

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**TRABAJO DE GRADUACION**  
**ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES CON**  
**ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA PARA**  
**AUMENTAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE**

**PRESENTADO POR:**

**AMAYA HERNÁNDEZ JHONNY JOSUÉ**

**GAMERO CAMPOS DIEGO JOSÉ**

**MÉNDEZ VELÁSQUEZ PEDRO NOEL**

**RIVAS GÓMEZ ATILIO ERNESTO**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**CIUDAD UNIVERSITARIA ORIENTAL, DICIEMBRE 2020**  
**SAN MIGUEL EL SALVADOR CENTROAMERICA**

**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**

**AUTORIDADES UNVERSITARIAS**

**DECANO:**

**LIC. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS**

**VICE-DECANO:**

**LIC. OSCAR VILLALOBOS**

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:**

**ING. RIGOBERTO LOPEZ**

**DOCENTE ASESOR:**

**ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR:**

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS**

**VICE-RECTOR ACADÉMICO:**

**DR. RAÚL ERNESTO AZUNAGA LÓPEZ**

**RECTOR ADMINISTRATIVO:**

**ING. JUAN ROSA QUINTANILLA**

**SECRETARIO GENERAL:**

**ING. FRANCCISCO ALARCON**

**FISCAL GENERAL**

**LIC. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARIN**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos primeramente a Dios por habernos dado la fortaleza, bendiciones y su iluminación en nuestro camino para el logro de nuestras metas.

Son muchas las personas que han contribuido al proceso y conclusión de este trabajo. En primer lugar, agradecemos al ingeniero Guillermo Moya Turcios, asesor de nuestra tesis quien nos guio en toda nuestra investigación.

Agradecemos al ingeniero Jose Ismael Guevara Zelaya, quien nos asesoró en el análisis estadístico para darle validez a nuestros resultados

Agradecemos a la empresa MZ Consultores quienes nos proporcionaron el uso de su laboratorio de suelos y nos ayudaron en la realización de los ensayos

Agrademos a nuestros jurados los ingenieros Rigoberto López y Uvin Zuniga por sus observaciones pertinentes a lo largo de la investigación

Finalmente agradecemos desde lo más profundo de nuestros corazones a nuestras familias que nos han apoyado en cada etapa de nuestra vida y que siempre han confiado y creído en nosotros.

## TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	VIII
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1 Antecedentes del fenómeno objeto de estudio .....	2
1.2 Situación problemática.....	5
1.3 Enunciado del problema .....	7
1.4 Justificación del estudio.....	8
1.5 Objetivos de la investigación .....	10
1.5.1 Objetivo General.....	10
1.5.2 Objetivos Específicos.....	10
1.6 Alcances y Limitaciones .....	11
1.6.1 Alcances.....	11
1.6.2 Limitaciones.....	12
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	13
2.1 Generalidades del suelo .....	14
2.1.1 Formación del suelo.....	14
2.2 Clasificación de los suelos .....	15
2.2.1 Clasificación de suelos en base a norma AASHTO M-145.....	15
2.2.2 Criterios para la clasificación de suelos AASHTO.....	17
2.2.3 Clasificación de suelos SUCS (ASTM D-2487).....	18
2.2.4 Criterio para la clasificación SUCS .....	19
2.2.4.1 Suelos gruesos.....	20
2.2.4.2 Suelos finos.....	20
2.3 Arcillas y su clasificación .....	22
2.3.1 Efecto del agua en las arcillas .....	23
2.4 Caracterización de la arcilla según el índice de plasticidad.....	24
2.5 Propiedades físicas de los suelos .....	25
2.5.1 Contenido de humedad de un suelo .....	26
2.5.2 Determinación de la gravedad específica del suelo (ASTM D 854) .....	26
2.5.3 Límites de Atterberg (ASTM D 4318).....	26
2.5.4 Densidad de un suelo .....	28
2.6 Propiedades mecánicas del suelo .....	29
2.6.1 Relación de Soporte de California (CBR) ASTM D 1883 .....	30
2.7 Estabilización de los suelos .....	30
2.8 Tipos de estabilización.....	31
2.8.1 Estabilización física .....	31
2.8.2 Estabilización mecánica.....	32
2.8.3 Estabilización química.....	33
2.9 Estabilización química de suelos empleando yeso. ....	33
2.9.1 Generalidades del yeso .....	33
2.9.2 Características y propiedades del yeso .....	35
2.9.2.1 Propiedades físicas del yeso.....	35
2.9.2.2 Características físicas del yeso.....	36

2.10 Aplicaciones del yeso .....	37
2.11 Roca y agregados .....	38
2.11.1 Roca. ....	38
2.11.2 Aplicaciones de las rocas .....	38
2.12 Agregados. ....	39
2.13 Grava.....	42
2.13.1 Aplicaciones de la grava .....	42
<b>CAPÍTULO III DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>44</b>
3.1 Marco referencial .....	45
3.2 Enfoque de la investigación .....	46
3.3 Alcance de la investigación .....	47
3.4 Proceso de selección de las unidades de análisis .....	47
3.5 Método de muestreo.....	47
3.6 Criterios de inclusión .....	48
3.7 Unidades de análisis.....	48
3.8 Variables y medición .....	52
3.9 Sistema de Hipótesis .....	53
3.9.1 Hipótesis de Investigación .....	53
3.9.2 Hipótesis nula.....	53
3.10 Calicatas o PCA .....	54
3.11 Selección del tamaño de la muestra .....	55
3.12 Reducción de las muestras de agregado a tamaño de prueba basado en ASTM C702-01 .....	57
3.13 Determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo ASTM D 854-02.....	58
3.14 Determinación del tamaño de las partículas de suelos basado en ASTM D 422-63 .....	64
3.15 Determinación de la plasticidad y la capacidad de soporte al suelo .....	72
3.16 Determinación del límite líquido, límite plástico basado en ASTM D 4318-00 .....	72
3.17 Clasificación del suelo por método SUCS bajo la norma ASTM D 2487 .....	79
3.18 Clasificación del suelo por método AASHTO M 145 .....	79
3.19 Determinación en laboratorio de las características de compactación de los suelos basado en AASHTO T 180-01 .....	80
3.20 Determinación del valor de soporte relativo en base en la norma ASTM D 1883 .....	87
3.21 Agente estabilizante .....	94
3.22 Grava.....	95
3.23 Dosificación de la mezcla Suelo-Estabilizante .....	95
3.24 Periodo de fraguado .....	96
3.25 Determinación de la plasticidad a la mezcla Suelo-Estabilizante.....	97
3.26 Dosificación de la mezcla suelo estabilizado-grava.....	97
3.27 Diseño experimental .....	97
3.28 Realización de replicas .....	98
3.29 La aleatorización.....	98
3.30 La formación de bloques.....	98
3.31 Suelo-agente estabilizante.....	99
3.31.1 Secuencia de prueba.....	99
3.31.2 Análisis y procesamiento de datos .....	100
<b>CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>103</b>
4.1 Prueba Piloto y Secuencia de Pruebas .....	104

4.1.1 Prueba Piloto.....	104
4.1.1.1 Selección del tamaño muestral.....	104
4.1.2 Secuencia de Prueba .....	107
4.2 Ensayo de Gravedad Especifica.....	112
4.3 Ensayo determinación del tamaño de las partículas del suelo .....	119
4.4 Clasificación de los suelos sistema AASTHO M 145 y SUCS ASTM D 2487 .....	135
4.4.1 Clasificación de suelos según sistema SUCS (ASTM D 2487-00) .....	136
4.4.2 Clasificación de suelos según sistema AASHTO M 145.....	137
4.5 Ensayo para la determinación del límite líquido, límite plástico e IP de los suelos .....	140
4.5.1 Tabulación, análisis e interpretación de los datos.....	141
4.6 Ensayo para la determinación en el laboratorio de las características de compactación de los suelos.....	153
4.6.1 Tablas resúmenes de características de compactación de los suelos con porcentajes de yeso óptimo y diferentes contenidos de grava .....	156
4.7 Ensayo para la determinación del valor de soporte de california (CBR).....	166
4.7.1 Suelo en estado natural .....	167
4.7.2 Suelo estabilizado sin grava.....	173
4.7.3 Suelo estabilizado + 10% grava.....	179
4.7.4 Suelo estabilizado + 20% grava.....	185
4.7.5 Suelo estabilizado + 30% grava.....	191
4.8 Análisis Estadístico.....	200
4.8.1 Prueba de Hipótesis.....	200
4.9 Interpretación de Resultados.....	203
4.9.1 Discusión de los Resultados.....	203
4.9.2 Comparativo del Yeso con otros agentes estabilizantes.....	204
CAPÍTULO V CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS.....	206
5.1 Conclusiones.....	207
5.2 Recomendaciones .....	209
5.3 Referencias consultadas .....	211
ANEXOS .....	212
ANEXO A: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS PARA PRUEBA PILOTO (BASADA EN ASTM D 4318-00).....	213
ANEXO B: GRAVEDAD ESPECIFICA (BASADA EN ASTM 854-02).....	220
ANEXO C: DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELO (BASADA EN ASTM D 422).....	222
ANEXO D: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (BASADA EN ASTM D 4318-00) .....	226
ANEXO E: DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACION DE LOS SUELOS (BASADA EN AASHTO T 180-01).....	264
ANEXO F: PRUEBA DE HIPOTESIS .....	299
ANEXO F-1: COEFICIENTE DE FISHER PARA UNA CONFIABILIDAD DEL 95% ...	300
ANEXO F-2: CÁLCULOS PARA LA COMPROBACIÓN DE HIPOTESIS .....	302
ANEXO G: GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS .....	305

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Clasificación de suelos en base a norma AASHTO M-145.....	16
<b>Tabla 2.2.</b> Prefijos y Sufijos para clasificación de suelos SUCS.....	19
<b>Tabla 2.3.</b> Sub división de suelos finos según límites líquidos, sistema SUCS.....	20
<b>Tabla 2.4.</b> Sistema unificado de clasificación de Suelos (SUCS).....	21
<b>Tabla 2.5.</b> Caracterización de las arcillas según su índice de plasticidad.....	25
<b>Tabla 2.6.</b> Aplicaciones del yeso en los diferentes ámbitos.....	37
<b>Tabla 2.7.</b> Aplicación de las rocas según su tipo .....	39
<b>Tabla 2.8.</b> Aplicaciones de gravas de diferentes granulometrías.....	43
<b>Tabla 3.1.</b> Marco referencial de ensayos a realización en Laboratorio.....	45
<b>Tabla 3.2.</b> separación aproximada de perforaciones .....	48
<b>Tabla 3.3.</b> cantidad de suelo necesario para cada ensayo .....	49
<b>Tabla 3.3.</b> Variables, medición e instrumentos a utilizar.....	52
<b>Tabla 3.4.</b> Valores utilizados de Seguridad en el cálculo de tamaño muestral .....	56
<b>Tabla 3.5.</b> Valores utilizados de Poder Estadístico en el cálculo de tamaño muestral .....	56
<b>Tabla 3.6.</b> Masas recomendadas para los especímenes de ensayo de gravedad específica.....	59
<b>Tabla 3.7.</b> Densidad del agua y Coeficiente de temperatura (k) ensayo de GE.....	63
<b>Tabla 3.8.</b> Valores de carga normal o carga unitaria patrón para 0.1in y 0.2 in de penetración..	93
<b>Tabla 3.9.</b> Corridas experimentales.....	99
<b>Tabla 3.10.</b> Secuencia de prueba.....	100
<b>Tabla 3.11.</b> Respuestas a los tratamientos.....	100
<b>Tabla 3.12.</b> Análisis de Varianza .....	101
<b>Tabla 4.1.</b> Tabla resumen sobre Límites de Atterberg de prueba Piloto.....	104
<b>Tabla 4.2.</b> Formación de bloques .....	108
<b>Tabla 4.3.</b> Etiquetas de los bloques para rifa .....	110
<b>Tabla 4.4.</b> Tabla resumen del sorteo para la secuencia de prueba .....	111
<b>Tabla 4.5.</b> Lecturas corregidas del hidrómetro .....	128
<b>Tabla 4.6.</b> Porcentajes de suelo que permanecen en suspensión .....	129
<b>Tabla 4.7.</b> Porcentaje de suelo que permanece en suspensión referido al material que pasa la malla N°200 .....	129
<b>Tabla 4.8.</b> Lectura corregida por menisco.....	130
<b>Tabla 4.9.</b> Profundidades efectivas del hidrómetro en los lapsos de tiempo .....	130
<b>Tabla 4.10.</b> Valores de los diámetros de las partículas del suelo.....	133
<b>Tabla 4.11.</b> Cuadro resumen sobre clasificación de los suelos según sistema AASTHO M145 y ASTM D 2487.....	135
<b>Tabla 4.12.</b> Carta de grupos y sub-grupos para la clasificación de la Prueba Piloto .....	139
<b>Tabla 4.13.</b> Matriz de Observaciones.....	141
<b>Tabla 4.14.</b> Diferencia de los promedios de los distintos niveles de yeso con el suelo en estado natural Pozo I.....	144
<b>Tabla 4.15.</b> Diferencia de los promedios de los distintos niveles de yeso con el suelo en estado natural Pozo II.....	147
<b>Tabla 4.16.</b> Diferencia de los promedios de los distintos niveles de yeso con el suelo en estado natural Pozo III .....	150

