1000, muestra UES FMOcc.

# de golpes	Densidad seca (gr/cm ³)	CBR		CBR corregido		95% de MDS Proctor	CBR de diseño
		0.1 pulg	0.2 pulg	0.1 pulg	0.2 pulg		
12	1.24	2.29	2.04	2.32	2.04	1.38 gr/cm ³	8.95
25	1.32	6.35	5.81	6.09	6.48		
56	1.44	11.18	10.76	10.64	11.40		

Fuente: Anexo F.1.1

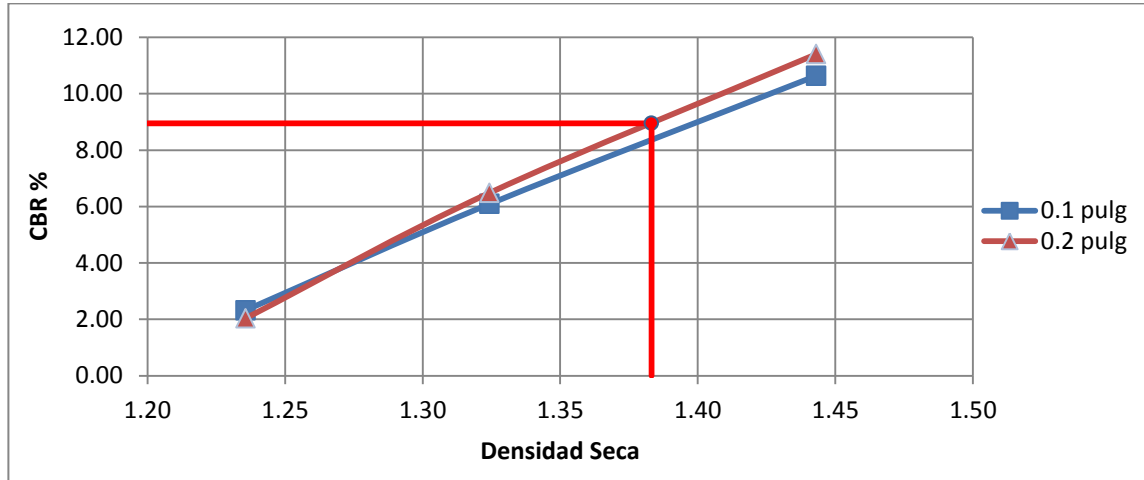


Figura 4.27 CBR de diseño, dosificación 1:1000, muestra UES FMOcc.

4.7.4.1.2 Dosificación 2:1000

Tabla 4.53 CBR de diseño, dosificación 2:1000, muestra UES FMOcc.

# de golpes	Densidad seca (gr/cm³)	CBR		CBR corregido		95% de MDS Proctor	CBR de diseño
		0.1 pulg	0.2 pulg	0.1 pulg	0.2 pulg		
12	1.26	2.51	2.06	2.52	2.06	1.38 gr/cm³	9.35
25	1.36	8.01	7.03	8.31	6.91		
56	1.45	12.91	11.40	12.51	11.46		

Fuente: Anexo F.1.2

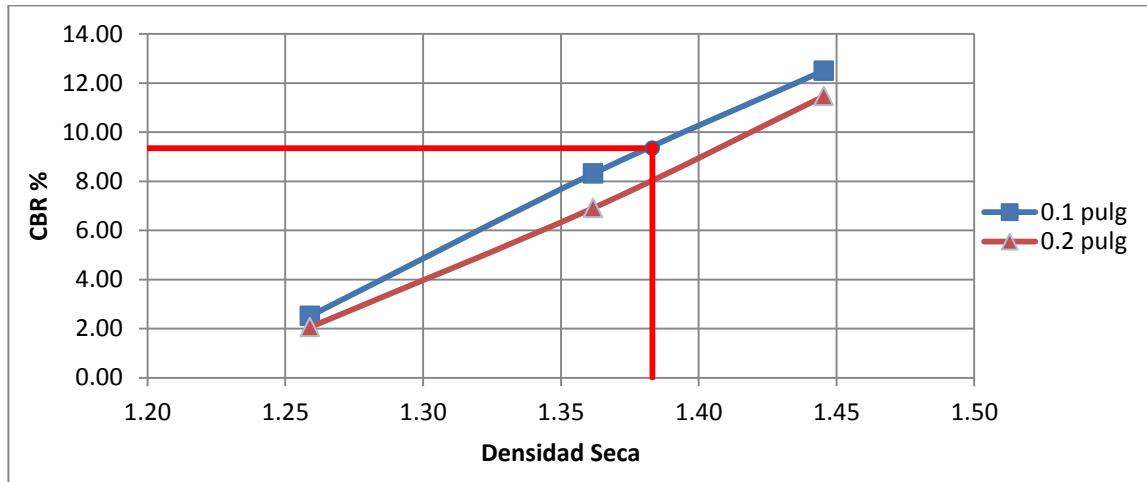


Figura 4.28 CBR de diseño, dosificación 2:1000, muestra UES FMOcc.

4.7.4.1.3 Dosificación 3:1000

Tabla 4.54 CBR de diseño, dosificación 3:1000, muestra UES FMOcc.

# de golpes	Densidad seca (gr/cm³)	CBR		CBR corregido		95% de MDS Proctor	CBR de diseño
		0.1 pulg	0.2 pulg	0.1 pulg	0.2 pulg		
12	1.30	2.71	2.76	2.75	2.81	1.38 gr/cm³	11.70
25	1.40	12.01	10.01	13.20	9.83		
56	1.46	19.43	16.51	20.36	16.47		

Fuente: Anexo F.1.3

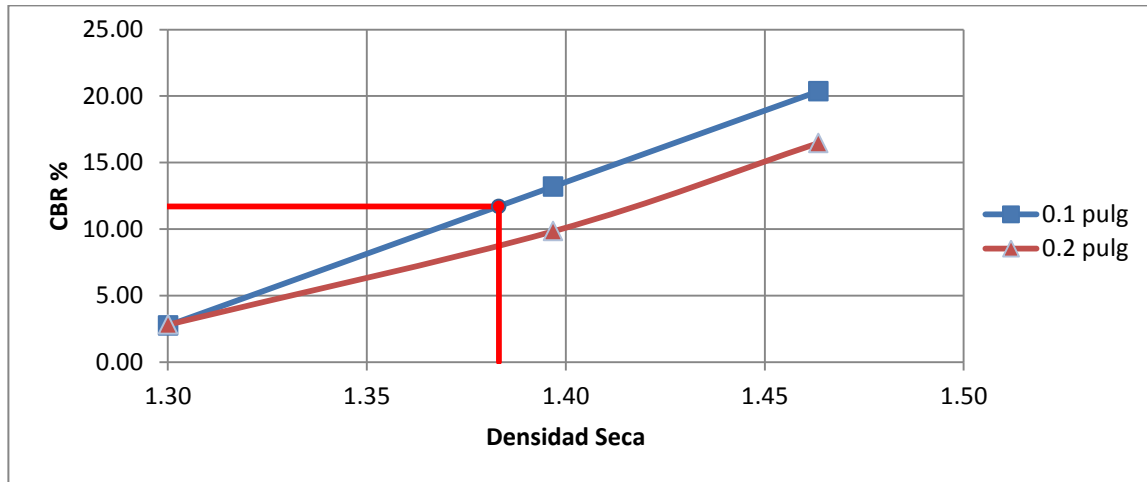


Figura 4.29 CBR de diseño, dosificación 3:1000, muestra UES FMOcc.

4.7.4.2 Muestra Pinalón

4.7.4.2.1 Dosificación 1:1000

Tabla 4.55 CBR de diseño, dosificación 1:1000, muestra Pinalón

# de golpes	Densidad seca (gr/cm³)	CBR		CBR corregido		95% de MDS Proctor	CBR de diseño
		0.1 pulg	0.2 pulg	0.1 pulg	0.2 pulg		
12	1.33	1.84	1.55	1.82	1.48	1.45 gr/cm³	5.78
25	1.43	5.01	4.17	5.04	4.14		
56	1.53	9.04	8.65	9.15	8.69		

Fuente: Anexo F.2.1

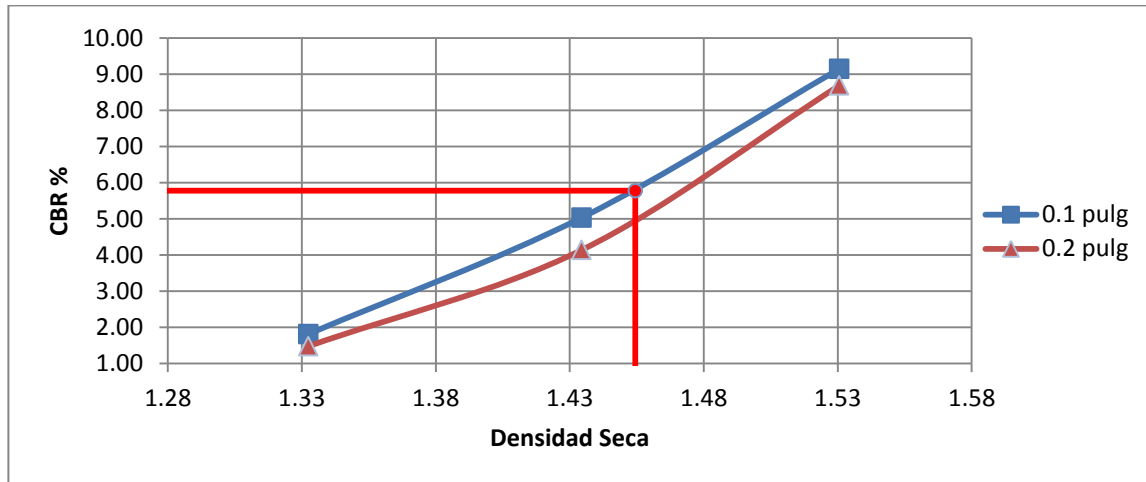


Figura 4.30 CBR de diseño, dosificación 1:1000, muestra Pinalón

4.7.4.2.2 Dosificación 2:1000

Tabla 4.56 CBR de diseño, dosificación 2:1000, muestra Pinalón

# de golpes	Densidad seca (gr/cm³)	CBR		CBR corregido		95% de MDS Proctor	CBR de diseño
		0.1 pulg	0.2 pulg	0.1 pulg	0.2 pulg		
12	1.32	2.99	2.34	3.04	2.25	1.45 gr/cm³	6.00
25	1.50	7.47	6.09	7.47	6.08		
56	1.56	12.46	11.99	11.71	11.18		

Fuente: Anexo F.2.2

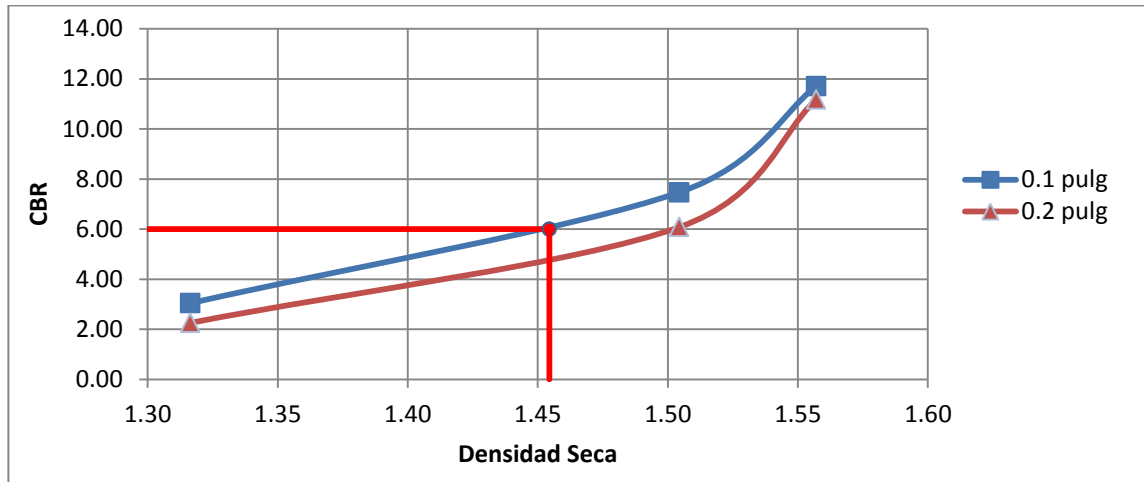


Figura 4.31 CBR de diseño, dosificación 2:1000, muestra Pinalón

4.7.4.2.3 Dosificación 3:1000

Tabla 4.57 CBR de diseño, dosificación 3:1000, muestra Pinalón

# de golpes	Densidad seca (gr/cm ³)	CBR		CBR corregido		95% de MDS Proctor	CBR de diseño
		0.1 pulg	0.2 pulg	0.1 pulg	0.2 pulg		
12	1.34	4.53	3.66	4.53	3.66	1.45 gr/cm ³	7.08
25	1.48	7.85	6.90	7.96	6.93		
56	1.57	13.07	11.29	12.81	11.40		

Fuente: Anexo F.2.3

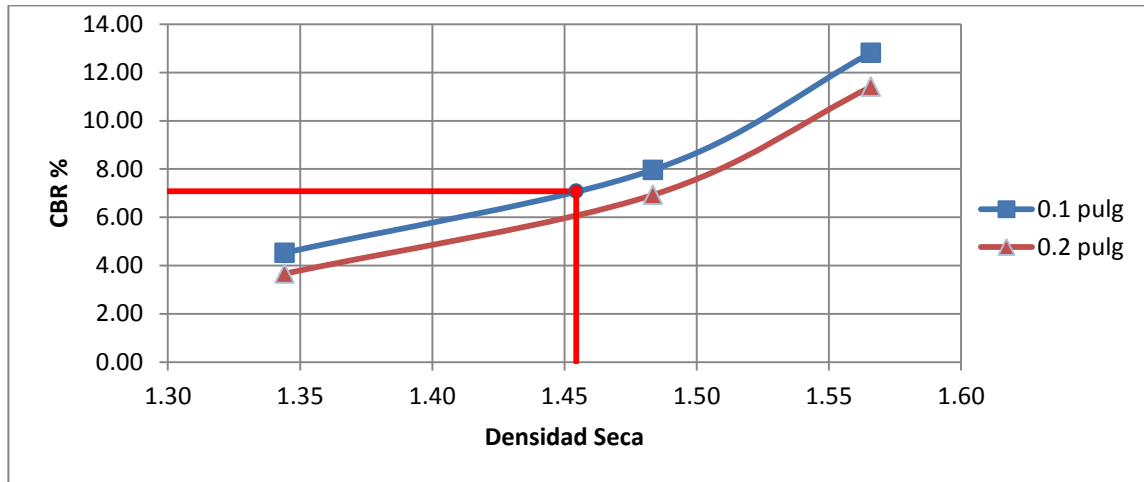


Figura 4.32 CBR de diseño, dosificación 3:1000, muestra Pinalón

4.7.4.3 Muestra Labor

4.7.4.3.1 Dosificación 1:1000

Tabla 4.58 CBR de diseño, dosificación 1:1000, muestra Labor

# de golpes	Densidad seca (gr/cm ³)	CBR		CBR corregido		95% de MDS Proctor	CBR de diseño
		0.1 pulg	0.2 pulg	0.1 pulg	0.2 pulg		
12	1.30	1.27	1.19	1.26	1.18	1.49 gr/cm ³	1.85
25	1.40	1.65	1.38	1.70	1.35		
56	1.53	1.81	1.55	1.91	1.45		

Fuente: Anexo F.3.1

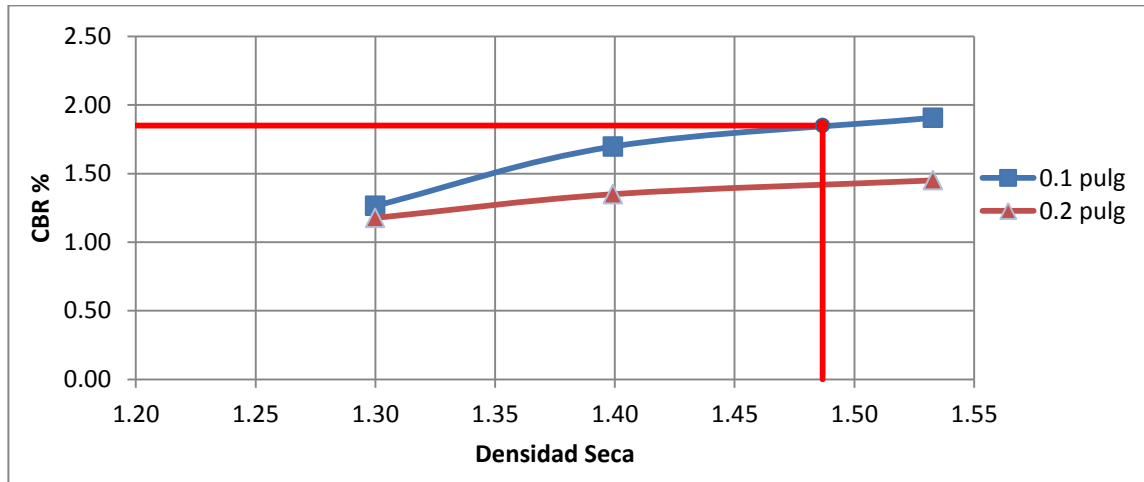


Figura 4.33 CBR de diseño, dosificación 1:1000, muestra Labor

4.7.4.3.2 Dosificación 2:1000

Tabla 4.59 CBR de diseño, dosificación 2:1000, muestra Labor

# de golpes	Densidad seca (gr/cm ³)	CBR		CBR corregido		95% de MDS Proctor	CBR de diseño
		0.1 pulg	0.2 pulg	0.1 pulg	0.2 pulg		
12	1.27	1.56	1.21	1.59	1.16	1.49 gr/cm ³	2.19
25	1.41	1.91	1.59	2.00	1.52		
56	1.57	2.26	1.85	2.40	1.73		

Fuente: Anexo F.3.2

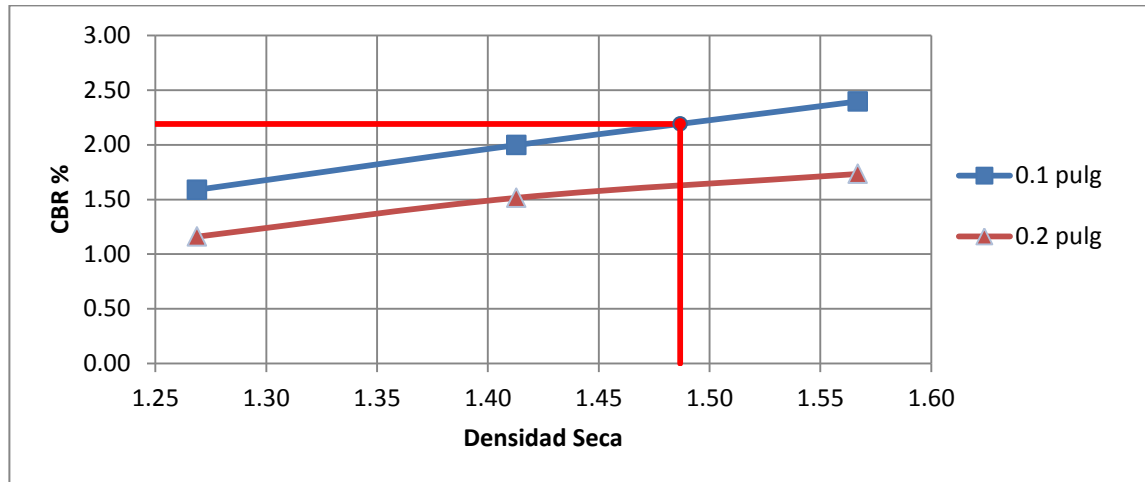


Figura 4.34 CBR de diseño, dosificación 2:1000, muestra Labor

4.7.4.3.3 Dosificación 3:1000

Tabla 4.60 CBR de diseño, dosificación 3:1000, muestra Labor

# de golpes	Densidad seca (gr/cm³)	CBR		CBR corregido		95% de MDS Proctor	CBR de diseño
		0.1 pulg	0.2 pulg	0.1 pulg	0.2 pulg		
12	1.28	1.3	0.95	1.25	0.96	1.49 gr/cm³	1.95
25	1.39	1.68	1.34	1.73	1.31		
56	1.53	1.94	1.61	2.03	1.54		

Fuente: Anexo F.3.3

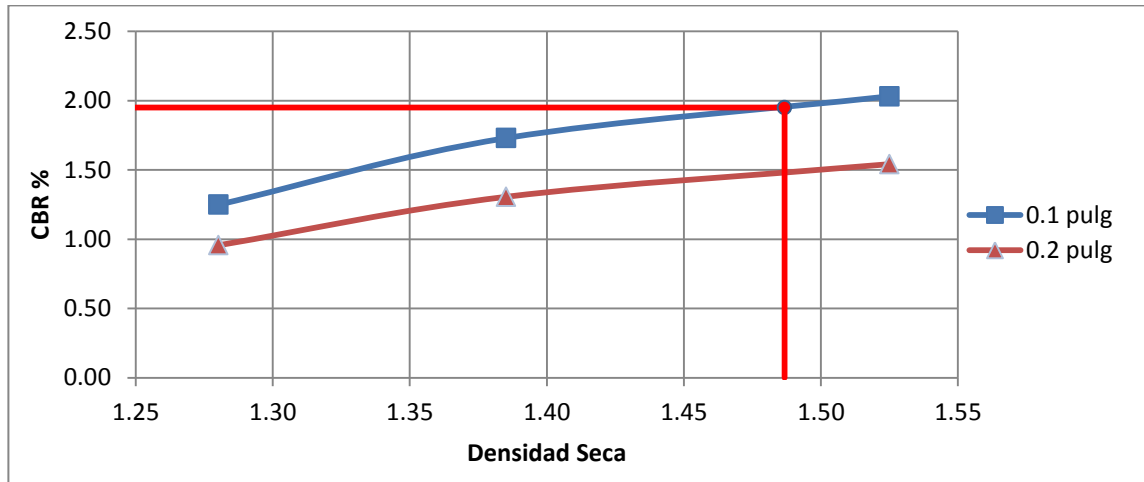


Figura 4.35 CBR de diseño, dosificación 3:1000, muestra Labor

4.8 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE SUELOS SIN ADITIVO Y SUELOS CON ADITIVO

Para lograr determinar la dosis de aditivo que otorgue mejores beneficios a los suelos en estudio, es necesaria la comparación; por lo que los datos mostrados anteriormente deberán confrontarse entre sí.

NOTA: La comparación de los resultados se hará entre suelos con aditivo versus suelos sin aditivo (de la misma muestra de suelo), y no entre los resultados de los suelos con aditivo.

4.8.1 Relación de soporte

Para cada muestra de suelo sin aditivo fue determinado su valor de CBR de diseño, así como también para las muestras de suelo con aditivo con las dosificaciones de 1:1000, 2:1000 y 3:1000. Es necesario determinar en qué porcentaje es aumentado o disminuido el valor de CBR de diseño de los suelos sin aditivos al ser tratados con el estabilizador líquido, para establecer cual dosificación brinda mejor capacidad portante a cada suelo.



4.8.1.1 Muestra UES FMOcc.

La muestra UES FMOcc. fue ensayada con las dosis 1:1000, 2:1000 y 3:1000 al igual que la muestra Pinalón y la muestra Labor. En la siguiente tabla se muestra en que porcentaje fue mejorado el valor de CBR de diseño al ser aplicado el aditivo líquido en sus tres dosificaciones:

Tabla 4.61 CBR con aditivo vs CBR sin aditivo, muestra UES FMOcc.

Dosificación	CBR con aditivo	CBR natural	% de mejora
1:1000	8.95	5.25	70.48%
2:1000	9.35		78.10%
3:1000	11.70		122.86%

Con estos datos podemos representar gráficamente el comportamiento de la muestra de suelo al ser afectado por el estabilizador químico.

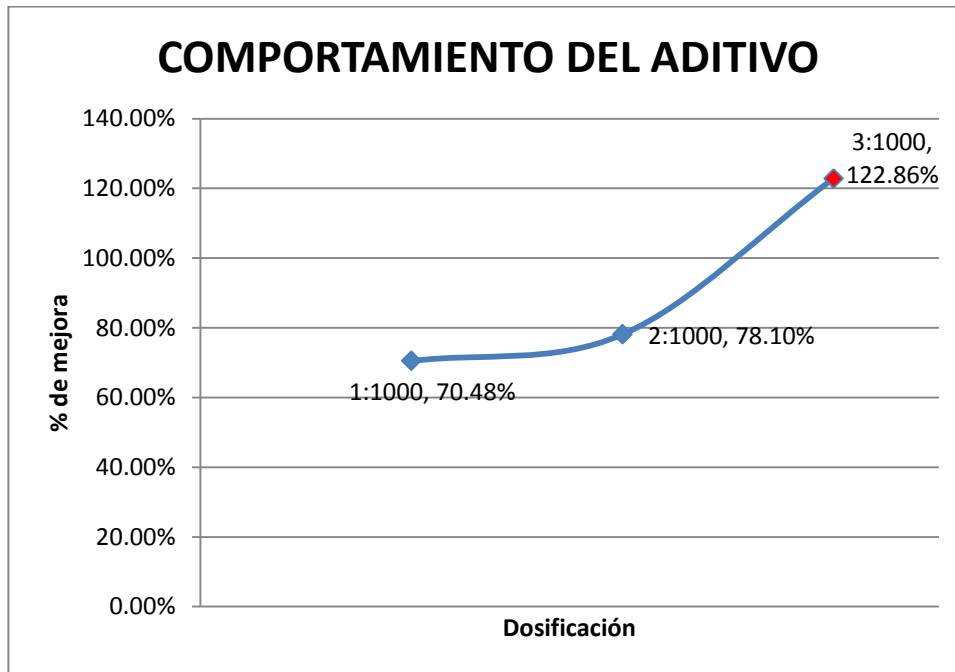


Figura 4.36 Comportamiento gráfico del aditivo, muestra UES FMOcc.



Se puede apreciar notablemente que, para éste suelo en particular, la dosificación **3:1000** es la que brinda mejores resultados en el aumento del valor de CBR, llegando hasta un 122.86 % del valor de CBR del mismo suelo sin aditivo líquido.

4.8.1.2 Muestra Pinalón

La tabla 4.44 muestra el porcentaje en que el valor de CBR de la muestra Pinalón sin aditivo fue mejorado con la aplicación del estabilizador en las mismas dosificaciones anteriores:

Tabla 4.62 CBR con aditivo vs CBR sin aditivo, muestra Pinalón

Dosificación	CBR con aditivo	CBR natural	% de mejora
1:1000	5.78	4.81	20.17%
2:1000	6.00		24.74%
3:1000	7.08		47.19%

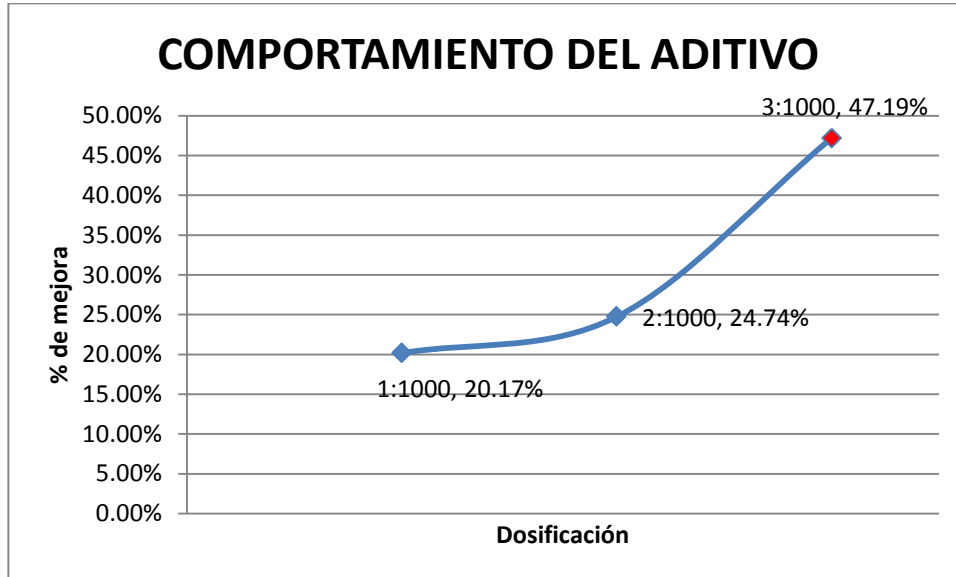


Figura 4.37 Comportamiento gráfico del aditivo, muestra Pinalón

Mediante la anterior gráfica y los datos de la tabla 4.44 podemos decir con certeza que la dosificación **3:1000** es la que mejor resultado brinda en el valor de CBR de



la muestra Pinalón, logrando un aumento del 47.19 % con respecto al valor de CBR del suelo sin aditivo.