<b>Tabla 4.17.</b> Promedio de los Índices de Plasticidad según cada porcentaje de yeso por Pozo..	151
<b>Tabla 4.18.</b> Cuadro resumen valor de soporte de california .....	197
<b>Tabla 4.19.</b> Clasificación de suelos según CBR .....	199
<b>Tabla 4.20.</b> Análisis de varianza del experimento .....	201
<b>Tabla 4.21.</b> Comparación del sulfato de calcio con otros agentes estabilizantes.....	205
<b>Tabla B-1.</b> Densidades a diferentes temperaturas .....	221
<b>Tabla C-1.</b> Correcciones por temperatura.....	223
<b>Tabla C-2.</b> Valores de factor de corrección, a, para diferentes GE del suelo.....	223
<b>Tabla C-3.</b> Valores de profundidad efectiva basados en el hidrómetro.....	224
<b>Tabla C-4.</b> Valores de K para el cálculo del diámetro de la partícula del análisis hidrométrico	225
<b>Tabla D-1.</b> Formación de Bloques luego de primer sorteo .....	227
<b>Tabla D-2.</b> Índices de plasticidad ordenados según Primer Sorteo.....	227

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Auto atascado debido a suelos expansivos.....	5
<b>Figura 1.2</b> Problemática del agua debido a un suelo con características plásticas .....	6
<b>Figura 2.1</b> Carta de plasticidad.....	27
<b>Figura 2.2</b> Extracción y tratamiento de los agregados.....	41
<b>Figura 3.1</b> Macro localización de la zona de muestreo.....	49
<b>Figura 3.2</b> Tramo en estudio.....	50
<b>Figura 3.3</b> Dimensiones de los Pozos a Cielo Abierto (PCA).....	54
<b>Figura 3.4</b> Método de cuarteo “B” según ASTM C 702.....	57
<b>Figura 3.5</b> Equipo para la determinación de la gravedad específica .....	58
<b>Figura 3.6</b> Determinación de la masa del frasco volumétrico. ....	60
<b>Figura 3.7</b> Desairado de la lechada por el método de ebullición. ....	61
<b>Figura 3.8</b> Equipo utilizado para el análisis del tamaño de las partículas .....	66
<b>Figura 3.9</b> Hidrómetro utilizado para muestras que pasan tamiz N°10.....	67
<b>Figura 3.10</b> Preparación de lechada.....	69
<b>Figura 3.11</b> Mezclado de lechada .....	70
<b>Figura 3.12</b> Cribado de la muestra de suelo que pasa malla N°200 .....	71
<b>Figura 3.13</b> Equipo utilizado para la determinación de los Límites de Atterberg.....	73
<b>Figura 3.14</b> Pasta para ensayar luego del reposo de 16 horas.....	75
<b>Figura 3.15</b> Ranurador de suelo en copa de Casa Grande .....	76
<b>Figura 3.16</b> Elaboración de rollitos para límite plástico .....	78
<b>Figura 3.17</b> Equipo para la compactación de suelos.....	81
<b>Figura 3.18</b> Suelo para humedad de prueba.....	84
<b>Figura 3.19</b> Compactación de las capas de suelo.....	85
<b>Figura 3.20</b> Desmonte de suelo compactado. ....	86
<b>Figura 3.21</b> Equipo necesario para la determinación de CBR.....	88
<b>Figura 3.22</b> Máquina Marshall para ensayos de CBR .....	90
<b>Figura 3.23</b> Compactación de las capas para CBR con la humedad óptima .....	91
<b>Figura 3.24</b> Proceso de inmersión CBR.....	92
<b>Figura 3.25</b> Esquema fase de penetración .....	93
<b>Figura 3.26</b> Yeso calcinado de uso comercial .....	94
<b>Figura 3.27</b> Yeso calcinado .....	94
<b>Figura 3.28</b> Grava N° 2 para ensayar .....	95
<b>Figura 3.29</b> Dosificaciones suelo-yeso. ....	96
<b>Figura 4.1</b> Índices de Plasticidad vs % de Yeso para la determinación del tamaño muestral ...	104
<b>Figura 4.2</b> Muestras extraídas por pozos .....	107
<b>Figura 4.3</b> Curva Granulométrica .....	134
<b>Figura 4.4</b> Gráfico de plasticidad sistema SUCS.....	136
<b>Figura 4.4.</b> Límites Líquidos, Límites Plásticos con distintos % de yeso Pozo I.....	142
<b>Figura 4.5</b> Índice de Plasticidad con distintos % de yeso Pozo I.....	143
<b>Figura 4.6</b> Límites Líquidos, Límites Plásticos con distintos % de yeso Pozo II.....	145
<b>Figura 4.7</b> Índice de Plasticidad con distintos % de yeso Pozo II.....	146
<b>Figura 4.8</b> Límites Líquidos, Límites Plásticos con distintos % de yeso Pozo III .....	148
<b>Figura 4.9</b> Índice de Plasticidad con distintos % de yeso Pozo III.....	149
<b>Figura 4.10</b> Índice de plasticidad-% de yeso de todo el tamaño muestral.....	152

<b>Figura 4.11</b> Humedad de compactación-densidad de compactación para suelo en estado natural .....	157
<b>Figura 4.12</b> Humedad de compactación-densidad de compactación para suelo con 8% de yeso .....	159
<b>Figura 4.13</b> Humedad de compactación-densidad de compactación para suelo con 8% de yeso y 10% de grava.....	161
<b>Figura 4.14</b> Humedad de compactación-densidad de compactación para suelo con 8% de yeso y 20% de grava.....	163
<b>Figura 4.15</b> Humedad de compactación-densidad de compactación para suelo con 8% de yeso y 30% de grava.....	165

## INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas que se enfrenta en la mayoría de proyectos de carreteras es encontrarse con un suelo fino de características plásticas, debido a que estos suelos poseen un alto riesgo de sufrir cambios volumétricos los cuales disminuyen su resistencia causados por los cambios en su contenido de humedad

Lo más recomendable para solucionar este problema es la sustitución de todo el material plástico y reemplazarlo por otro tipo de suelo adecuado que cumpla con los requerimientos de diseño, el problema radica en el costo que esto implica.

Otra alternativa es mejorar estos suelos con agentes estabilizantes que disminuyan las propiedades de plasticidad, permeabilidad, etc., reutilizando el mismo material de la zona con el fin de reducir los costos, entre los agentes más utilizados en nuestro medio se encuentran la cal, la emulsión asfáltica y cemento que generan cambios considerables en las propiedades mecánicas del suelo, también se encuentran otros tipos de agentes poco estudiados pero que de igual forma generan cambios significativos en las propiedades mecánicas del suelo, entre los cuales se encuentran los polímeros, cloruros, ceniza, yeso, sal entre otros.

Esta investigación se orientó en el estudio de la estabilización de suelos finos plásticos utilizando yeso como agente estabilizador, el cual es un compuesto químico formado por la unión de las partículas de Ca (calcio) y S (azufre) con las moléculas de  $O_4$  denominado Sulfato de Calcio, se realizó una correlación del índice de plasticidad con distintos porcentajes de yeso utilizando el ensayo de los límites de Atterberg regida bajo la norma ASTM 4318 , se realizó un

numero de réplicas obtenidas de un análisis de varianza y se comprobara su funcionalidad mediante una prueba de hipótesis

Para aumentar la capacidad de soporte de los suelos finos plásticos se incorporó grava en distintos porcentajes los cuales se midieron con el ensayo de CBR (California Bearing Ratio) con base a la norma ASTM 1883, las gráficas generadas para cada uno de los porcentajes mostraran si existen variaciones en la capacidad de soporte.

Finalmente se publicaron los resultados de las combinaciones de suelos con yeso y grava que genere un mayor beneficio para la problemática de la plasticidad de los suelos finos plásticos y la baja capacidad de soporte, con el fin de mejorar la transitividad del camino para los habitantes y aprovechar el suelo natural.

**CAPÍTULO I**  
**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## 1.1 Antecedentes del fenómeno objeto de estudio

El mejoramiento de las propiedades de las sub rasantes para su aplicación como soporte de estructuras viales, ha sido abarcado desde muchos mecanismos, existiendo en la actualidad estabilizaciones físicas, las cuales consisten en mezclas de suelos; estabilizaciones mecánicas en las cuales se le aporta energía mecánica a la masa de suelo y las estabilizaciones físico-químicas aplicando aditivos químicos.

Las estabilizaciones físico-químicas resultan el método más económico para mejorar la trabajabilidad y adquirir las propiedades geotécnicas deseadas. El cemento, cal, cenizas y yeso son ejemplos de aditivos químicos que han sido utilizados para mejorar las características de compresibilidad y resistencia del suelo.

De los antes mencionados el cemento y la cal, cuyos mecanismos de estabilización han sido profundamente estudiados durante décadas, se han convertido en los más aplicados en el medio.

Una característica en común del cemento y la cal son sus propiedades cementantes. Esta característica se debe a su composición química, siendo el cemento un Silicato de Calcio ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) y la Cal un Oxido de Calcio ( $\text{CaO}$ ). Estando el elemento Calcio presente en ambos compuestos. Dentro de esta clasificación entra el Yeso, siendo un Sulfato de Calcio hemihidratado ( $\text{CaSO}_4\cdot\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ), el cual posee propiedades cementante, el calcio presente en la composición atómica del yeso posee una carga positiva y los suelos expansivos contienen cargas negativas por lo tanto estos átomos son atraídos, llenando los vacíos de las partículas de los suelos finos plásticos.

La estabilización del suelo con Yeso no es muy común en la práctica y la información sobre su comportamiento es muy limitada. Sin embargo, ha sido de gran utilidad para la industria agrícola, siendo aplicado como Fertilizante, teniendo la capacidad de proporcionar una liberación continua de azufre y calcio en el suelo por un tiempo prolongado, dada su moderada solubilidad.

Aun sin estudios dedicados especialmente a la estabilización con Yeso, hacen mención de su aplicación para mejorar las características de Permeabilidad en el trabajo de grado de Marco Tulio Mata Montenegro; “Guía básica para la conformación de bases y subbases para carreteras en El Salvador”; septiembre de 2010; Pag. 85: “Permeabilidad: Se puede modificar sustancialmente la permeabilidad de los suelos por métodos tales como la compactación, la inyección, etc. En materiales arcillosos, el uso de defloculantes (por ejemplo, polifosfatos), floculantes (dióxido de cal o yeso) ...”