4.8.1.3 Muestra Labor

El porcentaje en que el valor de CBR sin aditivo de la muestra Labor fue mejorado con la aplicación del estabilizador, se muestra en la siguiente tabla, con sus respectivas dosificaciones:

Tabla 4.63 CBR con aditivo vs CBR sin aditivo, muestra Labor

Dosificación	CBR con aditivo	CBR natural	% de mejora
1:1000	1.85	1.81	2.21%
2:1000	2.19		20.99%
3:1000	1.95		7.73%

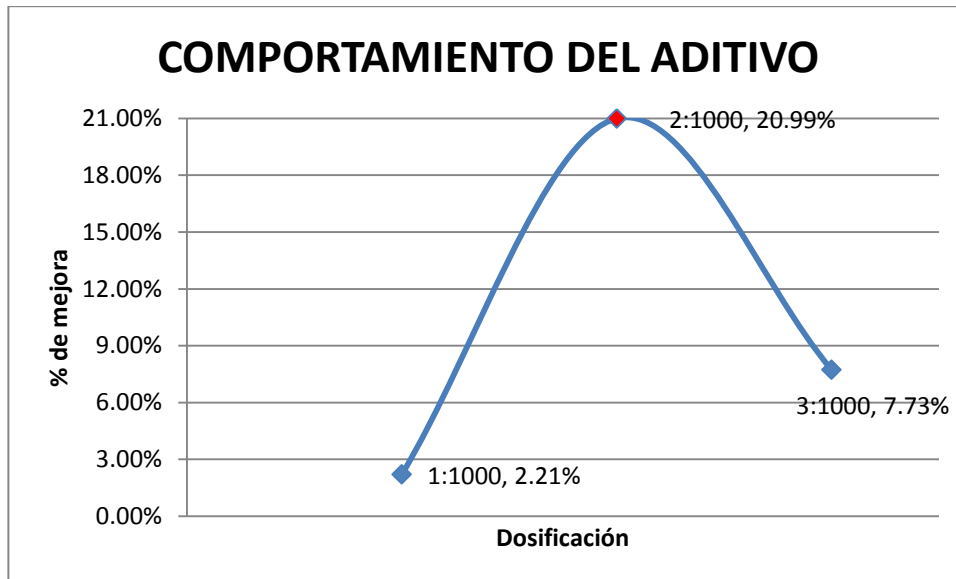


Figura 4.38 Comportamiento gráfico del aditivo, muestra Labor

Éste suelo muestra una diferencia en la reacción que presenta al ser aplicado el aditivo líquido en comparación de las otras dos muestras de suelo, ya que no presenta el mayor valor de CBR con la dosificación 3:1000, sino que la



concentración que mejores resultados brinda es la de **2:1000**, con un porcentaje de mejora del valor relativo de soporte de 20.99 %.

4.8.2 Límites de Atterberg

Para determinar los límites de Atterberg de las muestras de suelo al agregarles el aditivo, se utilizó la dosificación de aditivo/agua que mejores resultados brindó al aumentar el valor de CBR de diseño.

4.8.2.1 Muestra UES FMOcc.

La muestra UES FMOcc. con clasificación A-7-6 según AASHTO M-145, mostró un aumento del valor de CBR de 122.86 % con la dosificación 3:1000; por lo que los límites de las muestras de suelo con aditivo, han sido calculados mediante ésta dosis.

Tabla 4.64 Comparación límites de Atterberg, muestra UES FMOcc.

	Sin aditivo	Con aditivo ³
Límite líquido	58.52	54.50
Límite plástico	20.33	37.95
Índice de plasticidad	38.19	16.56
Clasificación	A-7-6	

Podría pensarse al observar los límites de Atterberg de la muestra de suelo con aditivo, que estos límites pertenecen a otro suelo, y que podría poseer otra clasificación; pero en realidad la diferencia entre los índices de plasticidad de **21.63**, es uno de los beneficios aportados por el agente estabilizador. Con el aditivo la plasticidad paso de ser altamente plástica sin aditivo, a medianamente plástica con el aditivo.

³ Fuente: Anexo G.1



4.8.2.2 Muestra Pinalón

Para la determinación de los límites de Atterberg de la muestra Pinalón, se utilizó la dosificación de aditivo líquido de 3:1000; ya que mostró el mayor valor de CBR de las dosis probadas en la muestra de suelo.

Tabla 4.65 Comparación límites de Atterberg, muestra Pinalón

	Sin aditivo	Con aditivo ⁴
Límite líquido	48.65	44.88
Límite plástico	21.28	26.95
Índice de plasticidad	27.37	17.93
Clasificación	A-7-6	

La plasticidad de éste suelo sigue siendo altamente plástica; aún cuando el índice de plasticidad ha sido reducido en **9.44**.

4.8.2.3 Muestra Labor

Los límites de Atterberg para esta muestra de suelo, se ensayaron utilizando la dosificación de 2:1000. Con esta dosis se obtuvo una mejora superior de CBR que las otras dos, con respecto al valor de CBR sin aditivo.

Tabla 4.66 Comparación límites de Atterberg, muestra Labor

	Sin aditivo	Con aditivo ⁵
Límite líquido	92.39	66.78
Límite plástico	39.88	39.80
Índice de plasticidad	52.51	26.97
Clasificación	A-7-5	

El índice de plasticidad ha sido reducido en **25.54**. Con el aditivo la plasticidad pasó de ser muy altamente plástica sin aditivo, a altamente plástica con el aditivo.

⁴ Fuente: Anexo G.2

⁵ Fuente: Anexo G.3



4.8.3 Máxima densidad de compactación

Para la comparación de los resultados de la máxima densidad de compactación obtenidos de la prueba Proctor modificada, se determinará cuánto es la variación del contenido de humedad óptimo y en que medida es aumentada o disminuida la máxima densidad seca.

En esta prueba se utilizó la misma dosificación que para los límites de Atterberg, debido a que son los que demostraron un mejor comportamiento con los suelos en la prueba de CBR.

4.8.3.1 Muestra UES FMOcc.

Al comparar los valores de la humedad óptima sin aditivo y la humedad óptima con aditivo para alcanzar la máxima densidad de compactación en prueba Proctor, se puede observar que posee una diferencia despreciable de **0.15**.

Tabla 4.67 Comparación máxima densidad de compactación, muestra UES FMOcc.

		Proctor sin aditivo	Proctor con aditivo ⁶
Contenido de humedad óptimo	%	29.96	30.11
Máxima densidad seca	kg/m ³	1456	1473
Mejora de MDS	%	1.17	

También al comparar la densidad seca correspondiente a la máxima densidad de compactación, se obtiene un aumento del **1.17%** a favor del suelo mezclado con el aditivo.

⁶ Fuente: Anexo H.1



4.8.3.1 Muestra Pinalón

La muestra Pinalón presenta una variación de **0.05** en el contenido de humedad óptimo y un aumento del **3.72%** en la densidad seca máxima, siendo mayor la densidad del suelo con aditivo.

Tabla 4.68 Comparación máxima densidad de compactación, muestra Pinalón

		Proctor sin aditivo	Proctor con aditivo ⁷
Contenido de humedad óptimo	%	24.88	24.93
Máxima densidad seca	kg/m ³	1531	1588
Mejora de MDS	%	3.72	

4.8.3.1 Muestra Labor

Una diferencia de **0.02** en el contenido de humedad óptimo a favor del suelo sin aditivo y un aumento del **1.73%** de la densidad seca máxima del suelo con aditivo respecto al suelo sin aditivo se obtiene de la muestra Labor.

Tabla 4.69 Comparación máxima densidad de compactación, muestra Labor

		Proctor sin aditivo	Proctor con aditivo ⁸
Contenido de humedad óptimo	%	22.18	22.16
Máxima densidad seca	kg/m ³	1565	1592
Mejora de MDS	%	1.73	

Pueden parecer despreciables las diferencias de humedad óptima y máxima densidad seca, con aditivo y sin aditivo; pero en lo que respecta a la MDS (Proctor), se puede hacer evidente en las pruebas de relación de soporte (CBR) la mejoría en la compactación; en donde el grado de compactación de los suelos con

⁷ Fuente: Anexo H.2

⁸ Fuente: Anexo H.3



aditivo es superior al de los suelos sin aditivo, logrando en algunos casos ser mayor del 100%.



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



5.1 CONCLUSIONES

Tras haber analizado los resultados obtenidos en las distintas pruebas realizadas a los suelos en estudio, se concluye que:

- Existe una considerable disminución en la plasticidad de los suelos tratados con el aditivo líquido impermeabilizante, haciéndose mayor la reducción cuando mayor es el índice de plasticidad; sin embargo el aumento en la capacidad de soporte no solo depende de la disminución de la plasticidad, sino también es muy influyente la cantidad de suelo granular que el suelo posea.
- El aditivo líquido impermeabilizante mejora el valor de CBR de todos los suelos estudiados, sin embargo los suelos con mayores contenidos de arena presentan aumentos del valor de CBR mayores que los suelos que poseen bajos contenidos de arena.
- Los suelos con mayores proporciones de arena son los que presentan menores hinchamientos en su estado natural, pero cuando son mezclados con el aditivo, los que presentan una mayor disminución de sus hinchamientos son los suelos que mayor índice de plasticidad mostraron, sin importar la cantidad de arena que estos posean.
- Los suelos que poseen apreciables contenidos de arena presentan mejores resultados al mezclárseles concentraciones altas de aditivo/agua, los suelos con bajos contenidos de arena presentan mejor comportamiento con concentraciones bajas (2:1000 según lo recomendado por fabricante).
- Cuanto mayor es el índice de plasticidad de un suelo sin aditivo, menor resistencia a la penetración presenta; pero a mayor contenido de arena, mayor resistencia a la penetración



- El grado de compactación es mayor en los suelos con aditivo, por lo que los suelos con aditivo son más sensibles a la energía de compactación aplicada.



5.2 RECOMENDACIONES

A continuación son presentadas sugerencias o recomendaciones orientadas a obtener mejores resultados con el uso del aditivo, facilitar la realización de pruebas de laboratorio con suelos altamente arcillosos, entre otras.

- Si se desea utilizar suelos cohesivos altamente plásticos (similares a los estudiados) estabilizados con el aditivo CBR PLUS para la conformación de alguna capa del pavimento (rígido o flexible), se recomienda combinar una estabilización física (material granular) con la estabilización química mediante el aditivo líquido impermeabilizante; ya que a pesar que el valor de CBR es aumentado solamente con la aplicación del aditivo, no es suficiente éste valor para cumplir con las especificaciones mínimas de las bases, sub-bases o sub-rasantes.
- Para obtener resultados confiables en las pruebas de laboratorio es pertinente que cuando se le agregue agua a los suelos arcillosos se garantice la uniformidad de dicha humedad en toda la muestra a ensayar (16 horas según AASHTO T-180), además la preparación de la muestra es mucho más influyente en los resultados de estas pruebas, una buena homogenización de la mezcla además de tener el suelo disgregado garantizara la calidad de la información obtenida de estos materiales. Para compensar el tiempo de uniformización de la humedad, se debe de garantizar una buena escarificación de mezcla en campo, procurando un tiempo mínimo de contacto entre suelo y aditivo de 45 minutos.
- La identificación de las distintas concentraciones aditivo-agua son de suma importancia para un adecuado proceso de estabilización, ya que al ser concentraciones tan pequeñas no hay manera de distinguir una concentración de la otra de manera visual, o de cualquier otra manera física. Por lo tanto en campo se recomienda que se tenga el mismo cuidado



identificando claramente las pipas o contenedores con la concentración seleccionada.

- Si se desea estabilizar mediante el aditivo CBR PLUS suelos con clasificación o características diferentes a los suelos estudiados en ésta investigación, es necesario determinar la concentración de aditivo/agua que mejores resultados pueda brindar mediante otro estudio, y no tomar ésta investigación como receta general.
- Evaluar el aditivo en un tramo de prueba utilizando distintos métodos de mezclado suelo-aditivo líquido, como lo es el mezclado con motoniveladora y el mezclado con escarificadora de pavimentos, ya que la uniformidad de la mezcla es un factor importante cuando se trabaja con suelos cohesivos.
- En cualquier superficie estabilizada o sin estabilizar, es importante el manejo de aguas, es decir proporcionar un drenaje a la plataforma con la conformación de pendientes y limpieza de cunetas, teniendo en cuenta que la concentración de agua es un factor influyente en la vida útil de la superficie. En el caso de carreteras no pavimentadas estabilizadas con el aditivo líquido, se deberá proporcionar una pendiente de bombeo de 3% o mayor.
- En los casos que los suelos se encuentran naturalmente saturados, se debe esperar a que la humedad sea menor que la humedad óptima de compactación para poder adicionar la concentración de agua/aditivo y así conformar la calzada y compactar. Si definitivamente no se alcanza a secar el material por cuestiones climáticas, se debe pensar en la posibilidad de secar el material adicionando algún suelo con menor humedad.



BIBLIOGRAFÍA

Sitios web:

- <http://www.slideshare.net/magaduah/mejoramamiento-de-suelos-con-adiciones-quimicas>
- <http://www.cbrplusllc.com/tecnico/estabili.htm>
- <http://tecnocover.webs.com/obras.htm>
- http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO

Tesis:

- Guía básica para la conformación de bases y sub-bases para carreteras en El Salvador, 2010.
- Restitución y estabilización de suelos, 1990.

Libros:

- Alfonso Rico, La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Tomo I, 1^o Edición.
- Fratelli María Graciela, Suelos, Fundaciones y Muros, Caracas, Venezuela 1996.



- Crespo Villalaz Carlos, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5^o Edición.

Revistas:

- Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, 2,002.

Normas:

- AASHTO T-89 (límite líquido)
- AASHTO T-90 (límite plástico)
- AASHTO T-11 (porcentaje de arena)
- AASHTO M-145 (clasificación de suelos)
- AASHTO T-265 (contenido de humedad)
- AASHTO T-180 (Proctor modificada)
- AASHTO T-193 (CBR)



ANEXOS



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A - LÍMITES DE ATTERBERG SUELO NATURAL

ANEXO A.1 - Muestra UES FMOcc.

ANEXO A.2 - Muestra Pinalón

ANEXO A.3 - Muestra Labor

ANEXO B - PORCENTAJE DE ARENA SUELO NATURAL

ANEXO B.1 - Muestra UES FMOcc.

ANEXO B.2 - Muestra Pinalón

ANEXO B.3 - Muestra Labor

ANEXO C - CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL

ANEXO C.1 - Muestra UES FMOcc.

ANEXO C.1.1 - Humedad calculada para el ensayo de CBR sin aditivo.

ANEXO C.1.2 - Humedad calculada para el ensayo de CBR con aditivo, para las concentraciones 1:1000 y 3:1000

ANEXO C.1.3 - Humedad calculada para el ensayo de CBR con aditivo, para la concentración 2:1000

ANEXO C.2 - Muestra Pinalón

ANEXO C.2.1 - Humedad calculada para el ensayo Proctor, el dato en rojo no se toma en cuenta por su gran variación

ANEXO C.2.2 - Humedad calculada para el ensayo de CBR sin aditivo

ANEXO C.2.3 - Humedad calculada para el ensayo de CBR con aditivo, para las concentraciones 1:1000, 2:1000 y 3:1000.

ANEXO C.3 - Muestra Labor

ANEXO C.3.1 - Humedad calculada para el ensayo Proctor.



ANEXO C.3.2 - Humedad calculada para el ensayo de CBR sin aditivo.

ANEXO C.3.3 - Humedad calculada para el ensayo de CBR con aditivo, para las concentraciones 1:1000 y 3:1000.

ANEXO C.3.4 - Humedad calculada para el ensayo de CBR con aditivo, para la concentración de 2:1000.

ANEXO D - MÁXIMA DENSIDAD SECA SUELO NATURAL, ENSAYO PROCTOR

ANEXO D.1- Muestra UES FMOcc.

ANEXO D.2 - Muestra Pinalón

ANEXO D.3 - Muestra Labor

ANEXO E - RELACIÓN DE SOPORTE SIN ADITIVO

ANEXO E.1 - Muestra UES FMOcc.

ANEXO E.2 - Muestra Pinalón

ANEXO E.3 - Muestra Labor

ANEXO F - RELACIÓN DE SOPORTE CON ADITIVO

ANEXO F.1 - Muestra UES FMOcc.

ANEXO F.1.1 - 1:1000

ANEXO F.1.2 - 2:1000

ANEXO F.1.3 - 3:1000

ANEXO F.2 - Muestra Pinalón

ANEXO F.2.1 - 1:1000

ANEXO F.2.2 - 2:1000

ANEXO F.2.3 - 3:1000

ANEXO F.3 - Muestra Labor



ANEXO F.3.1 - 1:1000

ANEXO F.3.2 - 2:1000

ANEXO F.3.3 - 3:1000

ANEXO G - LÍMITES DE ATTERBERG CON ADITIVO

ANEXO G.1 - Muestra UES FMOcc. 3:1000

ANEXO G.2 - Muestra Pinalón 3:1000

ANEXO G.3 - Muestra Labor 2:1000

ANEXO H - MÁXIMA DENSIDAD SECA CON ADITIVO, ENSAYO PROCTOR

ANEXO H.1 - Muestra UES FMOcc. 3:1000

ANEXO H.2 - Muestra Pinalón 3:1000

ANEXO H.3 - Muestra Labor 2:1000



ANEXO A - LÍMITES DE ATTERBERG SUELO NATURAL

ANEXO A.1 - Muestra UES FMOcc.

El valor en rojo del límite plástico es excluido debido a su variación de más de 1.

		LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		
Ensayo No.		1	1	2	3
No. De golpes		25	-	-	-
Peso de suelo húmedo y tara	gr	20.91	20.95	21.1	21.97
Peso de suelo seco y tara	gr	19.88	20.76	20.87	21.74
Tara	gr	18.12	19.84	19.72	20.72
Peso de agua	gr	1.03	0.19	0.23	0.23
Peso de suelo seco	gr	1.76	0.92	1.15	1.02
Contenido de agua	%	58.52	20.65	20	22.55

LÍMITES %	
Líquido	58.52
Plástico	20.33
Índice de plasticidad	38.19

ANEXO A.2 - Muestra Pinalón

Para la determinación del límite plástico es ignorado el valor en rojo por su incoherencia.

		LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		
Ensayo No.		1	1	2	3
No. De golpes		26	-	-	-
Peso de suelo húmedo y tara	gr	23.51	20.17	20.46	20.07
Peso de suelo seco y tara	gr	22.28	19.93	20.25	19.85
Tara	gr	19.74	19.32	19.25	18.83
Peso de agua	gr	1.23	0.24	0.21	0.22
Peso de suelo seco	gr	2.54	0.61	1	1.02
Contenido de agua	%	48.42	39.34	21	21.57



LÍMITES %	
Líquido	48.65
Plástico	21.28
Índice de plasticidad	27.37

ANEXO A.3 - Muestra Labor

		LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
Ensayo No.		1	1	2	3
No. De golpes		25	-	-	-
Peso de suelo húmedo y tara	gr	20.64	23.03	21.45	19.43
Peso de suelo seco y tara	gr	19.79	22.84	21.25	19.27
Tara	gr	18.87	22.37	20.74	18.87
Peso de agua	gr	0.85	0.19	0.2	0.16
Peso de suelo seco	gr	0.92	0.47	0.51	0.4
Contenido de agua %	%	92.39	40.42	39.22	40

LÍMITES %	
Líquido	92.39
Plástico	39.88
Índice de plasticidad	52.51



ANEXO B - PORCENTAJE DE ARENA SUELO NATURAL

ANEXO B.1 - Muestra UES FMOcc.

ANTES DE LAVAR	
Tara	216.2
Suelo seco + tara	669.41
Suelo seco	453.21
DESPUÉS DE LAVAR	
Suelo seco + tara	352.16
Suelo seco	135.96
% de arena	30.00%

ANEXO B.2 - Muestra Pinalón

ANTES DE LAVAR	
Tara	216.2
Suelo seco + tara	705.8
Suelo seco	489.6
DESPUÉS DE LAVAR	
Suelo seco + tara	304.33
Suelo seco	88.13
% de arena	18.00%

ANEXO B.3 - Muestra Labor

ANTES DE LAVAR	
Tara	216.2
Suelo seco + tara	738.48
Suelo seco	522.28
DESPUÉS DE LAVAR	
Suelo seco + tara	256.38
Suelo seco	40.18
% de arena	7.69%



ANEXO C - CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL

ANEXO C.1 - Muestra UES FMOcc.

Humedad calculada para realizar el ensayo de Proctor, 10.78% despreciado por su variación.

Tara	No.	36	1	2
Peso muestra húmeda + tara	gr	258.4	319.6	318.4
Peso muestra seca + tara	gr	245.0	305.0	305.5
Peso tara	gr	108.4	169.6	168.4
Peso agua	gr	13.4	14.6	12.9
Peso suelo seco	gr	136.6	135.4	137.1
Contenido de humedad	%	9.81%	10.78%	9.41%
Contenido de humedad promedio	%	9.61%		

ANEXO C.1.1 - Humedad calculada para el ensayo de CBR sin aditivo.

Tara	No.	10	36	32
Peso muestra húmeda + tara	gr	437.0	312.0	345.0
Peso muestra seca + tara	gr	398.0	284.0	312.0
Peso tara	gr	138.0	107.0	106.0
Peso agua	gr	39.0	28.0	33.0
Peso suelo seco	gr	260.0	177.0	206.0
Contenido de humedad	%	15.00%	15.82%	16.02%
Contenido de humedad promedio	%	15.61%		

ANEXO C.1.2 - Humedad calculada para el ensayo de CBR con aditivo, para las concentraciones 1:1000 y 3:1000

Tara	No.	L-1	L-2	L-3
Peso muestra húmeda + tara	gr	613.0	679.3	597.5
Peso muestra seca + tara	gr	557.8	625.4	542.9
Peso tara	gr	113.0	179.3	97.5
Peso agua	gr	55.2	53.9	54.6
Peso suelo seco	gr	444.8	446.1	445.4
Contenido de humedad	%	12.41%	12.08%	12.26%
Contenido de humedad promedio	%	12.25%		



ANEXO C.1.3 - Humedad calculada para el ensayo de CBR con aditivo, para la concentración 2:1000.

Tara	No.	H-1	H-2	H-3
Peso muestra húmeda + tara	gr	696.4	696.5	597.5
Peso muestra seca + tara	gr	645.6	644.9	546.3
Peso tara	gr	196.4	196.5	97.5
Peso agua	gr	50.8	51.6	51.2
Peso suelo seco	gr	449.2	448.4	448.8
Contenido de humedad	%	11.31%	11.51%	11.41%
Contenido de humedad promedio	%	11.41%		

ANEXO C.2 - Muestra Pinalón

ANEXO C.2.1 -Humedad calculada para el ensayo Proctor, el dato en rojo no se toma en cuenta por su gran variación.

Tara	No.	13-7	0-26	A-4
Peso muestra húmeda + tara	gr	239.7	222.5	229.0
Peso muestra seca + tara	gr	226.6	210.1	214.5
Peso tara	gr	89.7	72.5	79.0
Peso agua	gr	13.1	12.4	14.5
Peso suelo seco	gr	136.9	137.6	135.5
Contenido de humedad	%	9.57%	9.01%	10.70%
Contenido de humedad promedio	%	9.29%		

ANEXO C.2.2 - Humedad calculada para el ensayo de CBR sin aditivo.

Tara	No.	3	2	5
Peso muestra húmeda + tara	gr	617.3	635.6	597.5
Peso muestra seca + tara	gr	561.9	580.5	542.3
Peso tara	gr	117.3	135.6	97.5
Peso agua	gr	55.4	55.1	55.2
Peso suelo seco	gr	444.6	444.9	444.8
Contenido de humedad	%	12.46%	12.38%	12.41%
Contenido de humedad promedio	%	12.42%		



ANEXO C.2.3 - Humedad calculada para el ensayo de CBR con aditivo, para las concentraciones 1:1000, 2:1000 y 3:1000.

Tara	No.	P-5	H-3	5
Peso muestra húmeda + tara	gr	602.8	588.5	601.2
Peso muestra seca + tara	gr	546.6	535.0	546.3
Peso tara	gr	102.8	88.5	101.2
Peso agua	gr	56.2	53.5	54.9
Peso suelo seco	gr	443.8	446.5	445.1
Contenido de humedad	%	12.66%	11.98%	12.33%
Contenido de humedad promedio	%	12.33%		

ANEXO C.3 - Muestra Labor

ANEXO C.3.1 - Humedad calculada para el ensayo Proctor.

Tara	No.	32	10	34
Peso muestra húmeda + tara	gr	256.8	288.8	286.8
Peso muestra seca + tara	gr	239.2	270.4	268.1
Peso tara	gr	106.8	138.8	136.8
Peso agua	gr	17.6	18.4	18.7
Peso suelo seco	gr	132.4	131.6	131.3
Contenido de humedad	%	13.29%	13.98%	14.24%
Contenido de humedad promedio	%	13.84%		

ANEXO C.3.2 - Humedad calculada para el ensayo de CBR sin aditivo.

Tara	No.	1	4	5
Peso muestra húmeda + tara	gr	633.7	577.5	597.5
Peso muestra seca + tara	gr	572.7	515.3	535.9
Peso tara	gr	133.7	77.5	97.5
Peso agua	gr	61.0	62.2	61.6
Peso suelo seco	gr	439.0	437.8	438.4
Contenido de humedad	%	13.90%	14.21%	14.05%
Contenido de humedad promedio	%	14.05%		

ANEXO C.3.3 - Humedad calculada para el ensayo de CBR con aditivo, para las concentraciones 1:1000 y 3:1000.

Tara	No.	H-2	6	8
Peso muestra húmeda + tara	gr	696.5	608.2	601.5
Peso muestra seca + tara	gr	628.7	540.6	533.5
Peso tara	gr	196.5	108.2	101.5
Peso agua	gr	67.8	67.6	68.0
Peso suelo seco	gr	432.2	432.4	432.0
Contenido de humedad	%	15.69%	15.63%	15.74%
Contenido de humedad promedio	%	15.69%		



ANEXO C.3.4 - Humedad calculada para el ensayo de CBR con aditivo, para la concentración de 2:1000.

Tara	No.	L-3	P-11	8
Peso muestra húmeda + tara	gr	593.8	608.2	601.5
Peso muestra seca + tara	gr	537.8	553.4	546.1
Peso tara	gr	93.8	108.2	101.5
Peso agua	gr	56.0	54.8	55.4
Peso suelo seco	gr	444.0	445.2	444.6
Contenido de humedad	%	12.61%	12.31%	12.46%
Contenido de humedad promedio	%	12.46%		



ANEXO D - MÁXIMA DENSIDAD SECA SUELO NATURAL, ENSAYO PROCTOR

ANEXO D.1- Muestra UES FMOcc.