La mención de mayor peso acerca de estabilización aplicando Yeso, recae en un informe emitido por la Sociedad de Mineralogía de España (SEM) en la XXVI Reunión (SEM)/XX Reunión (SEA) 2006; “Efectos de la compactación y estabilización con cemento y cal en las propiedades mecánicas de filitas”; pagina 217: “*Sin embargo López-Lara, et al., 1999 en México encontraron que el yeso humedecido (4-6%) era el mejor estabilizante de suelos expansivos, seguido del poliuretano (6%) y de la cal (6-8%)...*”

En la mayoría de los casos de mejoras geotécnicas del suelo el objetivo del tratamiento es obtener uno o más cambios en las propiedades o condiciones del suelo. Para el caso de estabilización de subrasantes para su aplicación como caminos rurales se busca que la capa de rodadura posea una baja plasticidad (Utilizando agentes estabilizadores) y una capacidad de soporte aceptable, para poder soportar el intemperismo y aun ser apta para el paso de vehículos.

La solución que se aplicó durante años para aumentar la capacidad de soporte es adicionar materiales pétreos como las arenas y grava. Estos son aplicados sobre arcillas blandas o suelos orgánicos con el propósito de aumentar la resistencia y permitir una buena distribución de carga a los suelos blandos inferiores con costos relativamente bajos.

Siendo el único inconveniente que estos cambios en la capacidad de soporte de los suelos no han sido cuantificados

## 1.2 Situación problemática

Las vías rurales poseen gran importancia desde el punto de vista económico debido a que unen polos potenciales de desarrollo industrial, comercial y agrícola.

En la actualidad la mayoría de las vías rurales de la zona oriental de El Salvador no reúnen las condiciones adecuadas de funcionamiento.

El funcionamiento satisfactorio, a largo plazo, de proyectos de construcción de carreteras depende de la calidad de los suelos. La mayoría de los suelos al perder o recibir humedad sufren un cambio en sus propiedades físicas y mecánicas, que ocasionan problemas significativos en la infraestructura de carreteras. Con el diseño y técnicas de construcción apropiados se pueden reducir los cambios no deseados en los suelos utilizados.

El principal problema de los caminos rurales de la zona oriental es su alto nivel de plasticidad debido a que generalmente se encuentran conformadas por suelos expansivos. Estos suelos en temporada de invierno se hinchan debido a que en sus poros se infiltra el agua lluvia lo que ocasiona que la superficie del camino pierda consistencia además estos tipos de caminos no poseen cuerpo, generando que los caminos se hundan y queden prácticamente intransitables.



**Figura 1.1** Problema típico de empozamiento de Agua en caminos rurales durante temporada de invierno

Una buena técnica para controlar el comportamiento de los suelos es estabilizar los materiales a utilizar y mejorar la capacidad de soporte del suelo agregando materiales granulares.

El estudio de las propiedades del suelo es importante para diseñar una capa de rodadura, es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad tanto en su capacidad portante como en sus variaciones de volumen, estas variaciones pueden causar problemas a los conductores que transiten sobre esta, por esta razón se deberá utilizar un agente estabilizante para disminuir las variaciones expansivas provocadas por la humedad e incorporar un material granular para aumentar su capacidad de soporte dejando una superficie estable, resistente y confortable para el tránsito esperado.



**Figura 1.2** Tratamiento típico de Balastro utilizada como capa de rodadura en caminos rurales

### **1.3 Enunciado del problema**

A continuación, se presenta el Enunciado General del Problema y los Enunciados Específicos donde se involucran las variables a estudiar durante la investigación

#### **Enunciado general del problema**

¿Cuál es la relación entre el índice de plasticidad y la adición de yeso en porcentajes respecto a su peso del 0% al 10% en suelos expansivos y la capacidad de soporte con la adición de grava en porcentajes respecto a su peso del 0% al 30%?

#### **Enunciados Específicos del problema**

- ¿Cómo afecta al índice de plasticidad la adición de yeso al 2% con respecto a su peso en los suelos expansivos?
- ¿Cómo afecta al índice de plasticidad la adición de yeso al 4% con respecto a su peso en los suelos expansivos?
- ¿Cómo afecta al índice de plasticidad la adición de yeso al 6% con respecto a su peso en los suelos expansivos?
- ¿Cómo afecta al índice de plasticidad la adición de yeso al 8% con respecto a su peso en los suelos expansivos?
- ¿Cómo afecta al índice de plasticidad la adición de yeso al 10% con respecto a su peso en los suelos expansivos?

#### **1.4 Justificación del estudio**

Debido al alto porcentaje que representa las vías no pavimentadas es necesario mantenerlas en condiciones óptimas para el tránsito vehicular, con el propósito de conservar y mejorar la conectividad de las comunidades en nuestro país, la construcción y mejoramiento de dichas vías es de vital importancia para promover el desarrollo local.

Se estudiará la efectividad del yeso calcinado como un agente químico estabilizante de suelos plásticos y expansivos, se carece de información sobre su aplicación como estabilizante químico y se desconoce su efecto en propiedades físicas como el índice de plasticidad y mecánicas como la capacidad de soporte, el estudio de este material aporta información de la variación de esta propiedad y su aplicación busca mejorarlas.

Por lo tanto, a través del estudio de la adición de yeso y grava a suelos finos plásticos se contribuirá con una herramienta para enfrentar los problemas que ocasionan los suelos expansivos presentes en la subrasante y mejorar la transitividad vehicular, además servirá como guía para aquellas entidades que pretendan realizar obras civiles en suelos que presenten características similares y como antecedente para futuros estudios de otras propiedades de interés utilizando este agente químico.

El estudio de adición de yeso y grava a suelos finos plásticos es de gran importancia porque elaborara un documento que haga una recopilación de resultados de laboratorios actualizado que garantice la confiabilidad de los datos de acuerdo a un número mínimo de ensayos realizados y brinde una alternativa de solución a los suelos expansivos para ser estabilizados con yeso calcinado y obtengan las condiciones apropiadas para su uso como subrasante o capa de rodadura en caminos rurales y poder aprovechar el suelo existente.

Los resultados de laboratorio obtenidos servirán como parámetro de referencia para futuros estudios de agentes estabilizantes.

## **1.5 Objetivos de la investigación**

### **1.5.1 Objetivo General**

Medir la relación del índice de plasticidad de suelos finos plásticos con la adición de yeso y la capacidad de soporte con la adición de grava.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Clasificar el suelo de la calle de acceso norte de la ciudad universitaria oriental UES-FMO bajo las normas ASTM D 2487-00 y AASHTO M145.
- Determinar el índice de plasticidad de la dosificación suelo-yeso bajo la norma ASTM D 4318-00 empleando diferentes proporciones de yeso.
- Obtener un porcentaje de yeso entre las proporciones de 2%, 4%, 6% 8% y 10% el cual genere una mayor disminución del Índice de Plasticidad con respecto a las demás dosificaciones.
- Describir el comportamiento de la capacidad de soporte bajo la norma ASTM D 1883 al agregar diferentes proporciones de grava.

## 1.6 Alcances y Limitaciones

### 1.6.1 Alcances

- Se estudiaron 36 muestras de suelo obtenidas a una profundidad de 1 m a través de tres sondeos al inicio, al centro y al final de la calle de acceso norte de la ciudad universitaria oriental UES-FMO, el tramo de estudio comprende aproximadamente 320 m de longitud
- Se obtuvo el índice de plasticidad a través del ensayo de laboratorio de límites de Atterberg correspondiente a la norma ASTM D 4318-00 para la mezcla suelo más yeso en las proporciones 2%, 4%, 6%, 8% y 10% de peso seco con yeso calcinado para medir la variación del índice de plasticidad en cada dosificación.
- Se obtuvo la capacidad de soporte a través del ensayo de laboratorio CBR correspondiente a la norma ASTM D 1883 para la mezcla suelo estabilizado con yeso más grava en las proporciones 10%, 20% y 30% de peso seco con grava no. 2 para medir la variación del CBR en cada dosificación.
- Se realizó el ensayo método estándar para la determinación del tamaño de las partículas del suelo bajo la norma ASTM D 422-63.
- Se obtuvo la clasificación del suelo a través de los ensayos ASTM D 2487-00 y AASHTO M145.
- Se realizó un análisis de varianza para medir la relación entre el yeso e índice de plasticidad y se comprobará por medio de una prueba de hipótesis el efecto que produce la adición al suelo en estudio.

### 1.6.2 Limitaciones

- Se estudió únicamente el índice de plasticidad del suelo de la salida norte de la ciudad universitaria oriental UES-FMO.
- Se tomó una muestra no probabilística lo que impide generalizar los resultados a una población externa garantizando un nivel de confianza específico.
- Los porcentajes de yeso que se utilizaron son 0%, 2%, 4%, 6% y 10%, sin estimar los resultados empleando porcentajes mayores
- Se estudió la capacidad de soporte al emplear diferentes proporciones de material granular tomando como máximo el 30% del peso de la dosificación suelo estabilizado-grava sin considerar porcentajes mayores de acuerdo al procedimiento de la norma AASHTO T-180 para Proctor.
- Se estudió la capacidad de soporte CBR al mezclar el suelo con grava no. 2 sin considerar la granulometría de otros tipos de grava respetando los límites que establece el procedimiento de Proctor bajo la norma AASHTO T-180.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Generalidades del suelo**

El suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas solidas (M.DAS, 2001)

### **2.1.1 Formación del suelo**

El origen de los suelos se clasifica en: suelos residuales y suelos transportados. Los suelos residuales se originan cuando los productos de la meteorización de las rocas no son transportados como sedimentos, sino que se acumulan en el sitio que se va formando y los suelos transportados se originan cuando la desintegración y la descomposición de las rocas forman un manto no consolidado llamado regolito y son transportados por el agua, el viento o el hielo.

La formación del suelo se divide en dos grupos: desintegración mecánica y descomposición química, siendo la desintegración mecánica a la intemperización de las rocas por agentes físicos, tales como cambios periódicos de temperatura, acción de congelación del agua, efecto de organismo, entre otros.

Así mismo la descomposición química se entiende como la acción de agentes que atacan a las rocas modificando su constitución mineralógica o química. El principal agente es el agua y los mecanismos más importantes son la oxidación, la hidratación y carbonatación. Estos efectos se acentúan con los cambios de temperatura, por lo cual es frecuente encontrar formaciones arcillosas de importancia en zonas húmedas y cálidas, mientras que son típicas de zonas más frías formaciones arenosas o limosas.

## **2.2 Clasificación de los suelos**

Para conocer las propiedades mecánicas de los suelos es preciso un sistema de clasificación de suelos, debido que las propiedades mecánicas dependen de la distribución de las partículas constituyentes del suelo. Siendo el sistema de clasificación un ordenamiento del suelo en grupos según los diámetros de las partículas obtenidas en la separación de tamaños.

### **2.2.1 Clasificación de suelos en base a norma AASHTO M-145**

El sistema de clasificación AASHTO se usa principalmente para la clasificación de capas de carreteras.