Ensayo	%	26%	28%	30%	33%	36%	39%						
PESO ESPECIFICO													
Peso de muestra húmeda + molde	kg	5.756	5.871	5.916	5.986	5.994	5.929						
Peso del molde	kg	4.245	4.245	4.245	4.266	4.266	4.266						
Peso de la muestra húmeda	kg	1.511	1.626	1.671	1.72	1.728	1.663						
Volumen del molde	m ³	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001						
Densidad húmeda	kg/m ³	1672.367	1799.648	1849.454	1903.687	1912.541	1840.600						
CONTENIDO DE HUMEDAD													
Tara	Nº	14-8	10-4	G3-(2)	12-10	0-6	E-2	10-4	14-8	12-10	E-2	12-10	E-2
Peso muestra húmeda + tara	gr	172.90	320.40	273.70	153.30	120.50	95.70	396.00	383.90	377.30	255.80	406.80	348.30
Peso muestra seca + tara	gr	154.70	270.20	227.40	134.90	105.30	89.03	318.20	311.94	300.90	208.90	316.10	272.70
Peso del agua	gr	18.20	50.20	46.30	18.40	15.20	6.67	77.80	71.96	76.40	46.90	90.70	75.60
Peso de la tara	gr	77.9	64.6	50.6	65.1	50.9	65.2	64.6	77.9	65.1	65.2	65.1	65.2
Peso de la muestra seca	gr	76.8	205.6	176.8	69.8	54.4	23.83	253.6	234	235.8	143.7	251	207.5
Contenido de humedad	%	23.7	24.4	26.2	26.4	27.9	28.0	30.7	30.7	32.4	32.6	36.1	36.4
Contenido de humedad promedio	%	24.1		26.3		28.0		30.7		32.5		36.3	
PESO ESPECIFICO SECO													
Densidad seca	kg/m ³	1348.06	1425.19	1445.27	1456.39	1443.22	1350.56						

ANEXO D.2 - Muestra Pinalón

Ensayo	%	21%	23%	25%	28%	31%					
PESO ESPECIFICO											
Peso de muestra húmeda + molde	kg	6.133	6.223	6.301	6.318	6.324					
Peso del molde	kg	4.507	4.507	4.507	4.507	4.507					
Peso de la muestra húmeda	kg	1.626	1.716	1.794	1.811	1.817					
Volumen del molde	m ³	0.00095	0.00095	0.00095	0.00095	0.00095					
Densidad húmeda	kg/m ³	1709.255	1803.863	1885.857	1903.727	1910.035					
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara	Nº	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
Peso muestra húmeda + tara	gr	664.60	1003.2	878.30	974.80	879.90	1181.4	947.60	1105.5	1115.5	920.00
Peso muestra seca + tara	gr	567.80	853.10	733.10	813.70	729.30	992.50	772.10	898.90	902.90	725.50
Peso del agua	gr	96.80	150.10	145.20	161.10	150.60	188.90	175.50	206.60	212.60	194.50
Peso de la tara	gr	70.9	78.2	78.1	87.4	102.8	195.5	117.3	135.6	202.3	78.3
Peso de la muestra seca	gr	496.9	774.9	655	726.3	626.5	797	654.8	763.3	700.6	647.2
Contenido de humedad	%	19.5	19.4	22.2	22.2	24.0	23.7	26.8	27.1	30.3	30.1
Contenido de humedad promedio	%	19.4		22.2		23.9		26.9		30.2	
PESO ESPECIFICO SECO											
Densidad seca	kg/m ³	1431.23	1476.47	1522.45	1499.77	1467.01					



ANEXO D.3 - Muestra Labor

Ensayo	%	21%	24%	26%	28%	30%	32%						
PESO ESPECIFICO													
Peso de muestra húmeda + molde	kg	5.945	6.027	6.05	6.068	6.062	6.044						
Peso del molde	kg	4.229	4.229	4.229	4.229	4.229	4.229						
Peso de la muestra húmeda	kg	1.716	1.798	1.821	1.839	1.833	1.815						
Volumen del molde	m ³	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001						
Densidad húmeda	kg/m ³	1812.631	1899.249	1923.544	1942.558	1936.220	1917.206						
CONTENIDO DE HUMEDAD													
Tara	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Peso muestra húmeda + tara	gr	869.60	904.20	936.30	945.30	943.20	842.30	1043.0	870.80	896.80	979.20	898.50	900.90
Peso muestra seca + tara	gr	745.00	775.00	785.00	792.00	773.00	689.00	851.00	711.00	721.00	784.00	724.00	723.00
Peso del agua	gr	124.60	129.20	151.30	153.30	170.20	153.30	192.00	159.80	175.80	195.20	174.50	177.90
Peso de la tara	gr	60	65.1	76.4	78.8	27.5	26.8	79.2	78.7	78.5	65.8	78.8	64.7
Peso de la muestra seca	gr	685	709.9	708.6	713.2	745.5	662.2	771.8	632.3	642.5	718.2	645.2	658.3
Contenido de humedad	%	18.2	18.2	21.4	21.5	22.8	23.2	24.9	25.3	27.4	27.2	27.0	27.0
Contenido de humedad promedio	%	18.2		21.4		23.0		25.1		27.3		27.0	
PESO ESPECIFICO SECO													
Densidad seca	kg/m ³	1533.60	1564.15	1563.98	1553.12	1521.34	1509.20						



ANEXO E - RELACIÓN DE SOPORTE SIN ADITIVO

ANEXO E.1 - Muestra UES FMOcc.

COMPACTACIÓN

Molde N°	01	02	03
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	10199	9742	9488
Peso del molde (gr)	6298	6279	6397
Peso del suelo húmedo (gr)	3901	3463	3091
Volumen del molde (cm ³)	2110.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.85	1.63	1.46
Densidad seca (gr/cm ³)	1.43	1.26	1.13
% de Compactación (según Densidad Máx.)	98.03	86.63	77.31

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

Tarra N°	P-4	2	1	3	12-8	4
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	613.0	678.0	657.0	661.0	672.0	634.0
Peso de tara + suelo seco (gr)	488.0	539.0	522.0	526.0	534.0	503.0
Peso del agua (gr)	125.0	139.0	135.0	135.0	138.0	131.0
Peso de tara (gr)	65.0	68.0	63.0	70.0	64.0	62.0
Peso de suelo seco (gr)	423.0	471.0	459.0	456.0	470.0	441.0
% de humedad	29.55	29.51	29.41	29.61	29.36	29.71
PROMEDIO DE HUMEDAD	29.53		29.51		29.53	

PORCENTAJE DE AGUA DESPUES DE SATURACIÓN

Tarra N°	0-4	1-1	1	C-1-1	12-8	14-8
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	393.0	506.0	409.0	660.0	538.0	479.0
Peso de tara + suelo seco (gr)	292.0	398.0	297.0	471.0	379.0	333.0
Peso del agua (gr)	101.0	108.0	112.0	189.0	159.0	146.0
Peso de tara (gr)	49.0	82.0	25.0	48.0	27.0	25.0
Peso de suelo seco (gr)	243.0	316.0	272.0	423.0	352.0	308.0
% de humedad	41.56	34.18	41.18	44.68	45.17	47.40
PROMEDIO DE HUMEDAD	37.87		42.93		46.29	

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		
		DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%
12/05/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/05/2014	24	83	83	1.82	141	141	3.08	151	151	3.30
14/05/2014	48	108	108	2.36	147.5	148	3.22	158	158	3.45
15/05/2014	72	117	117	2.56	151	151	3.30	162	162	3.54
16/05/2014	96	122	122	2.66	153	153	3.34	164	164	3.58



PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	0.17	38.89	12.96	0.15	33.72	11.24	0.04	9.44	3.15
0.050	0.38	84.98	28.33	0.25	56.88	18.96	0.07	15.96	5.32
0.075	0.59	132.41	44.14	0.33	75.09	25.03	0.08	18.88	6.29
0.100	0.79	178.50	59.50	0.39	88.35	29.45	0.10	21.36	7.12
0.150	1.08	243.24	81.08	0.44	99.82	33.27	0.12	26.53	8.84
0.200	1.26	284.16	94.72	0.50	111.28	37.09	0.14	32.37	10.79
0.300	1.57	353.17	117.72	0.60	135.56	45.19	0.20	44.74	14.91
0.400	1.84	413.42	137.81	0.70	157.14	52.38	0.25	56.88	18.96
0.500	2.09	470.53	156.84	0.79	178.50	59.50	0.30	67.89	22.63
DETERMINACION DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACION (96 HORAS)									
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)		10339	10098	9958				
Peso Molde	(g)		6298	6279	6397				
Peso Suelo Saturado	(g)		4041	3819	3561				
Peso Suelo Humedad Opt.	(g)		3901	3463	3091				
Agua absorbida	(g)		140	356	470				
Peso Suelo seco	(g)		3012	2674	2386				
Humedad Absorbida	(%)		4.6	13.3	19.7				

ANEXO E.2 - Muestra Pinalón

COMPACTACIÓN

Molde N°	01	02	03
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	11944	11758	11372
Peso del molde (gr)	7939	7953	7963
Peso del suelo húmedo (gr)	4005	3805	3409
Volumen del molde (cm ³)	2117.74	2115.92	2110.36
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.89	1.80	1.62
Densidad seca (gr/cm ³)	1.52	1.45	1.30
% de Compactación (según Densidad Máx.)	99.33	94.43	84.89

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

Tarra N°	P-1	P-2	P-3	P-4	P-6	P-5
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	261.3	402.7	526.0	620.0	800.1	617.3
Peso de tara + suelo seco (gr)	223.9	339.3	436.6	517.5	681.9	512.6
Peso del agua (gr)	37.4	63.4	89.4	102.5	118.2	104.7
Peso de tara (gr)	70.9	78.2	78.1	87.4	195.5	81.4
Peso de suelo seco (gr)	153.0	261.1	358.5	430.1	486.4	431.2
% de humedad	24.44	24.28	24.94	23.83	24.30	24.28
PROMEDIO DE HUMEDAD	24.36	24.38	24.38	24.38	24.29	24.29



PORCENTAJE DE AGUA DESPUES DE SATURACIÓN

Tarra N°	H-4	H-2	P-3	P-4	P-1	P-2
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	723.9	956.4	607.0	880.6	772.7	422.7
Peso de tara + suelo seco (gr)	596.4	806.2	486.5	692.7	608.3	342.3
Peso del agua (gr)	127.5	150.2	120.5	187.9	164.4	80.4
Peso de tara (gr)	117.6	196.5	78.1	87.4	70.9	78.2
Peso de suelo seco (gr)	478.8	609.7	408.4	605.3	537.4	264.1
% de humedad	26.63	24.64	29.51	31.04	30.59	30.44
PROMEDIO DE HUMEDAD	25.63		30.27		30.52	

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN	
		DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%
09/06/2014	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0
10/06/2014	24	658	158	3.45	710	210	4.59	714	214	4.67	714	214	4.67
11/06/2014	48	671	171	3.73	724	224	4.89	718	218	4.76	718	218	4.76
12/06/2014	72	679	179	3.91	731	231	5.05	722	222	4.85	722	222	4.85
13/06/2014	96	680	180	3.93	732	232	5.07	723	223	4.87	723	223	4.87

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes			
	LECTURA	CORRECCIÓN		LECTURA	CORRECCIÓN		LECTURA	CORRECCIÓN		
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²	
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	10.00	100.37	33.46	6.00	62.00	20.67	2.00	23.63	7.88	
0.050	18.00	177.12	59.04	9.50	95.58	31.86	3.00	33.23	11.08	
0.075	26.00	253.86	84.62	11.50	114.76	38.25	4.00	42.82	14.27	
0.100	32.00	311.41	103.80	13.00	129.15	43.05	4.50	47.61	15.87	
0.150	42.00	407.34	135.78	15.50	153.13	51.04	5.20	54.33	18.11	
0.200	50.00	484.08	161.36	18.00	177.12	59.04	6.20	63.92	21.31	
0.300	62.00	599.19	199.73	22.00	215.49	71.83	7.50	76.39	25.46	
0.400	72.00	695.12	231.71	26.00	253.86	84.62	9.80	98.46	32.82	
0.500	82.00	791.05	263.68	31.00	301.82	100.61	11.10	110.93	36.98	

DETERMINACION DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACION (96 HORAS)

Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	12090	11984	11719
Peso Molde	(g)	7939	7953	7963
Peso Suelo Saturado	(g)	4151	4031	3756
Peso Suelo Humedad Opt.	(g)	4005	3805	3409
Agua absorbida	(g)	146	226	347
Peso Suelo seco	(g)	3220	3059	2743
Humedad Absorbida	(%)	4.5	7.4	12.7



ANEXO E.3 - Muestra Labor

COMPACTACIÓN

Molde N°	04	05	06
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	11851	11399	11100
Peso del molde (gr)	7949	7929	7988
Peso del suelo húmedo (gr)	3902	3470	3112
Volumen del molde (cm ³)	2125.13	2118.70	2123.06
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.84	1.64	1.47
Densidad seca (gr/cm ³)	1.50	1.34	1.20
% de Compactación (según Densidad Máx.)	96.06	85.62	76.61

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

Tarra N°	P-10	P-1	H-1	H-6	P-9	P-8
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	588	593	685	721	753	553
Peso de tara + suelo seco (gr)	496	500	596	626	653	489
Peso del agua (gr)	93	93	89	95	100	64
Peso de tara (gr)	78	79	196	197	202	202
Peso de suelo seco (gr)	417	421	400	429	450	287
% de humedad	22.17	22.11	22.28	22.17	22.19	22.32
PROMEDIO DE HUMEDAD	22.14		22.22		22.25	

PORCENTAJE DE AGUA DESPUES DE SATURACIÓN

Tarra N°	P-5	P-6	P-7	P-8	P-100	H-1
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	844.10	851.5	647.80	691.6	725.40	722.6
Peso de tara + suelo seco (gr)	656.40	675.9	500.40	517.3	555.50	552.3
Peso del agua (gr)	187.70	175.60	147.40	174.30	169.90	170.30
Peso de tara (gr)	102.80	195.5	117.30	135.6	97.20	196.4
Peso de suelo seco (gr)	553.60	480.40	383.10	381.70	458.30	355.90
% de humedad	33.91	36.55	38.48	45.66	37.07	47.85
PROMEDIO DE HUMEDAD	35.23		42.07		42.46	

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		
		DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%
09/06/2014	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0
10/06/2014	24	756	656	14.30	1002	902	19.70	1009	909	19.73
11/06/2014	48	924	824	17.97	1014	914	19.96	1026	926	20.10
12/06/2014	72	970	870	18.97	1026	926	20.22	1028	928	20.15
13/06/2014	96	980	880	19.19	1028	928	20.27	1032	932	20.23



PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	2.20	25.55	8.52	1.50	18.84	6.28	0.50	9.24	3.08
0.050	3.60	38.98	12.99	2.20	25.55	8.52	1.60	19.80	6.60
0.075	4.40	46.66	15.55	3.00	33.23	11.08	2.20	25.55	8.52
0.100	5.30	55.29	18.43	3.60	38.98	12.99	2.80	31.31	10.44
0.150	6.20	63.92	21.31	4.40	46.66	15.55	3.45	37.54	12.51
0.200	7.20	73.51	24.50	4.80	50.49	16.83	4.10	43.78	14.59
0.300	7.80	79.27	26.42	5.40	56.25	18.75	4.70	49.53	16.51
0.400	8.40	85.03	28.34	6.20	63.92	21.31	5.30	55.29	18.43
0.500	8.90	89.82	29.94	6.90	70.64	23.55	5.70	59.13	19.71
DETERMINACION DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACION (96 HORAS)									
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	12289.0	12041	11851					
Peso Molde	(g)	7949	7929	7988					
Peso Suelo Saturado	(g)	4340	4112	3863					
Peso Suelo Humedad Opt.	(g)	3902	3470	3112					
Agua absorbida	(g)	438	642	751					
Peso Suelo seco	(g)	3195	2839	2546					
Humedad Absorbida	(%)	13.7	22.6	29.5					



ANEXO F - RELACIÓN DE SOPORTE CON ADITIVO

ANEXO F.1 - Muestra UES FMOcc.

ANEXO F.1.1 - 1:1000

COMPACTACIÓN

Molde N°	01	02	03
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	11902	11588	11344
Peso del molde (gr)	7939	7953	7963
Peso del suelo húmedo (gr)	3963	3635	3381
Volumen del molde (cm ³)	2117.74	2115.92	2110.36
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.87	1.72	1.60
Densidad seca (gr/cm ³)	1.44	1.32	1.24
% de Compactación (según Densidad Máx.)	99.11	90.95	84.86

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

Tarra N°	P-100	P-8	P-1	P-10	H-2	P-9
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	334.5	415.3	268.0	331.4	437.2	507.2
Peso de tara + suelo seco (gr)	280.4	351.0	223.0	273.2	382.5	437.0
Peso del agua (gr)	54.1	64.3	45.0	58.2	54.7	70.2
Peso de tara (gr)	97.0	135.6	70.9	78.3	196.5	202.3
Peso de suelo seco (gr)	183.4	215.4	152.1	194.9	186.0	234.7
% de humedad	29.50	29.85	29.59	29.86	29.41	29.91
PROMEDIO DE HUMEDAD	29.67		29.72		29.66	

PORCENTAJE DE AGUA DESPUES DE SATURACIÓN

Tarra N°	H-7	P-5	P-10	P-1	P-8	H-5
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	782.4	749.0	626.0	706.8	729.1	792.9
Peso de tara + suelo seco (gr)	625.5	586.5	486.9	544.9	568.3	614.4
Peso del agua (gr)	156.9	162.5	139.1	161.9	160.8	178.5
Peso de tara (gr)	138.6	102.8	78.3	70.9	135.6	133.3
Peso de suelo seco (gr)	486.9	483.7	408.6	474.0	432.7	481.1
% de humedad	32.22	33.60	34.04	34.16	37.16	37.10
PROMEDIO DE HUMEDAD	32.91		34.10		37.13	

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		
		DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%
23/06/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24/06/2014	24	17	17	0.37	20	20	0.44	50	50	1.09
25/06/2014	48	27	27	0.59	28	28	0.61	53	53	1.16
26/06/2014	72	32	32	0.70	34	34	0.74	57	57	1.24
27/06/2014	96	33	33	0.72	35	35	0.75	58	58	1.27



PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	8.00	81.19	27.06	3.80	40.90	13.63	2.60	29.39	9.80
0.050	18.10	178.08	59.36	9.70	97.50	32.50	4.60	48.57	16.19
0.075	26.70	260.57	86.86	15.30	151.22	50.41	6.00	62.00	20.67
0.100	34.50	335.40	111.80	19.40	190.55	63.52	6.70	68.72	22.91
0.150	42.20	409.26	136.42	23.80	232.75	77.58	8.10	82.15	27.38
0.200	50.00	484.08	161.36	26.80	261.53	87.18	9.10	91.74	30.58
0.300	58.80	568.50	189.50	29.60	288.39	96.13	10.40	104.21	34.74
0.400	66.50	642.36	214.12	32.20	313.33	104.44	11.50	114.76	38.25
0.500	74.80	721.98	240.66	35.90	348.83	116.28	12.80	127.23	42.41
DETERMINACION DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACION (96 HORAS)									
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)		11954	11903	11766				
Peso Molde	(g)		7939	7953	7963				
Peso Suelo Saturado	(g)		4015	3950	3803				
Peso Suelo Humedad Opt.	(g)		3963	3635	3381				
Agua absorbida	(g)		52	315	422				
Peso Suelo seco	(g)		3056	2802	2608				
Humedad Absorbida	(%)		1.7	11.2	16.2				

ANEXO F.1.2 - 2:1000

COMPACTACIÓN

Molde N°	07	08	09
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	11671	11730	11429
Peso del molde (gr)	7736	7976	7967
Peso del suelo húmedo (gr)	3935	3754	3462
Volumen del molde (cm ³)	2103.00	2126.83	2122.29
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.87	1.77	1.63
Densidad seca (gr/cm ³)	1.45	1.36	1.26
% de Compactación (según Densidad Máx.)	99.27	93.52	86.47

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

Tarra N°	H-2	6	P-100	4	P-11	9
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	688.5	745.0	525.3	539.0	1205.1	466.0
Peso de tara + suelo seco (gr)	577.0	605.0	427.8	431.0	954.0	395.0
Peso del agua (gr)	111.5	140.0	97.5	108.0	251.1	71.0
Peso de tara (gr)	196.5	132.0	97.2	68.0	108.2	154.0
Peso de suelo seco (gr)	380.5	473.0	330.6	363.0	845.8	241.0
% de humedad	29.30	29.60	29.49	29.75	29.69	29.46
PROMEDIO DE HUMEDAD	29.45	29.62	29.62	29.62	29.57	29.57



PORCENTAJE DE AGUA DESPUES DE SATURACIÓN

Tarra N°	H-3	P-10	H-5	P-9	H-6	H-7
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	716.2	508.2	561.4	707.4	556.5	787.0
Peso de tara + suelo seco (gr)	554.4	410.2	455.3	574.9	438.8	617.4
Peso del agua (gr)	161.8	98.0	106.1	132.5	117.7	169.6
Peso de tara (gr)	88.3	78.3	133.3	202.3	119.5	138.6
Peso de suelo seco (gr)	466.1	331.9	322.0	372.6	319.3	478.8
% de humedad	34.71	29.53	32.95	35.56	36.86	35.42
PROMEDIO DE HUMEDAD	32.12		34.26		36.14	

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		
		DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%
09/06/2014	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0
10/06/2014	24	516	16	0.35	545	45	0.98	570	70	1.52
11/06/2014	48	523	23	0.50	557	57	1.24	578	78	1.70
12/06/2014	72	529	29	0.63	560	60	1.30	582	82	1.79
13/06/2014	96	532	32	0.70	563	63	1.37	586	86	1.87

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes			
	LECTURA	CORRECCIÓN		LECTURA	CORRECCIÓN		LECTURA	CORRECCIÓN		
		DIAL	Libras.		Libras./pulg ²	DIAL		Libras.	Libras./pulg ²	DIAL
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	12.50	124.36	41.45	12.50	124.36	41.45	3.90	41.86	13.95	
0.050	24.30	237.55	79.18	19.50	191.50	63.83	6.00	62.00	20.67	
0.075	32.50	316.21	105.40	22.10	216.45	72.15	7.00	71.60	23.87	
0.100	39.90	387.20	129.07	24.60	240.43	80.14	7.40	75.43	25.14	
0.150	46.00	445.71	148.57	29.10	283.59	94.53	8.10	82.15	27.38	
0.200	53.00	512.86	170.95	32.50	316.21	105.40	9.20	92.70	30.90	
0.300	65.50	632.77	210.92	41.00	397.75	132.58	11.00	109.97	36.66	
0.400	78.50	757.47	252.49	47.00	455.30	151.77	12.30	122.44	40.81	
0.500	89.80	865.87	288.62	54.00	522.45	174.15	14.00	138.75	46.25	

DETERMINACION DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACION (96 HORAS)

Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11781	11910	11653
Peso Molde	(g)	7736	7976	7967
Peso Suelo Saturado	(g)	4045	3934	3686
Peso Suelo Humedad Opt.	(g)	3935	3754	3462
Agua absorbida	(g)	110	180	224
Peso Suelo seco	(g)	3040	2896	2672
Humedad Absorbida	(%)	3.6	6.2	8.4



ANEXO F.1.3 - 3:1000

COMPACTACIÓN

Molde N°	04	05	06
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	11980	11765	11563
Peso del molde (gr)	7949	7929	7988
Peso del suelo húmedo (gr)	4031	3836	3575
Volumen del molde (cm ³)	2125.13	2118.70	2123.06
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.90	1.81	1.68
Densidad seca (gr/cm ³)	1.46	1.40	1.30
% de Compactación (según Densidad Máx.)	100.52	95.94	89.29

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

Tarra N°	L-2	P-6	L-1	L-3	P-4	H-1
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	574.1	647.6	491.6	594.2	449.6	629.6
Peso de tara + suelo seco (gr)	484.2	544.0	405.0	480.0	367.0	530.9
Peso del agua (gr)	89.9	103.6	86.6	114.2	82.6	98.7
Peso de tara (gr)	179.3	195.5	113.0	93.8	87.4	196.4
Peso de suelo seco (gr)	304.9	348.5	292.0	386.2	279.6	334.5
% de humedad	29.49	29.73	29.66	29.57	29.54	29.51
PROMEDIO DE HUMEDAD	29.61	29.61	29.61	29.61	29.52	29.52

PORCENTAJE DE AGUA DESPUES DE SATURACIÓN

Tarra N°	L-1	P-2	P-4	H-3	L-3	H-4
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	798.4	554.2	776.5	950.5	971.2	574.6
Peso de tara + suelo seco (gr)	626.9	438.8	598.6	733.8	728.5	446.6
Peso del agua (gr)	171.5	115.4	177.9	216.7	242.7	128.0
Peso de tara (gr)	113.0	78.2	87.4	88.3	93.8	117.6
Peso de suelo seco (gr)	513.9	360.6	511.2	645.5	634.7	329.0
% de humedad	33.37	32.00	34.80	33.57	38.24	38.91
PROMEDIO DE HUMEDAD	32.69	32.69	34.19	34.19	38.57	38.57

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA			EXPANSIÓN			LECTURA			EXPANSIÓN		
		DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%
23/06/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24/06/2014	24	16	16	0.35	42	42	0.92	54	54	1.17	54	54	1.17
25/06/2014	48	21	21	0.46	53	53	1.16	56	56	1.22	56	56	1.22
26/06/2014	72	26	26	0.57	55	55	1.20	60	60	1.30	60	60	1.30
27/06/2014	96	27	27	0.58	56	56	1.22	61	61	1.32	61	61	1.32



PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	29.10	283.59	94.53	14.80	146.42	48.81	2.90	32.27	10.76
0.050	45.40	439.96	146.65	26.30	256.74	85.58	4.40	46.66	15.55
0.075	54.00	522.45	174.15	33.20	322.92	107.64	6.70	68.72	22.91
0.100	60.30	582.89	194.30	37.10	360.34	120.11	8.00	81.19	27.06
0.150	69.80	674.02	224.67	41.30	400.63	133.54	11.00	109.97	36.66
0.200	77.00	743.09	247.70	46.50	450.51	150.17	12.50	124.36	41.45
0.300	90.10	868.75	289.58	53.60	518.62	172.87	15.90	156.97	52.32
0.400	102.20	984.82	328.27	60.90	588.64	196.21	18.20	179.03	59.68
0.500	114.60	1103.8	367.92	68.30	659.63	219.88	19.80	194.38	64.79
DETERMINACION DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACION (96 HORAS)									
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)			12027	11880	11763			
Peso Molde	(g)			7949	7929	7988			
Peso Suelo Saturado	(g)			4078	3951	3775			
Peso Suelo Humedad Opt.	(g)			4031	3836	3575			
Agua absorbida	(g)			47	115	200			
Peso Suelo seco	(g)			3110	2960	2760			
Humedad Absorbida	(%)			1.5	3.9	7.2			

ANEXO F.2 - Muestra Pinalón

ANEXO F.2.1 - 1:1000

COMPACTACIÓN

Molde N°	04	05	06
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	12010	11710	11510
Peso del molde (gr)	7949	7929	7988
Peso del suelo húmedo (gr)	4061	3781	3522
Volumen del molde (cm ³)	2125.13	2118.70	2123.06
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.91	1.78	1.66
Densidad seca (gr/cm ³)	1.53	1.43	1.33
% de Compactación (según Densidad Máx.)	99.98	93.70	87.03