El sistema de clasificación AASHTO cataloga el suelo en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2, A-3 son materiales granulares, donde 35% de las partículas o menos pasan de la malla No. 200. Los suelos que más del 35% pasa por la malla No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. La mayoría está formada por materiales tipo limo y arcilla. Los grupos de clasificación se presentan en la tabla 2.1

Clasificación General	Suelos granulares 35% máximo que pasa por el tamiz de 0.075 mm							Suelos finos Más del 35% que pasa por el tamiz 0.075			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
% que pasa por el tamiz de: 2 mm (No 10) 0.0425 mm (No 40) 0.075 mm N	50 max 30 max 16 max	50 max 10 max	... 51 max 10 max	... 35 max	... 35 max	... 35 max	... 35 max	... 36 min	... 36 min	... 36 min	... 36 min
Características de fracción que pasa el tamiz No 40 Limite liquido Indice de plasticidad	... 6 max		NP	40 min 10 max	41 max 10 max	40 min 11 min	41 min 11 min	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min
Tipos de materiales característicos	Piedras, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Estimación general del suelo	Excelente a bueno							Regular a malo			

**Tabla 2.1.** Clasificación de suelos en base a norma AASHTO M-145

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

El suelo A-1, es un suelo de propiedades óptimas para ser usado en las capas que conforman la estructura de un pavimento y en su orden ascendente de numeración, su comportamiento va decreciendo hasta llegar al suelo A-7, cuya aplicación en carreteras no es recomendable.

### **2.2.2 Criterios para la clasificación de suelos AASHTO**

Grava: fracción que pasa la malla de 75 mm y es retenida en la malla No.10 (2 mm)

Arena: fracción que pasa la malla No.10 y es retenida en la malla No.200

Plasticidad: El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor

Sin cantos rodados y boleos (tamaños mayores que 75 mm) están presentes, estos se excluyen de la porción de la muestra del suelo que se está clasificando. Sin embargo, este porcentaje del material se registra.

Este sistema es básicamente un sistema de clasificación de los diferentes tipos de suelos en 7 grupos, cada uno de estos grupos está determinado por ensayos de laboratorio, granulometría, límite líquido e índice de plasticidad.

Estos ensayos determinan el índice de grupo, número que clasifica a cada suelo, el cual está determinado por la siguiente fórmula empírica:

$$IG = (F - 35)(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

**IG:** índice de grupo (se informa en números enteros y si es negativo se informa igual a 0)

**F:** porcentaje que pasa por el tamiz N°200, expresado en número enteros.

**LL:** límite líquido

**IP:** índice de plasticidad

### 2.2.3 Clasificación de suelos SUCS (ASTM D-2487)

Este sistema fue propuesto por Arturo Casagrande como modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942 para aeropuertos.

Esta clasificación divide los suelos en:

- Suelos de grano grueso
- Suelos de grano fino
- Suelos orgánicos

La clasificación SUCS está basado en la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad. Los suelos según la SUCS se designan por un símbolo de dos letras, la primera considera que el principal componente de la tierra y la segunda describe informaciones de la curva granulométrica o características de plasticidad, siendo definidos por ensayo del análisis granulométrica y límites de Atterberg.

Los símbolos utilizados son:

**Tabla 2.2.** Prefijos y Sufijos para clasificación de suelos SUCS

Prefijos		Sufijos	
Simbología	Significado	Simbología	Significado
G	Gravel (Grava)	H	High plasticity (Alta Plasticidad)
S	Sand (Arena)	L	Low plasticity (Baja plasticidad)
M	Silt (Limo)	W	Well graded (Bien graduado)
C	Clay (Arcilla)	P	Poor graded (Mal graduado)
O	Organic Soil (Suelo Orgánico)		
PT	Peat Soil (Suelos altamente orgánicos)		

Con los prefijos y sufijos mencionados se pueden hacer combinaciones que ayudan a describir de mejor manera el suelo en cuestión.

#### 2.2.4 Criterio para la clasificación SUCS

Los suelos de grano grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No. 200.

Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50 % de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz No. 200 y fino si más del 50 % de sus partículas son menores que dicho tamiz.

### 2.2.4.1 Suelos gruesos

Se dividen en gravas y arena, se separan con el tamiz No.4, de manera que un suelo pertenece al grupo de grava si más del 50 % del material se retiene en el tamiz No. 4 y pertenece al grupo de arena en caso contrario.

### 2.2.4.2 Suelos finos

Se considera los suelos finos divididos entre: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas y limos y arcillas orgánicas (O).

Cada uno de estos se subdivide a su vez según su límite líquido, en dos grupos cuya frontera es  $Ll = 50\%$ . Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (low compresibility), si es mayor de 50 se añade la letra H (high compresibility).

Obteniéndose de este modo los siguientes tipos de suelos:

**Tabla 2.3.** Sub división de suelos finos según límites líquidos, sistema SUCS

<b>Subdivisión de suelos finos</b>	
<b>Simbología</b>	<b>Significado</b>
ML	Limo inorgánicos de baja compresibilidad
OL	Limo y arcilla orgánica
CL	Arcilla inorgánica de baja compresibilidad
CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad
MH	Limos inorgánicos de alta compresibilidad
OH	Arcillas y limos orgánicas de alta compresibilidad

Tabla 2.4. Sistema unificado de clasificación de Suelos (SUCS)

División principal		Símbolo del grupo	Nombres típicos	Criterios de clasificación			
SUELO DE GRANO GRUESO 50% o más es retenido en el tamiz 200	GRAVAS 50% o más de la fracción gruesa es retenida en el tamiz #4	GW	Gravas bien graduadas y mezcla de arena y grava con pocos finos o sin finos	Clasificación basada en el porcentaje de finos Menos del 5% pasa por el tamiz No 200 GW, GP, SW, SP Más del 12% pasa por el tamiz No 200 GM, GS, SM, SC 15% a 12% pasa por el tamiz No 200 Para clasificación de frontera se necesitan símbolos dobles	$Cu \frac{D60}{D10}$ Mayor que 4	$Cc \frac{D30^2}{D10 * D60}$ Entre 1 y 3	
		GP	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal graduadas con pocos finos o sin finos		Si los criterios para GW no se cumplen		
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava- arena y limo		Límites de Atterberg debajo de la "línea A" o LP menor que 4	Arriba de la "línea A" y con LP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles	
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena y arcilla		Límites de Atterberg arriba de la "línea A" con LP mayor que 7		
	ARENAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en el tamiz #4	GRAVAS CON FINOS	SW		Arenas gravosas bien graduadas con pocos finos o sin finos	$Cu \frac{D60}{D10}$ Mayor que 6	$Cc \frac{D30^2}{D10 * D60}$ Entre 1 y 3
			SP		Arenas gravosas mal graduadas con pocos finos o sin finos	No satisface todos los requisitos de graduación para SW	
		ARENAS LIMPIAS	SM		Arenas limosas, mezclas de arena limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o IP menor a 4	Por encima de la línea A con IP entre 4 y 7; casos límites requieren el uso de símbolos dobles
			SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o IP mayor a 7	
SUELOS DE GRANOS FINOS 50% o más pasa por el tamiz No 200	LIMOS Y ARCILLAS Limite líquido de 50% o inferior	ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas	<p style="text-align: center;">Grafico de plasticidad segun SUCS</p>			
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla				
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad				
	LIMOS Y ARCILLAS Limite líquido superior a 50%	MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o diatomáceos, más elásticos				
		CH	Arcillas orgánicas de alta plasticidad, arcillas francas				
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.				
		PT	Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos			Para la identificación visual y manual, véase ASTM norma D 2488	

### 2.3 Arcillas y su clasificación

Los minerales arcillosos son complejos silicatos de aluminio compuesto de una o dos unidades básicas:

- Tetraedro de sílice: Consiste en 4 átomos de oxígeno que rodean a 1 átomo de silicio, a la combinación de varios tetraedros de Sílice se les conoce como Lámina de Sílice.
- Octaedro de alúmina: Consiste en 6 hidroxilos que rodean 1 átomo de aluminio, la combinación de varios octaedros de aluminio se le conoce como Lamina Octaédrica o lamina de Gibbsita

Entre los minerales arcillosos más comunes se encuentran la caolinita, la ilita y la montmorillonita

- La caolinita: Consiste en capas repetidas de láminas de sílice-gibbsita y se mantienen unidas entre sí por enlaces hidrogenitos
- La ilita: Consiste en una lámina de Gibbsita enlazada a 2 láminas de sílice una arriba y otra abajo (mica arcillosa) las capas de ilita están enlazadas entre sí por iones de potasio
- La montmorillonita: Posee una estructura similar a la Iilita, es decir, 1 lamina de Gibbsita intercalada entre 2 láminas de sílice. Es el tipo de arcilla que posee alta plasticidad gran expansión al humedecerse y contracción al secarse.

La diferencia entre la montmorillonita y la ilita radica en la sustitución isomorfa la cual consiste en la sustitución de un ion en la red cristalina por otro de tamaño similar, de manera que no hay alteración de la estructura cristalina, en el caso de la ilita se sustituye un átomo de aluminio por silicio en las lamina tetraédrica y en la montmorillonita la sustitución isomorfa ocurre con los átomos de magnesio y hierro por aluminio en las láminas octaédricas, además en

la montmorillonita no se encuentran presenten los iones de potasio y en lugar de esos una gran cantidad de agua es atraída hacia los espacios de la capa.

### **2.3.1 Efecto del agua en las arcillas**

Las partículas de arcilla llevan una carga neta negativa sobre la superficie, resultado de la sustitución isomorfa y de una ruptura en la continuidad de la estructura en sus bordes. Cargas negativas mayores se derivan de superficies específicas mayores. Algunos lugares cargados positivamente ocurren también en los bordes de las partículas.

En arcillas secas, la carga negativa es balanceada por cationes intercambiables, como  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^{++}$ ,  $\text{K}^{+}$  que rodean a las partículas mantenidas juntas por atracción electrostática. Cuando se agrega agua a las arcillas, esos cationes y un pequeño número de aniones flotan alrededor de las partículas de arcilla. A esto se le llama capa difusa doble. La concentración de cationes decrece con la distancia desde la superficie de la partícula.

Las moléculas de agua son polares. Los átomos de hidrogeno no están dispuestos de manera simétrica alrededor de un átomo de oxigeno; más bien, forman un ángulo de enlace de  $105^\circ$ . En consecuencia, una molécula de agua actúa como una pequeña barra con carga positiva en un extremo y una carga negativa en el otro y esto se conoce como dipolo.

El agua dipolar es atraída por la superficie cargada negativamente de las partículas de arcilla y por los cationes en la capa doble. Los cationes a su vez son atraídos a las partículas de suelo. Un tercer mecanismo por el cual el agua es atraída a las partículas de arcilla es el enlace hidrogenito, en el que los átomos de hidrogeno en las moléculas de agua son compartidos con átomos de oxígeno sobre la superficie de la arcilla. Algunos cationes parcialmente hidratados en el agua de poros son también atraídos a la superficie de las partículas de arcilla. Estos cationes

atraen a las moléculas de agua dipolar. La fuerza de atracción entre el agua y la arcilla decrece con la distancia desde la superficie de las partículas. Toda el agua mantenida unida a las partículas de arcilla por fuerza de atracción se conoce como agua de capa doble. La capa interior del agua de capa doble, que se mantiene unida muy fuertemente por la arcilla, se conoce como agua adsorbida y es más viscoso que el agua libre. La orientación del agua alrededor de las partículas de arcilla da a los suelos expansivos sus propiedades plásticas

#### **2.4 Caracterización de la arcilla según el índice de plasticidad.**

El contenido límite de agua entre dos estados se le conoce como límites de atterberg, los tres límites de atterber son limite liquido (LL), limite plástico (PL) y límite de contracción (SL).

A la diferencia entre el LL y LP se le conoce como IP (índice de plasticidad). En 1949 Donal Bumister clasifico el suelo en base el índice de plasticidad en una manera cualitativa tal como: 0 para no plástico, 1-5 para un poco plástico, 5-10 por baja plasticidad, 10-20 para media plasticidad, 20-40 para alta plasticidad y >40 para muy alta plasticidad

**Tabla 2.5.** Caracterización de las arcillas según su índice de plasticidad

<b>Grado de superposición de plasticidad</b>	<b>IP</b>
No plástico	0
Ligeramente plástico	1-5
Baja plasticidad	5-10
Media plasticidad	10-20
Alta plasticidad	20-40
Muy alta plasticidad	>40

## 2.5 Propiedades físicas de los suelos

El estudio adecuado de las condiciones de un tipo de suelo, constituyen una fuente de conocimientos muy importante, ya que de otro modo puede conducir a dar conclusiones erróneas. Los esfuerzos para reducir los riesgos inherentes en todo trabajo con suelos, consiste en determinar las propiedades que nos permitan diferenciar los distintos comportamientos y tipos de suelos. Las propiedades en que se basa dicha diferenciación se conocen como propiedades físicas de los suelos.

Las propiedades físicas de los suelos, son aquellas que nos proporcionan criterios para distinguir entre diferentes tipos de suelos y nos dan instrucciones para describir los suelos en forma adecuada

Algunas de las propiedades físicas de los suelos, son las mencionadas a continuación:

- Contenido de humedad
- Gravedad específica del suelo
- Límites de Atterberg
- Densidad de un suelo

### **2.5.1 Contenido de humedad de un suelo**

El contenido de humedad ( $w$ ) de un suelo, se define como la relación entre la masa del agua contenida en el suelo y la masa seco y comúnmente se expresa como porcentaje.

La determinación del contenido de humedad de una muestra de suelo puede ser realizada por diferentes métodos entre los cuales se tienen:

- Método de laboratorio (ASTM D 2216)
- Método de calentamiento directo (ASTM D 4959)
- Método de calentamiento con horno microonda (ASTM D 4643)

### **2.5.2 Determinación de la gravedad específica del suelo (ASTM D 854)**

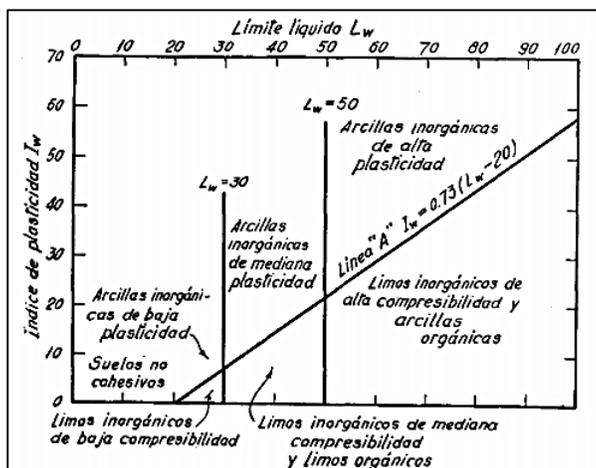
Este ensayo permite hallar la cantidad de vacíos que hay en un determinado suelo, conocido también como “densidad de los sólidos o peso específico relativo” y se define como el peso unitario del material, dividido por el peso unitario del agua destilada a 4 grados Centígrados. Se representa por  $G_s$ , pudiéndose calcular utilizando cualquier relación de peso de la sustancia a peso del agua, siempre y cuando se consideren volúmenes iguales de material y agua.

### **2.5.3 Límites de Atterberg (ASTM D 4318)**

Los suelos cohesivos según su naturaleza y cantidad de agua que contienen pueden presentar propiedades que los incluyan en estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de humedad límite al que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro.

El método de Atterberg es utilizado para medir los límites de consistencia antes mencionados y los Límites de Atterberg miden el contenido de agua con los cuales se producen los cambios de estado.

Los límites de Atterberg que se obtienen en el laboratorio son el límite líquido y límite plástico, los cuales mediante la Carta de plasticidad se pueden correlacionar varios parámetros físicos del suelo



**Figura 2.1** Carta de plasticidad

**Fuente:** Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica (Terzaghi and Peck)

En la carta de plasticidad, las abscisas representan el límite líquido y las ordenadas el índice de plasticidad. Dicho gráfico está dividido en seis regiones, tres de ellas situadas por encima de la línea A y las otras 3 por debajo. Todos los puntos que representan las arcillas inorgánicas están situados por encima de la línea A, mientras que los puntos que representan los limos inorgánicos están situados por debajo.

#### 2.5.4 Densidad de un suelo

En general, la compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere de energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco.

Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, esta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre si y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de humedad

Cualquier incremento en el contenido de agua tiende a reducir el peso específico seco, debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas. El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco se llama contenido de agua óptimo.

La prueba de laboratorio usada generalmente para obtener el peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo es la prueba Proctor de compactación.

Los ensayos de compactación en laboratorio pueden ser de dos tipos Proctor Estándar (ASTM D-698) o Proctor Modificado (ASTM 1557). Las pruebas de proctor son muy similares, pero en el Proctor Modificado se aumenta la capacidad del molde como la energía de compactación y en lugar de usar 3 capas (Proctor Estandar) se compactan 5 capas.

## 2.6 Propiedades mecánicas del suelo

El suelo es un material no homogéneo, el cual se encuentra en constante cambio de volumen ya sea por las distintas cargas impuestas sobre él (dinámicas como el tráfico o estáticas como serían las estructuras rígidas) o por la humedad que se infiltra por sus poros.

Las propiedades mecánicas que sirven para el cálculo de estabilidad de las fundaciones o estructuras son:

- La resistencia al corte: Es la resistencia interna por unidad unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de él. Medida por la cohesión ( $c$ ) y el ángulo de fricción interna ( $\phi$ )
- La deformación del suelo: Medida por los asentamientos ( $\Delta a$ ) y el coeficiente de consolidación ( $C_c$ )
- La permeabilidad: Es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire a través de sus poros. Medida por el coeficiente de permeabilidad ( $k$ )

Las propiedades mecánicas son de gran interés en el estudio del comportamiento de los suelos, cuando estos se encuentran sometidos a diferentes tipos de cargas. Para determinar dichas propiedades es necesario realizar diferentes ensayos entre los que se tienen:

- Prueba de compresión triaxial
- Ensayo de corte directo
- Prueba de Penetración Estándar (SPT)
- Relación de Soporte de California (CBR)

### **2.6.1 Relación de Soporte de California (CBR) ASTM D 1883**

El ensayo de CBR mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El CBR es un ensayo de carga que usa un pistón metálico circular para penetrar el material compactado en un molde a una velocidad constante de penetración. Las muestras elaboradas para ensayar se compactan a su humedad óptima y se sumergen en agua durante un periodo mínimo de 96 horas, antes de proceder a su ensayo, con el objeto de simular las condiciones de saturación a las cuales van a estar sometidos los suelos, durante la inmersión se colocan pesos sobre las muestras, con el objetivo de simular cargas externas como podría ser una estructura de concreto o cargas vehiculares.

Un suelo de uso agrícola puede tener un CBR de 3, un suelo arcilloso 4.75, un suelo arenoso 10, las rocas por encima de 80 un suelo bien compactado posee valores superiores a 100.

La capacidad portante es la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. El ensayo CBR (California Bearing Ratio; Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones controladas de humedad y densidad, para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Cuanto más elevado es el CBR más capacidad portante tiene el suelo.

### **2.7 Estabilización de los suelos**

La estabilización de suelos se define como mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos.

**Fuente:** (Ballena del rio, Pedro, 2003, Universidad Señor de Sipam, facultad de ingeniería, arquitectura y urbanismo)

Un suelo estable es aquel que presenta la resistencia suficiente para no sufrir deformaciones ni desgastes por la acción del uso o de los agentes atmosféricos y climatológicos. Cuando el suelo natural presenta estas características, se considera utilizable para la pavimentación de un camino, pero en algunas ocasiones, cuando el suelo natural no cumple con las características requerida para que sea apto, características tales como:

Características de estabilidad volumétrica

- Resistencia
- Permeabilidad
- Compresibilidad
- Durabilidad.

Se debe de decidir entre: aceptar el suelo tal y como esta, tomando en cuenta su calidad; eliminar el suelo no apto y remplazarlo por otro que cumpla las especificaciones; o modificar las propiedades del suelo no apto y hacerlo capaz de cumplir los requerimientos, usando para ello el método de la estabilización.

## **2.8 Tipos de estabilización**

### **2.8.1 Estabilización física**

Este tipo de estabilización se utiliza para mejorar las características de un suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Algunos de los tipos de estabilización física son:

- Mezclas de suelos
- Vibro flotación
- Consolidación previa
- Geotextiles

### 2.8.2 Estabilización mecánica

Se define como un método de mejoramiento de las propiedades de los suelos a partir de ejercer una acción mecánica de corta duración de manera repetida sobre una masa de suelo parcialmente saturado, para esta acción se utiliza equipos llamados compactadores, los cuales tienen como fin lograr aumentar la resistencia al corte. La técnica reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo logrando así una mayor densidad y una mejor distribución de las fuerzas que actúan sobre el suelo para asimismo tener mayor estabilidad, evitando posibles asentamientos.

Los factores que intervienen en el proceso de compactación de los suelos son:

- Las características físicas de los suelos
- El equipo de compactación
- La forma de empleo del equipo seleccionado para un tipo de suelo en particular.

Entre los procedimientos de estabilización mecánica tenemos:

- **Amasado:** se suele usar rodillos de pata de cabra, se utilizan para suelos finos cohesivos.
- **Impactos de carga:** se utilizan pisones los cuales combinan el impacto, la vibración y el mezclado; son perfectas para áreas confinadas y se utilizan para compactar suelos finos.
- **Vibración:** se usan rodillos vibratorios para ayudar al reacomodo de las partículas
- **Métodos mixtos:** la combinación de los anteriores procedimientos.

### **2.8.3 Estabilización química**

Se usa por la adición de agentes estabilizantes químicos específicos; comúnmente se usa cemento, cal, asfalto, cemento portland, entre otros. Con esta tecnología de estabilización se busca generar una reacción química del suelo con el estabilizante para lograr la modificación de las características y propiedades del suelo; y así darle mayor capacidad de respuesta a los requerimientos de carga dinámica a los que estará sometido.

Los estabilizadores químicos pueden tener tres categorías:

Para cubrir e impermeabilizar los granos del suelo o proveer de fuerza cohesiva.

Para formar una adhesión cementante entre las partículas del suelo; proporcionándoles fuerza y durabilidad.

Para suelos finos tipo arcillas; generar una alteración en naturaleza del sistema agua-arcilla, con la cual se tendrán como resultado una baja en la plasticidad; posibles cambios de volumen; hará que se formen uniones cementantes y por último se mejorara la resistencia aumentándola.

## **2.9 Estabilización química de suelos empleando yeso.**

### **2.9.1 Generalidades del yeso**

El yeso tradicional o artesanal fue el primer tipo o generación de yeso producido como material de construcción elaborado partir de la cocción y pulverización de las piedras de yeso o aljez.

La eficiente deshidratación parcial del yeso a baja temperatura, le hizo ideal para la albañilería producto de la necesidad de conglomerante adecuado para unir piezas y revestir paramentos, convirtiéndose quizás en el primer material artificial.

El yeso tradicional se caracteriza principalmente por sus técnicas de extracción, proceso de fabricación y la multiciplidad de usos tales como guarnecidos y enlucidos, pavimentos, estucos, mortero de albañilería y encañizados. Aparentemente tiene mayor durabilidad y resistencia a las condiciones climáticas, puesto que consta en diversos estudios, el mismo se ha utilizado en siglos pasados para revestimiento exteriores. (Arauz,2009)

Desde el punto de vista científico el yeso, es un producto multifase producido por la calcinación de aljez o piedra de yeso.