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

Tarra N°	P-2	P-1	P-6	H-3	H-7	H-1
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	370.0	377.0	457.7	576.6	464.6	605.0
Peso de tara + suelo seco (gr)	312.0	316.0	406.0	481.3	400.5	524.5
Peso del agua (gr)	58.0	61.0	51.7	95.3	64.1	80.5
Peso de tara (gr)	78.2	70.9	195.5	88.3	138.6	196.4
Peso de suelo seco (gr)	233.8	245.1	210.5	393.0	261.9	328.1
% de humedad	24.81	24.89	24.56	24.25	24.47	24.54
PROMEDIO DE HUMEDAD	24.85	24.40	24.51	24.40	24.51	24.51



PORCENTAJE DE AGUA DESPUES DE SATURACIÓN

Tarra N°	H-5	P-10	H-7	L-3	P-2	P-3
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	768.2	992.6	769.1	611.0	508.1	761.6
Peso de tara + suelo seco (gr)	636.5	789.9	614.9	496.8	401.9	594.2
Peso del agua (gr)	131.7	202.7	154.2	114.2	106.2	167.4
Peso de tara (gr)	133.3	78.3	138.6	93.8	78.2	78.1
Peso de suelo seco (gr)	503.2	711.6	476.3	403.0	323.7	516.1
% de humedad	26.17	28.49	32.37	28.34	32.81	32.44
PROMEDIO DE HUMEDAD	27.33		30.36		32.62	

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		
		DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%
17/06/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18/06/2014	24	112	112	2.44	156	156	3.41	222	222	4.82
19/06/2014	48	135	135	2.94	160	160	3.49	225	225	4.88
20/06/2014	72	138	138	3.01	162	162	3.54	226	226	4.91
21/06/2014	96	148	148	3.23	164	164	3.58	226	226	4.91

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	10.60	106.13	35.38	6.00	62.00	20.67	3.00	33.23	11.08
0.050	16.90	166.56	55.52	10.00	100.37	33.46	4.20	44.74	14.91
0.075	22.90	224.12	74.71	13.10	130.11	43.37	5.10	53.37	17.79
0.100	27.80	271.12	90.37	15.20	150.26	50.09	5.30	55.29	18.43
0.150	35.00	340.19	113.40	17.70	174.24	58.08	6.70	68.72	22.91
0.200	40.10	389.11	129.70	19.10	187.67	62.56	6.80	69.68	23.23
0.300	46.70	452.43	150.81	21.10	206.85	68.95	8.00	81.19	27.06
0.400	48.50	469.69	156.56	23.70	231.79	77.26	9.70	97.50	32.50
0.500	50.50	488.88	162.96	25.10	245.22	81.74	11.20	111.89	37.30

DETERMINACION DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACION (96 HORAS)

Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	12179	11966	11829
Peso Molde	(g)	7949	7929	7988
Peso Suelo Saturado	(g)	4230	4037	3841
Peso Suelo Humedad Opt.	(g)	4061	3781	3522
Agua absorbida	(g)	169	256	319
Peso Suelo seco	(g)	3253	3039	2829
Humedad Absorbida	(%)	5.2	8.4	11.3



ANEXO F.2.2 - 2:1000

COMPACTACIÓN

Molde N°	07	08	09
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	11814	11959	11446
Peso del molde (gr)	7736	7976	7967
Peso del suelo húmedo (gr)	4078	3983	3479
Volumen del molde (cm ³)	2103.00	2126.83	2122.29
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.94	1.87	1.64
Densidad seca (gr/cm ³)	1.56	1.50	1.32
% de Compactación (según Densidad Máx.)	101.70	98.26	85.98

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

Tarra N°	H-5	P-8	P-7	H-4	P-10	H-6
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	467.8	646.6	460.0	519.8	329.0	620.4
Peso de tara + suelo seco (gr)	401.5	540.1	392.9	444.0	281.2	512.5
Peso del agua (gr)	66.3	106.5	67.1	75.8	47.8	107.9
Peso de tara (gr)	133.3	102.8	117.6	135.6	87.4	70.1
Peso de suelo seco (gr)	268.2	437.3	275.3	308.4	193.8	442.4
% de humedad	24.72	24.35	24.38	24.58	24.66	24.39
PROMEDIO DE HUMEDAD	24.54		24.48		24.53	

PORCENTAJE DE AGUA DESPUES DE SATURACIÓN

Tarra N°	L-1	P-5	H-4	P-8	P-4	P-1
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	727.0	969.0	646.9	711.1	719.7	957.0
Peso de tara + suelo seco (gr)	585.6	795.0	509.7	572.1	557.4	723.3
Peso del agua (gr)	141.4	174.0	137.2	139.0	162.3	233.7
Peso de tara (gr)	113.0	102.8	117.6	135.6	87.4	70.1
Peso de suelo seco (gr)	472.6	692.2	392.1	436.5	470.0	653.2
% de humedad	29.92	25.14	34.99	31.84	34.53	35.78
PROMEDIO DE HUMEDAD	27.53		33.42		35.15	

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		
		DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%
17/06/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18/06/2014	24	128	128	2.80	132	132	2.87	122	122	2.66
19/06/2014	48	132	132	2.89	141	141	3.06	124	124	2.70
20/06/2014	72	135	135	2.95	148	148	3.22	153	153	3.33
21/06/2014	96	144	144	3.15	150	150	3.26	158	158	3.44



PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	11.60	115.72	38.57	8.60	86.94	28.98	4.20	44.74	14.91
0.050	21.00	205.89	68.63	14.80	146.42	48.81	6.70	68.72	22.91
0.075	29.20	284.55	94.85	20.40	200.14	66.71	7.70	78.31	26.10
0.100	38.50	373.77	124.59	22.90	224.12	74.71	8.90	89.82	29.94
0.150	49.20	476.41	158.80	26.10	254.82	84.94	9.70	97.50	32.50
0.200	55.80	539.72	179.91	28.10	274.00	91.33	10.50	105.17	35.06
0.300	62.60	604.95	201.65	30.50	297.02	99.01	11.00	109.97	36.66
0.400	68.00	656.75	218.92	32.70	318.13	106.04	12.40	123.40	41.13
0.500	73.50	709.51	236.50	34.60	336.35	112.12	13.80	136.83	45.61
DETERMINACION DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACION (96 HORAS)									
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)		11940	12187	11805				
Peso Molde	(g)		7736	7976	7967				
Peso Suelo Saturado	(g)		4204	4211	3838				
Peso Suelo Humedad Opt.	(g)		4078	3983	3479				
Agua absorbida	(g)		126	228	359				
Peso Suelo seco	(g)		3275	3200	2794				
Humedad Absorbida	(%)		3.8	7.1	12.9				

ANEXO F.2.3 - 3:1000

COMPACTACIÓN

Molde N°	01	02	03
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	12065	11865	11493
Peso del molde (gr)	7939	7953	7963
Peso del suelo húmedo (gr)	4126	3912	3530
Volumen del molde (cm ³)	2117.74	2115.92	2110.36
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.95	1.85	1.67
Densidad seca (gr/cm ³)	1.57	1.48	1.34
% de Compactación (según Densidad Máx.)	102.28	96.90	87.80

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

Tarra N°	P-4	P-3	H-2	P-9	P-100	P-5
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	306.2	529.6	630.0	655.4	597.1	575.7
Peso de tara + suelo seco (gr)	263.0	441.5	544.0	566.2	499.5	482.3
Peso del agua (gr)	43.2	88.1	86.0	89.2	97.6	93.4
Peso de tara (gr)	87.4	78.1	196.5	202.3	97.2	102.8
Peso de suelo seco (gr)	175.6	363.4	347.5	363.9	402.3	379.5
% de humedad	24.60	24.24	24.75	24.51	24.26	24.61
PROMEDIO DE HUMEDAD	24.42	24.63	24.63	24.63	24.44	24.44



PORCENTAJE DE AGUA DESPUES DE SATURACIÓN

Tarra N°	H-3	H-2	H-1	P-9	P-11	P-6
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	572.7	1071.6	737.6	834.8	844.2	840.6
Peso de tara + suelo seco (gr)	474.1	885.1	611.1	695.9	657.3	680.0
Peso del agua (gr)	98.6	186.5	126.5	138.9	186.9	160.6
Peso de tara (gr)	88.3	196.5	196.4	202.3	119.5	138.6
Peso de suelo seco (gr)	385.8	688.6	414.7	493.6	537.8	541.4
% de humedad	25.56	27.08	30.50	28.14	34.75	29.66
PROMEDIO DE HUMEDAD	26.32		29.32		32.21	

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN	
		DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%
17/06/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18/06/2014	24	105	105	2.29	129	129	2.82	135	135	2.95	135	135	2.95
19/06/2014	48	125	125	2.73	133	133	2.90	145	145	3.17	145	145	3.17
20/06/2014	72	133	133	2.90	136	136	2.97	151	151	3.30	151	151	3.30
21/06/2014	96	136	136	2.97	145	145	3.17	153	153	3.34	153	153	3.34

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes			
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²	
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	12.50	124.36	41.45	9.30	93.66	31.22	5.80	60.08	20.03	20.03
0.050	24.20	236.59	78.86	15.30	151.22	50.41	9.20	92.70	30.90	30.90
0.075	33.20	322.92	107.64	20.20	198.22	66.07	12.20	121.48	40.49	40.49
0.100	40.40	391.99	130.66	24.10	235.63	78.54	13.70	135.87	45.29	45.29
0.150	48.20	466.82	155.61	29.90	291.27	97.09	15.60	154.09	51.36	51.36
0.200	52.50	508.06	169.35	31.90	310.45	103.48	16.70	164.65	54.88	54.88
0.300	58.50	565.62	188.54	35.50	344.99	115.00	17.80	175.20	58.40	58.40
0.400	64.00	618.38	206.13	39.80	386.24	128.75	18.20	179.03	59.68	59.68
0.500	69.60	672.10	224.03	43.20	418.85	139.62	19.10	187.67	62.56	62.56

DETERMINACION DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACION (96 HORAS)

Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	12166	12075	11801
Peso Molde	(g)	7939	7953	7963
Peso Suelo Saturado	(g)	4227	4122	3838
Peso Suelo Humedad Opt.	(g)	4126	3912	3530
Agua absorbida	(g)	101	210	308
Peso Suelo seco	(g)	3316	3139	2837
Humedad Absorbida	(%)	3.0	6.7	10.9



ANEXO F.3 - Muestra Labor

ANEXO F.3.1 - 1:1000

COMPACTACIÓN

Molde N°	04	05	06
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	11917	11537	11349
Peso del molde (gr)	7949.00	7929.00	7988.00
Peso del suelo húmedo (gr)	3968	3608	3361
Volumen del molde (cm ³)	2125.13	2118.70	2123.06
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.87	1.70	1.58
Densidad seca (gr/cm ³)	1.53	1.40	1.30
% de Compactación (según Densidad Máx.)	97.95	89.41	83.06

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

Tarra N°	H-5	P-4	L-2	2	P-4	1
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	789	658	553	701	391	892
Peso de tara + suelo seco (gr)	673	556	485	595	336	755
Peso del agua (gr)	116	102	68	106	55	137
Peso de tara (gr)	133	96	179	98	87	121
Peso de suelo seco (gr)	540	460	306	497	249	634
% de humedad	21.44	22.17	22.08	21.33	21.96	21.61
PROMEDIO DE HUMEDAD	21.81	21.71	21.79			

PORCENTAJE DE AGUA DESPUES DE SATURACIÓN

Tarra N°	P-2	P-3	H-1	P-9	P-1	L-1
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	678.00	586	659.00	732	451.00	629
Peso de tara + suelo seco (gr)	539.00	459	508.00	547	343.00	464
Peso del agua (gr)	139.00	127.00	151.00	185.00	108.00	165.00
Peso de tara (gr)	69.20	71.6	89.10	128.3	55.50	111.1
Peso de suelo seco (gr)	469.80	387.40	418.90	418.70	287.50	352.90
% de humedad	29.59	32.78	36.05	44.18	37.57	46.76
PROMEDIO DE HUMEDAD	31.18	40.12	42.16			

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		
		DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%
30/06/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01/07/2014	24	575	575	12.54	628	628	13.72	680	680	14.76
02/07/2014	48	702	702	15.31	780	780	17.04	812	812	17.63
03/07/2014	72	758	758	16.53	860	860	18.78	820	820	17.80
04/07/2014	96	809	809	17.64	923	923	20.16	821	821	17.82



PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	3.40	37.06	12.35	2.60	29.39	9.80	1.10	15.00	5.00
0.050	4.00	42.82	14.27	3.20	35.14	11.71	1.80	21.71	7.24
0.075	4.50	47.61	15.87	3.80	40.90	13.63	2.70	30.35	10.12
0.100	5.20	54.33	18.11	4.70	49.53	16.51	3.50	38.02	12.67
0.150	6.00	62.00	20.67	5.30	55.29	18.43	4.50	47.61	15.87
0.200	6.80	69.68	23.23	6.00	62.00	20.67	5.10	53.37	17.79
0.300	7.40	75.43	25.14	6.70	68.72	22.91	5.50	57.21	19.07
0.400	8.40	85.03	28.34	7.40	75.43	25.14	5.80	60.08	20.03
0.500	9.00	90.78	30.26	8.00	81.19	27.06	6.10	62.96	20.99
DETERMINACION DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACION (96 HORAS)									
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)		12209.0	12103	11908				
Peso Molde	(g)		7949	7929	7988				
Peso Suelo Saturado	(g)		4260	4174	3920				
Peso Suelo Humedad Opt.	(g)		3968	3608	3361				
Agua absorbida	(g)		292	566	559				
Peso Suelo seco	(g)		3258	2965	2760				
Humedad Absorbida	(%)		9.0	19.1	20.3				