El aljez es un sulfato cálcico cristalizado con el agua, en la proporción de dos moléculas de agua por cada una de sulfato cálcico. Como mineral, es una roca de origen sedimentario, evaporita, que se forma por evaporación de las sales disueltas en el agua del mar o en lagos salados que precipitan formando depósitos sedimentarios llamados evaporitas. (M. Camen Diez Reyes, 2004)

Con una densidad de 2.31, el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) se distingue en mineralogía como cal sulfatada o sulfato de cálcico dehidratado. Su composición es la siguiente:

- Acido sulfurico 46%
- Agua 22%
- Cal 32%

Existe otra especie conocida como anhidro sulfatada o anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) formada por 41.2% de CaO y un 58.8% de  $\text{SO}_3$ . Que es mas dura que la cal sulfatada y la carbonatada.

Como producto industrial, es sulfato de calcio hemihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) conocido popularmente como “yeso cocido”.

La producción de distintas tipologías de yeso tales como yeso deshidratado, yeso hemidrato, yeso hemidrato $\beta$ , anhidrita III, anhidrita III  $\beta$  iran en función de la temperatura de coccion del mismo. En consecuencia, estas variedades de yeso cocido poseen propiedades distintas de dureza, fraguado.

## **2.9.2 Características y propiedades del yeso**

### **2.9.2.1 Propiedades físicas del yeso**

El yeso siendo un material muy versátil para determinado tipo de trabajos, permite distintos tratamientos los cuales cabe destacar: los endurecedores y los impermeabilizantes. Estos tratamientos se pueden llevar a cabo en el momento de la preparación o a posteriormente.

#### **Textura.**

La textura del yeso calcinado es igual que cualquier polvo, fino y suave. Puede ser fácilmente tamizado.

#### **Color.**

El color del polvo de yeso es de color blanco, pero eso no significa que el mineral de yeso es siempre blanco. Minerales de yeso pueden ser una variedad de diferentes colores como gris, amarillo, rojo y marrón

#### **Densidad.**

La densidad del polvo del yeso es de 2.8 a 3 gramos por centímetro cubico. La densidad aparente del polvo de yeso es de alrededor de 881 kg por metro cubico, o 55 libras por pie cubico.

### 2.9.2.2 Características físicas del yeso

#### **Finura.**

La finura de molido influye en gran parte en las propiedades que adquiere el yeso al volverlo a hidratar. Cuando mayor sea el grado de finura del yeso, más completa será la reacción y consecuentemente, la calidad del producto obtenido.

#### **Velocidad de fraguado.**

El yeso se caracteriza por fraguar con rapidez, por lo que es recomendable para su uso hidratarlo en pequeñas cantidades. Esta propiedad depende de tres factores:

- El propio yeso (grado de finura, pureza)
- Las condiciones de hidratación (la temperatura del agua, la concentración del yeso en el agua, el modo de amasar la pasta al hidratarlo)
- Agentes externos como la humedad o la temperatura

## 2.10 Aplicaciones del yeso

**Tabla 2.6.** Aplicaciones del yeso en los diferentes ámbitos

Ámbito	Campo	Aplicación	Observaciones
Construcciones	Industria de la construcción	Revestimiento	Yeso en polvo de aplicación manual de proyección mecánica. Especiales antifuego
		Prefabricados	Placas laminadas
			Ladrillos/bloques
			Molduras
		Otros materiales compuestos	Adobes estabilizados con yeso
			Placas para tabiques y cielorrasos
		Sanitarios	Artefactos para baños
	Pinturas y masillas	Carga mineral	
	Adhesivos y morteros especiales	Carga mineral	
	Industria del cemento	Cemento portland	Componente secundario, regulador del fraguado
Geotecnia	Suelos/taludes	Estabilización	
Ingeniería vial	Base/sub-bases	Regulador de humedad	
	banquinas	Facilitador de lixiviado para las aguas del deshielo	
Agropecuario	Ingeniería agronómica	Suelos	Fertilizantes
	veterinaria	Lechos de animales	Absorción de humedad, reductor de olores de heces
Medio ambiente	Ingeniería ambiental	Remediación	Metales pesados
			Tratamiento de aguas
			Secado de lodos
			Recuperación de minas
			Eutrofización
Salud	Medicina		Moldes ortopédicos
	Odontología		Moldes odontológicos, pastas dentífricas
	farmacia	desinfectante	
Otros	Industria del papel	papel	Carga mineral
	Industria de la cerámica	Moldes, tizas, esculturas	
	bebidas	Elaboración de vino	Regulador del pH del mosto
		Elaboración de cerveza	Aditivo floculante
	Insecticidas	Polvo para pulgas	Carga mineral
	Plásticos y vidrios		Carga mineral
	Fundiciones	Moldes	Yeso de fundición
	Deportes	Campos atléticos	Demarcación sustituyente de la cal
	Varios	talleres	Absorción de grasas

## **2.11 Roca y agregados**

### **2.11.1 Roca.**

Son agregados de partículas minerales de dimensiones apreciables y de forma indeterminada. Los materiales derivados de las rocas, y que se emplean habitualmente en la construcción, reciben el nombre genérico de piedra.

Las rocas se extraen de las canteras o excavaciones. Arrancándolas por medio de máquinas (piedras blandas), o por voladuras (piedras duras). En ambos casos se obtienen grandes bloques de roca sin una forma determinada. Para su uso en construcción es necesario realizar en primer lugar un desbaste, que es eliminar las partes más bastas de los bloques y prepararlas para la labra, que consiste en darles las dimensiones y formas requeridas.

Los métodos de explotación para la obtención de las rocas que se realizan en entorno

- Explotación a cielo abierto: se realiza cuando la cantera se encuentra a poca Profundidad.
- Explotación subterránea: se lleva a Cabo en el caso que la cantera se encuentre a una considerable profundidad.

### **2.11.2 Aplicaciones de las rocas**

En la actualidad, las rocas se emplean en la construcción como elemento resistente, decorativo en el recubrimiento de paredes y suelos, y como materia prima para la fabricación de otros materiales como cementos, piezas de cerámicas, etc., siendo este último su principal aplicación.

**Tabla 2.7.** Aplicación de las rocas según su tipo

<b>Roca</b>	<b>Aplicación.</b>
Roca calza carbonato cálcico	Muros de edificios. Fabricación de cemento.
Mármol	Suelos. Recubrimiento de paredes. Ornamentación en paredes fechadas.
Granito	Fabricación de concreto. Pavimentos. Muros de edificios. Encimeras de cocina.
Pizarra (arcilla, cuarzo y mica)	Cubiertas de edificios
Piedra manzana	Cimientos sobre cimientos.

### 2.12 Agregados.

Se denomina grava o agregado grueso a las partículas rocosas de tamaño mayor a 5 mm. Pueden ser producidas por el hombre, en cuyo caso suelen denominarse piedra partida o chancada y también naturales, en cuyo caso, suele suceder que el desgaste natural producido por el movimiento en los lechos de ríos haya generado formas redondeadas y se denominan canto rodado.

Las gravas recomendadas para su utilización pueden ser de origen silíceo (de río o cantera), de origen volcánico (basalto, andesita, etc.), o también calizas sólidas. En cambio, gravas de origen sedimentario (dolomitas) o volcánicas sueltas (pómez. toba, etc.) deben ser analizadas previamente. No deben emplearse gravas que provengan de calizas blandas, feldspatos, yesos, piritas o rocas friables, ni porosas.

La arena o agregado fino son las partículas cuyo tamaño es menor a 5 mm Dentro de este rango, las partículas mayores a 2 mm se denominan arenas gruesas y las menores arenas finas, Partículas menores a 008 mm se denominan finos de arena. Su aplicación o no en el concreto depende de su procedencia al igual que la grava.

Se pueden distinguir como fuentes de abastecimiento:

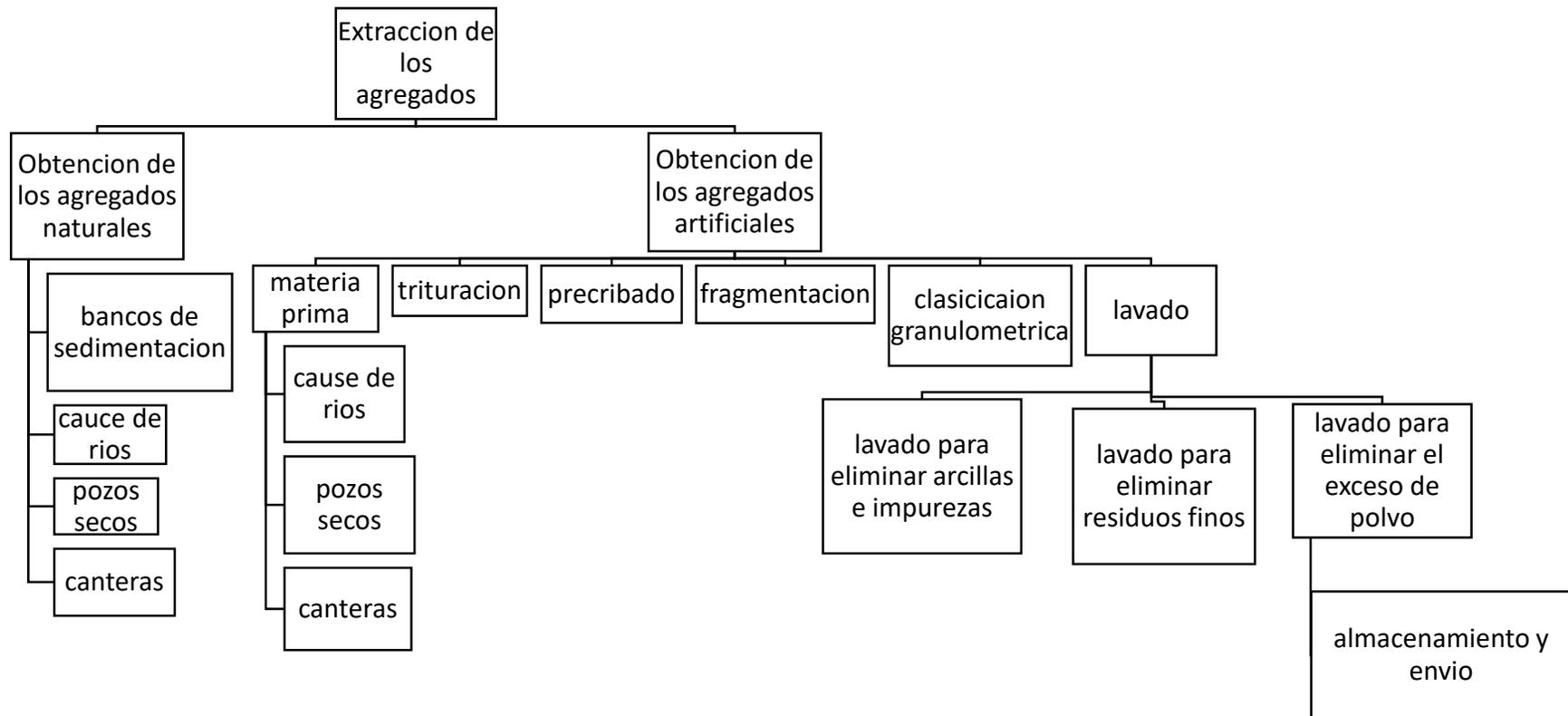
**Bancos de sedimentación:** Son los bancos construidos artificialmente para embancar el material fino-grueso que arrastran los ríos.

**Cauce de río:** Corresponde a la extracción desde el lecho del río, en los cuales se encuentra material arrastrado por el escurrimiento de las aguas.

**Pozos secos:** Son zonas de antiguos rellenos aluviales en valles cercanos a ríos.

**Canteras:** Son lugares de explotación de los mantos rocosos o formaciones geológicas, donde los materiales se extraen usualmente desde cerros mediante lo que se denomina tronadura o voladura (rotura mediante explosivos).

A continuación, observa un esquema que resume el proceso de extracción y tratamiento de los agregados detallada anteriormente



**Figura 2.2** Extracción y tratamiento de los agregados

## 2.13 Grava

**Grava redondeada o canto rodado:** Estos áridos son partículas granulares de material pétreo de tamaño variable. Este material se origina por fragmentación de las distintas rocas de la corteza terrestre. Estas gravas dan como resultado hormigones más dóciles y trabajables y requieren menos cantidad de agua que las gravas chancadas

**Grava chancada o artificial.** En este caso actúan los procesos de chancado o triturado utilizados en las respectivas plantas de áridos. El material que es procesado, corresponde principalmente a minerales de caliza, granito, dolomita, basalto, arenisca, cuarzo y cuarcita. Estas gravas tienen una mayor trabazón, otorgando al hormigón mayor resistencia mecánica y química

### 2.13.1 Aplicaciones de la grava

Las gravas tienen distintas aplicaciones en la construcción, dependiendo de su clasificación (chancada o canto rodado) y gradación. Las principales aplicaciones se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 2.8.** Aplicaciones de gravas de diferentes granulometrías.

<b>Tipo de grava</b>	<b>Gradación</b>	<b>Aplicación</b>
Chancada	1 ½" a 7/8"	Tiene una calidad muy alta, normalmente se utiliza en calles de concreto y rampas para cochera.
Chancada	¾" a 3/8"	Es una grava uniforme un poco más gruesa y casi no tiene finos, su calidad es muy alta, es utilizada principalmente por contratistas que necesitan mantener una excelente calidad en sus colados.
Chancada	¾" a 1/4"	Material con mayor demanda en construcción de vivienda y edificación en general, su calidad es muy alta, su característica principal es que tiene mucho porcentaje de granulometría pequeña
Chancada	¾" a 3/4"	Ésta compuesta de grava triturada y sin triturar, su calidad es alta, es recomendable para firmes, colados para dalas.
Chancada (Gravilla)	½"y sello de 3/8"	Generalmente es utilizada en carreteras (es la gravilla que ponen al último en las carreteras), su calidad es muy alta.
Rodada	1 ½" a 1/4"	Su calidad es media por lo tanto su precio es más económico, puede servir para hacer losas gruesas, rampas para cocheras que no requieran tanta resistencia, algunos contratistas lo utilizan para techos.
Rodada	¾" a 1/4"	De calidad media, es recomendable para fines que no requieran de tanta resistencia (pisos). también es utilizada para aceras.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO METODOLÓGICO**

### 3.1 Marco referencial

En el desarrollo de la investigación se trabajarán con las normas internacionales ASTM y AASHTO que garantizan un correcto y apropiado uso del equipo permitiendo obtener datos más reales lo que asegurara un grado de confiabilidad mayor

**Tabla 3.1.** Marco referencial de ensayos a realización en Laboratorio

<b>Norma</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Descripción</b>
ASTM C 702 – 01	Especificación de las muestras de agregados a tamaño de prueba	Esta normativa sirve para reducir una muestra de campo a un tamaño representativo para poder realizar otros tipos de ensayos
ASTM D 2216 - 19	Método de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua de suelos y rocas por masa	Este método de prueba cubre procedimientos para determinar el contenido de agua de los suelos mediante el secado con calor directo, con el uso de una placa calefactora o estufa
ASTM D – 854	Especificación estándar para la determinación de la gravedad específica de los suelos	Este método de ensayo tiene como objetivo determinar la gravedad específica (GS) de los suelos que pasan el tamiz 4.75 mm (Nº 4) por medio de un picnómetro.
ASTM D 422 - 63	Determinación del tamaño de las partículas de suelo	Este ensayo nos permite conocer el tamaño de las partículas de una muestra representativa de suelo en donde se divide en dos porciones una con partículas mayores a 2 mm y otra con partículas menores de 2 mm, en donde la primera es cribada por un juego de tamices y la segunda se mezcla con agua para formar una lechada.
ASTM D 4318	Método de prueba estándar para limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de suelos	se utilizan para caracterizar el comportamiento de los <u>suelos finos</u> , miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad

AASHTO M 145	Especificación estándar para la clasificación de suelos y mezclas de suelo agregado para fines de construcción de carreteras	Esta práctica recomendada describe un procedimiento para clasificar los suelos en siete grupos según la determinación de laboratorio de la distribución del tamaño de partícula.
ASTM D 2487	Sistema unificado de clasificación del suelo (SUCS)	El método SUCS clasifica a los suelos en dos grandes categorías principales: los suelos que más del 50% de sus partículas son retenidos en la malla N°200 son considerados como suelos de grano grueso, en los que se puede encontrar arena y/o grava. Por otro lado, los suelos que más del 50% de sus partículas logran pasar la malla N°200 son considerados suelos finos
AASHTO T 180	Método de prueba estándar para las características de compactación de laboratorio del suelo	Esta norma cubren los métodos de compactación de laboratorio utilizados para determinar la relación entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos
ASTM D 1883	Método de prueba estándar para California Bearing Ratio (CBR) de suelos compactados en laboratorio	Este método de prueba proporciona la determinación de la CBR de un material con un contenido óptimo de agua o un rango de contenido de agua a partir de una prueba de compactación especificada y un peso unitario seco especificado.

### 3.2 Enfoque de la investigación

La investigación es de enfoque cuantitativo, debido a que recolecta datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico

### 3.3 Alcance de la investigación

Esta investigación tiene un alcance descriptivo, consiste en estudiar las propiedades de plasticidad y capacidad de soporte de suelos finos plásticos al mezclarse con Yeso y Grava para su uso como capa de rodadura en caminos rurales. Hernández Sampieri, Roberto/Fernández Collado, Carlos/Baptista Lucio, Pilar (2010) define el alcance de una investigación descriptiva que “busca especificar propiedades, características y rasgos importante de cualquier fenómeno que se analice” (p.85).

### 3.4 Proceso de selección de las unidades de análisis

Se tomará una muestra a través de 4 calicatas, el método de selección de esta muestra es “no probabilístico” debido a que se realizara en puntos dirigidos tomando criterios geotécnicos. De acuerdo a la literatura de Metodología de la Investigación de Sampieri este tipo de muestra no es representativa de la población total por no ser posible calcular con precisión el error estándar ni el nivel de confianza del estudio suponiendo una limitación para la investigación no poder generalizar los resultados a la población garantizando un nivel de confianza.

### 3.5 Método de muestreo

Se tomará como universo el suelo existente en la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental ubicado en la salida norte.

Braja M. Das (1999) menciona que “*no existen reglas fijas para la separación de los barrenos, el espaciamiento incrementa o disminuye dependiendo de la condición del subsuelo*” el tramo en estudio tiene 300 metros aproximadamente, Das propone una separación aproximada entre 250 metros y 500 metros para proyectos de carreteras o calles, respetando estos criterios se

realizaran 3 extracciones a la misma distancia, una extracción en cada extremo y al centro del tramo.

**Tabla 3.2.** Separación aproximada de perforaciones

<b>Tipo de proyecto</b>	<b>Separación (m)</b>
Edificio de varios niveles	10 – 30
Plantas industriales de un piso	20 – 60
Carreteras	250 – 500
Subdivisión residencial	250 – 500
Presas y diques	40 – 80

**Fuente:** fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das

Debido al tamaño de la muestra que se requiere para su estudio en laboratorio se realizarán posos a cielo abierto, que posteriormente se reducirán bajo el procedimiento de cuarteo a tamaño de ensayo.

### 3.6 Criterios de inclusión

Se incluyeron en la investigación suelos finos plásticos clasificados de acuerdo al sistema AASHTO como arcillas con un índice de plasticidad igual o mayor a 11. De acuerdo a Braja M. Das (1999) *“El termino arcillosos se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor”* (p.37)

### 3.7 Unidades de análisis

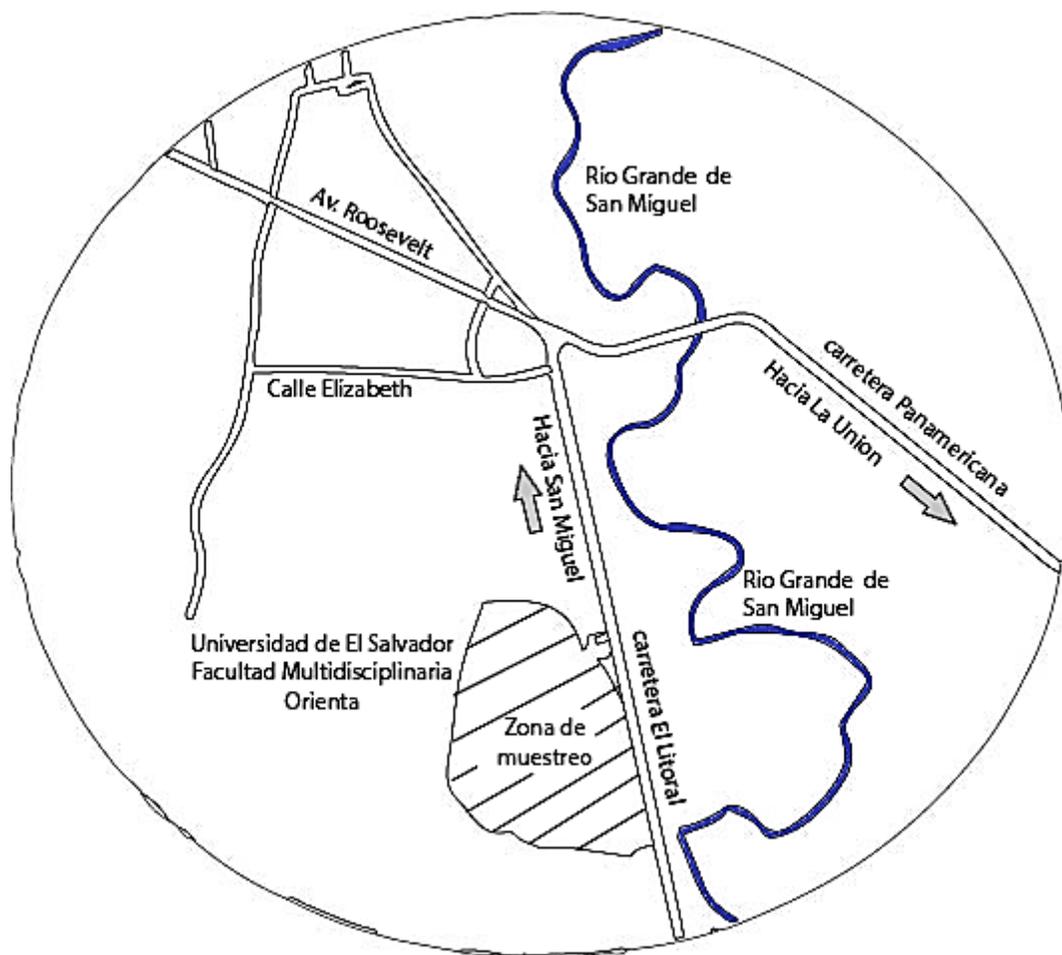
El objeto de análisis de la investigación es el suelo fino plástico presente en la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental con características de plasticidad de suelos expansivos

La unidad de análisis se define como la cantidad de suelo tamaño de ensayo suficiente para medir todas las variables en cuestión con los ensayos establecidos. Se establece como unidad de análisis los pesos de suelos descritos en la siguiente tabla.