ANEXO F.3.2 - 2:1000

COMPACTACIÓN

Molde N°	07	08	09
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	11751	11638	11261
Peso del molde (gr)	7736	7976	7967
Peso del suelo húmedo (gr)	4015	3662	3294
Volumen del molde (cm ³)	2103.00	2126.83	2130.47
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.91	1.72	1.55
Densidad seca (gr/cm ³)	1.57	1.41	1.27
% de Compactación (según Densidad Máx.)	100.12	90.28	81.07

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

Tarra N°	P-2	H-5	H-4	H-3	P-5	H-7
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	313	437	431	425	449	481
Peso de tara + suelo seco (gr)	271	382	375	364	387	419
Peso del agua (gr)	42	55	56	61	62	62
Peso de tara (gr)	78	133	117.6	88	102.8	138.6
Peso de suelo seco (gr)	193	249	257	276	284	280
% de humedad	21.58	22.11	21.68	22.05	21.78	21.93
PROMEDIO DE HUMEDAD	21.85	21.87	21.87	21.87	21.86	21.86



PORCENTAJE DE AGUA DESPUES DE SATURACIÓN

Tarra N°	P-9	P-3	H-1	L-2	W-1	P-11
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	963.00	694	975.00	1035	682.70	573.2
Peso de tara + suelo seco (gr)	796.30	507.8	719.90	824.4	479.40	467.2
Peso del agua (gr)	166.70	186.20	255.10	210.60	203.30	106.00
Peso de tara (gr)	202.30	78.1	196.40	123.1	65.80	121.3
Peso de suelo seco (gr)	594.00	429.70	523.50	701.30	413.60	345.90
% de humedad	28.06	43.33	48.73	30.03	49.15	30.64
PROMEDIO DE HUMEDAD	35.70		39.38		39.90	

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN	
		DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%
23/06/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24/06/2014	24	254	254	5.55	362	362	7.87	422	422	9.15			
25/06/2014	48	314	314	6.86	430	430	9.34	524	524	11.37			
26/06/2014	72	370	370	8.09	450	450	9.78	553	553	12.00			
27/06/2014	96	376	376	8.22	499	499	10.84	558	558	12.10			

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes			
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²	
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	4.40	46.66	15.55	3.30	36.10	12.03	2.60	29.39	9.80	
0.050	5.50	57.21	19.07	4.10	43.78	14.59	3.10	34.18	11.39	
0.075	6.20	63.92	21.31	4.80	50.49	16.83	3.90	41.86	13.95	
0.100	6.60	67.76	22.59	5.50	57.21	19.07	4.40	46.66	15.55	
0.150	7.30	74.47	24.82	6.40	65.84	21.95	4.80	50.49	16.83	
0.200	8.20	83.11	27.70	7.00	71.60	23.87	5.20	54.33	18.11	
0.300	9.20	92.70	30.90	7.30	74.47	24.82	5.70	59.13	19.71	
0.400	10.10	101.33	33.78	7.80	79.27	26.42	6.30	64.88	21.63	
0.500	11.70	116.68	38.89	8.80	88.86	29.62	6.90	70.64	23.55	

DETERMINACION DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACION (96 HORAS)

Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	11972.0	12027	11937
Peso Molde	(g)	7736	7976	7967
Peso Suelo Saturado	(g)	4236	4051	3970
Peso Suelo Humedad Opt.	(g)	4015	3662	3294
Agua absorbida	(g)	221	389	676
Peso Suelo seco	(g)	3295	3005	2703
Humedad Absorbida	(%)	6.7	12.9	25.0



ANEXO F.3.3 - 3:1000

COMPACTACIÓN

Molde N°	01	02	03
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	11878	11524	11255
Peso del molde (gr)	7939	7953	7963
Peso del suelo húmedo (gr)	3939	3571	3292
Volumen del molde (cm ³)	2117.74	2115.92	2110.36
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.86	1.69	1.56
Densidad seca (gr/cm ³)	1.53	1.39	1.28
% de Compactación (según Densidad Máx.)	97.45	88.51	81.80

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

Tarra N°	P-8	P-5	W-1	6	P-10	H-8
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	519	559	531	631	457	728
Peso de tara + suelo seco (gr)	450	478	456	534	390	606
Peso del agua (gr)	69	81	75	97	67	122
Peso de tara (gr)	136	111	110	96	78	56
Peso de suelo seco (gr)	314	367	346	438	312	550
% de humedad	21.85	22.07	21.53	22.15	21.53	22.18
PROMEDIO DE HUMEDAD	21.96		21.84		21.85	

PORCENTAJE DE AGUA DESPUES DE SATURACIÓN

Tarra N°	P-7	P-8	P-5	H-5	P-11	W-1
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	869.10	658.2	639.80	654	936.00	897.2
Peso de tara + suelo seco (gr)	700.00	496.1	517.2	459.60	736.1	625.6
Peso del agua (gr)	169.10	162.10	122.60	194.40	199.90	271.60
Peso de tara (gr)	111.10	95.6	99.50	59.2	62.60	76.1
Peso de suelo seco (gr)	588.90	400.50	417.70	400.40	673.50	549.50
% de humedad	28.71	40.47	29.35	48.55	29.68	49.43
PROMEDIO DE HUMEDAD	34.59		38.95		39.55	

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA		EXPANSIÓN		LECTURA		EXPANSIÓN		
		DIAL	Def	%	DIAL	Def	%	DIAL	Def	%
30/06/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01/07/2014	24	512	512	11.17	670	670	14.63	590	590	12.89
02/07/2014	48	630	630	13.75	822	822	17.95	700	700	15.29
03/07/2014	72	708	708	15.45	833	833	18.19	802	802	17.52
04/07/2014	96	751	751	16.39	838	838	18.30	807	807	17.62



PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²		Libras.	Libras./pulg ²
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	3.40	37.06	12.35	2.70	30.35	10.12	1.00	14.04	4.68
0.050	4.10	43.78	14.59	3.40	37.06	12.35	2.30	26.51	8.84
0.075	5.00	52.41	17.47	4.20	44.74	14.91	2.90	32.27	10.76
0.100	5.60	58.17	19.39	4.80	50.49	16.83	3.60	38.98	12.99
0.150	6.50	66.80	22.27	5.50	57.21	19.07	3.80	40.90	13.63
0.200	7.10	72.56	24.19	5.80	60.08	20.03	4.00	42.82	14.27
0.300	7.70	78.31	26.10	6.50	66.80	22.27	4.40	46.66	15.55
0.400	8.50	85.99	28.66	7.10	72.56	24.19	5.00	52.41	17.47
0.500	9.20	92.70	30.90	7.60	77.35	25.78	5.30	55.29	18.43
DETERMINACION DEL % DE AGUA ABSORBIDA DURANTE EL PROCESO DE SATURACION (96 HORAS)									
Peso Molde + Suelo Saturado	(g)	12118.0	12048	11753					
Peso Molde	(g)	7939	7953	7963					
Peso Suelo Saturado	(g)	4179	4095	3790					
Peso Suelo Humedad Opt.	(g)	3939	3571	3292					
Agua absorbida	(g)	240	524	498					
Peso Suelo seco	(g)	3230	2931	2702					
Humedad Absorbida	(%)	7.4	17.9	18.4					



ANEXO G - LÍMITES DE ATTERBERG CON ADITIVO

ANEXO G.1 - Muestra UES FMOcc. 3:1000

		LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		
Ensayo No.		1	1	2	3
No. De golpes		28	-	-	-
Peso de suelo húmedo y tara	gr	28.90	23.75	23.82	23.86
Peso de suelo seco y tara	gr	26.17	23.06	23.16	23.10
Tara	gr	21.09	21.25	21.40	21.12
Peso de agua	gr	2.73	0.69	0.66	0.76
Peso de suelo seco	gr	5.08	1.81	1.76	1.98
Contenido de agua	%	53.76	37.85	37.60	38.38

ANEXO G.2 - Muestra Pinalón 3:1000

		LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		
Ensayo No.		1	1	2	3
No. De golpes		22	-	-	-
Peso de suelo húmedo y tara	gr	41.09	23.48	23.61	23.33
Peso de suelo seco y tara	gr	34.93	23.05	23.08	22.88
Tara	gr	21.40	21.11	21.09	21.25
Peso de agua	gr	6.16	0.43	0.53	0.44
Peso de suelo seco	gr	13.52	1.94	1.99	1.63
Contenido de agua	%	45.58	22.34	26.64	27.26

ANEXO G.3 - Muestra Labor 2:1000

		LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		
Ensayo No.		1	1	2	3
No. De golpes		24	-	-	-
Peso de suelo húmedo y tara	gr	29.06	23.92	23.79	23.89
Peso de suelo seco y tara	gr	25.87	23.23	23.02	23.14
Tara	gr	21.11	21.40	21.09	21.25
Peso de agua	gr	3.19	0.68	0.77	0.75
Peso de suelo seco	gr	4.76	1.83	1.93	1.89
Contenido de agua	%	67.11	37.42	39.94	39.67



ANEXO H - MÁXIMA DENSIDAD SECA CON ADITIVO, ENSAYO PROCTOR

ANEXO H.1 - Muestra UES FMOcc. 3:1000

Ensayo	%	27%	29%	31%	33%	35%	37%						
PESO ESPECIFICO													
Peso de muestra húmeda + molde	kg	5.825	5.912	5.958	6.005	6.006	5.976						
Peso del molde	kg	4.245	4.245	4.245	4.266	4.266	4.266						
Peso de la muestra húmeda	kg	1.58	1.667	1.713	1.739	1.74	1.71						
Volumen del molde	m ³	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001						
Densidad húmeda	kg/m ³	1748.736	1845.027	1895.939	1924.716	1925.823	1892.619						
CONTENIDO DE HUMEDAD													
Tara	Nº	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10	P-11	P-12
Peso muestra húmeda + tara	gr	306.20	345.90	315.80	158.20	201.60	154.00	365.10	371.20	335.30	289.30	389.10	332.20
Peso muestra seca + tara	gr	260.20	290.00	258.60	138.30	167.80	134.10	294.80	297.90	267.00	233.20	305.10	262.80
Peso del agua	gr	46.00	55.90	57.20	19.90	33.80	19.90	70.30	73.30	68.30	56.10	84.00	69.40
Peso de la tara	gr	77.9	65.1	51.1	64.8	50.9	65.7	70.1	59.9	61.5	63.5	65.2	65.2
Peso de la muestra seca	gr	182.3	224.9	207.5	73.5	116.9	68.4	224.7	238	205.5	169.7	239.9	197.6
Contenido de humedad	%	25.2	24.9	27.6	27.1	28.9	29.1	31.3	30.8	33.2	33.1	35.0	35.1
Contenido de humedad promedio	%	25.0		27.3		29.0		31.0		33.1		35.1	
PESO ESPECIFICO SECO													
Densidad seca	gr/cm ³	1398.49	1449.12	1469.68	1468.78	1446.39	1401.23						

ANEXO H.2 - Muestra Pinalón 3:1000

Ensayo	%	23%	25%	27%	29%	31%					
PESO ESPECIFICO											
Peso de muestra húmeda + molde	kg	6.243	6.325	6.396	6.371	6.356					
Peso del molde	kg	4.507	4.507	4.507	4.507	4.507					
Peso de la muestra húmeda	kg	1.736	1.818	1.889	1.864	1.849					
Volumen del molde	m ³	0.00095	0.00095	0.00095	0.00095	0.00095					
Densidad húmeda	kg/m ³	1824.887	1911.086	1985.721	1959.441	1943.673					
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara	Nº	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
Peso muestra húmeda + tara	gr	548.60	845.6	871.10	654.50	543.00	568.6	678.80	900.5	615.6	618.00
Peso muestra seca + tara	gr	465.00	713.40	722.10	544.60	453.40	476.80	557.20	730.90	512.20	497.10
Peso del agua	gr	83.60	132.20	149.00	109.90	89.60	91.80	121.60	169.60	103.40	120.90
Peso de la tara	gr	72.9	78.1	81.5	64.6	95.2	111.1	106.8	108.9	156.6	79.6
Peso de la muestra seca	gr	392.1	635.3	640.6	480	358.2	365.7	450.4	622	355.6	417.5
Contenido de humedad	%	21.3	20.8	23.3	22.9	25.0	25.1	27.0	27.3	29.1	29.0
Contenido de humedad promedio	%	21.1		23.1		25.1		27.1		29.0	
PESO ESPECIFICO SECO											
Densidad seca	gr/cm ³	1507.36	1552.75	1587.84	1541.26	1506.51					



ANEXO H.3 - Muestra Labor 2:1000

Ensayo	%	20%	22%	24%	26%	28%					
PESO ESPECIFICO											
Peso de muestra húmeda + molde	kg	5.955	6.031	6.069	6.085	6.072					
Peso del molde	kg	4.229	4.229	4.229	4.229	4.229					
Peso de la muestra húmeda	kg	1.726	1.802	1.84	1.856	1.843					
Volumen del molde	m ³	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001					
Densidad húmeda	kg/m ³	1823.194	1903.474	1943.614	1960.515	1946.783					
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso muestra húmeda + tara	gr	915.10	865.60	925.60	896.90	956.50	844.40	739.3	888.80	896.10	904.10
Peso muestra seca + tara	gr	783.40	745.10	782.10	764.80	793.50	712.20	615.10	731.60	728.20	733.90
Peso del agua	gr	131.70	120.50	143.50	132.10	163.00	132.20	124.20	157.20	167.90	170.20
Peso de la tara	gr	65.1	66.4	69.1	121.5	63.3	110.2	98.2	76.3	78.1	81.5
Peso de la muestra seca	gr	718.3	678.7	713	643.3	730.2	602	516.9	655.3	650.1	652.4
Contenido de humedad	%	18.3	17.8	20.1	20.5	22.3	22.0	24.0	24.0	25.8	26.1
Contenido de humedad promedio	%	18.0		20.3		22.1		24.0		26.0	
PESO ESPECIFICO SECO											
Densidad seca	gr/cm ³	1544.49	1581.87	1591.28	1580.95	1545.59					