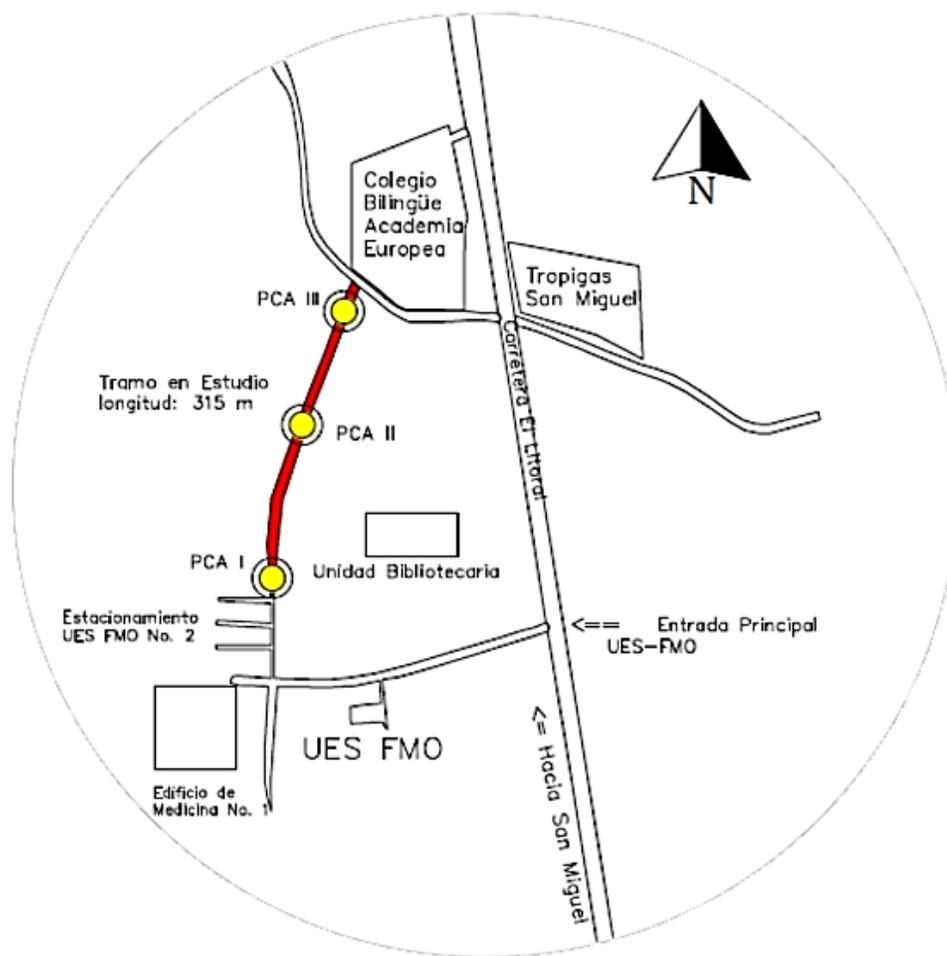
**Tabla 3.3.** Cantidad de suelo necesario para cada ensayo

<b>Ensayo</b>	<b>Peso por ensayo</b>
ASTM D 854-02	0.05 kg
ASTM D 422-63	0.065 kg
ASTM D 4318-00	0.2 kg
AASHTO T 180-01	25 kg
ASTM D 1883	30 kg
<b>TOTAL</b>	<b>56 kg</b>

Se anexa un croquis de macro localización de la zona de muestreo y otro del tramo en estudio. El tramo en estudio posee una longitud aproximada de 315m.



**Figura 3.1** Macro localización de la zona de muestreo, Universidad de El Salvador-FMO



**Figura 3.2** Tramo de estudio. Longitud aprox. del tramo en estudio: 315 m  
 Coordenadas: PI 13°26'26" N, 88 °09'33.2" W; PF 13 °26'35.1" N, 88 °09'30.5" W

### 3.8 Variables y medición

**Tabla 3.3.** Variables, medición e instrumentos a utilizar

<b>Variable</b>	<b>Sub-VARIABLES</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Medición</b>	<b>Instrumentos a utilizar</b>
Índice de Plasticidad	Limite Líquido	Transición entre el estado líquido y plástico de un suelo	Se mide a través de los ensayos de límite líquido y límite plástico bajo la correspondiente norma ASTM D 4318-00	Copa de Casagrande Calibrador Ranurador plano Balanza Tamices No. 40 y No. 10 Botella de lavado Horno de secado Misceláneos
	Limite Plástico	Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico		
Densidad Optima	Peso Unitario Seco Max	Peso unitario máximo que se obtiene en la máxima compactación del suelo	Se mide a través del ensayo de Proctor Modificado normado según la AASHTO T180-01	Aplonador manual Moldes Extractor de muestras Regla enrazadora Horno de secado Tamices Misceláneos
	Humedad Optima Max	Contenido de humedad con el cual se obtiene la compactación max del suelo		
Capacidad de Soporte	Peso Unitario Seco  Carga aplicada	Peso unitario máximo que se obtiene en la máxima compactación del suelo  Presión necesaria para deformar el suelo compactado	Se mide a través del ensayo California Bearing Ratio CBR bajo la correspondiente norma ASTM D 1883	Prensa Moldes y cilindros Disco espaciador Pisón de compactación Medidor de expansión Placa de metal Trípode Pesas anulares de metal Balanzas Tamices No. 4, ¾ y 2” Misceláneos de uso general

### **3.9 Sistema de Hipótesis**

Se realizará un experimento, donde se estudiará la relación entre el índice de plasticidad y el yeso como agente estabilizante de sus propiedades plásticas.

#### **3.9.1 Hipótesis de Investigación**

El yeso en diferentes dosificaciones es capaz de modificar el índice de plasticidad en los suelos finos plásticos

#### **3.9.2 Hipótesis nula.**

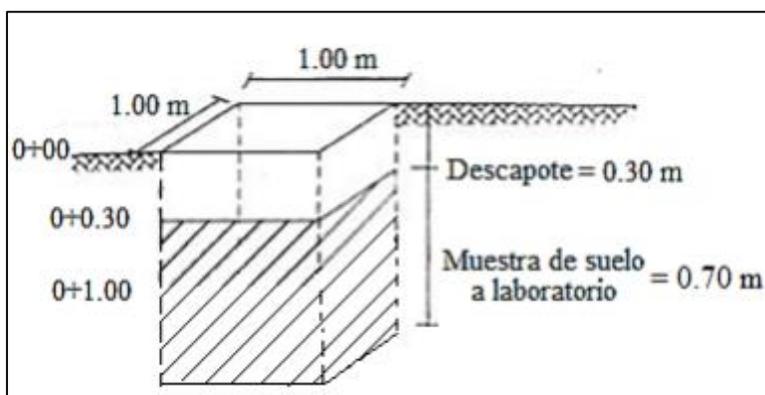
El yeso en diferentes dosificaciones no es capaz de modificar el índice de plasticidad en los suelos finos plásticos

### 3.10 Calicatas o PCA

Se ubicará el lugar donde se extraerá la muestra, posteriormente se procederá con la limpieza de este para facilitar la excavación y extracción. Se marcarán las dimensiones del pozo las cuales serán de 1 m de largo x 1 m de ancho con una profundidad de 1 m.

Posteriormente se procederá a iniciar la excavación usando una pala y piocha. Una vez obtenida la profundidad indicada se procederá a extraer la muestra que puede ser sacado del fondo o de uno de los lados del pozo.

Finalmente se procede a recoger el material representativo el cual se almacenará en bolsas plásticas transparentes etiquetando el nombre de la muestra (PCA-1, PCA-2 o PCA-3, PCA-piloto), la fecha y la profundidad a la que se tomó la muestra.



**Figura 3.3** Dimensiones de los Pozos a Cielo Abierto (PCA)

### 3.11 Selección del tamaño de la muestra

Se realizarán múltiples adiciones de yeso a las unidades de análisis en diferentes porcentajes de 2%, 4%, 6%, 8% y 10% en peso de la cantidad de suelo comparando los resultados obtenidos con un grupo testigo con 0% de yeso. Para obtener el tamaño de la muestra se realizará un estudio previo con suelo extraído de un PCA correspondiente al material extraído y etiquetado como PCA-piloto (PCA-1, PCA-2 y PCA-3 corresponden al material que conformara la muestra sin incluir PCA-piloto) y se calculara el coeficiente de correlación de Pearson  $r$  para el índice de plasticidad del suelo con cada porcentaje de yeso propuesto, finalmente se determinara el tamaño de la muestra con la siguiente expresión:

$$, n = \left( \frac{z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta}}{\frac{1}{2} \ln \left( \frac{1+r}{1-r} \right)} \right)^2 + 3$$

**Fuente:** Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal, Pértegas Díaz, Pita Fernández.

#### Donde:

$r$  Es la magnitud de la correlación que se desea detectar

$z_{1-\alpha/2}$  Es la seguridad con la que se desea trabajar o riesgo de cometer un error de tipo I

$z_{1-\beta}$  Es el poder estadístico que se quiere para el estudio, o riesgo de cometer un error de tipo II.

Los valores  $z_{1-\alpha/2}$  y  $z_{1-\beta}$  se obtienen de la distribución normal estándar en función de la seguridad y el poder elegidos para el estudio.

Para el cálculo del tamaño de la muestra se propone una seguridad del 95% y un poder estadístico del 80%

**Tabla 3.4.** Valores utilizados de Seguridad en el cálculo de tamaño muestral

Seguridad	$\alpha$	$z_{1-\alpha/2}$
80%	0.20	1.282
85%	0.15	1.440
90%	0.10	1.645
95%	0.05	1.960
97.5%	0.025	2.240
99%	0.010	2.576

**Fuente:** Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal, Pértegas Díaz, Pita Fernández.

**Tabla 3.5.** Valores utilizados de Poder Estadístico en el cálculo de tamaño muestral

Poder estadístico	$\beta$	$z_{1-\beta}$
99%	0.01	2.326
95%	0.05	1.645
90%	0.10	1.282
85%	0.15	1.036
80%	0.20	0.842
75%	0.25	0.674

**Fuente:** Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal, Pértegas Díaz, Pita Fernández.

### 3.12 Reducción de las muestras de agregado a tamaño de prueba basado en ASTM C702-01

Se realizará a través del método B “Cuarteo Manual”: en una superficie dura, limpia y nivelada, se mezcla la muestra con una pala al menos tres veces, luego se apila el material en forma cónica, con la pala se aplana hasta emparejar la superficie y establecer un círculo, para conformar el tamaño de muestra deseada. Se divide la masa aplanada en cuatro partes iguales y se remueven los cuartos diagonalmente opuestos. Se repite el procedimiento sucesivamente hasta reducir la muestra al tamaño requerido (peso indicado en unidades de análisis)



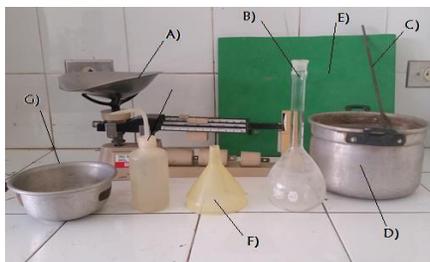
Figura 3.4 Método de cuarteo “B” según ASTM C 702

### 3.13 Determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo ASTM D 854-02.

Para la determinación de la gravedad específica se sigue los lineamientos según la norma ASTM D854-02, mediante la utilización del picnómetro (frasco volumétrico o matraz) con agua, para ello se puede realizar por medio de 2 métodos: Método A (para suelos húmedos) y Método B (para suelos secos).

#### Material y equipo

- Muestra de suelo: El espécimen de ensayo debe estar secado al horno y deberá ser representativo de los sólidos del suelo que pasen el tamiz N°4 de la muestra total.
- Balanza: Con una capacidad de 1000 g y con precisión de 0.01 g cuando se utilizan frascos volumétricos de 500 ml (matraz).
- Horno de secado: Se utiliza para secar la muestra a una temperatura  $\pm 60$  °C
- Termómetro: Capacitado para medir temperaturas con una precisión cercana a 0.1 °C y con una profundidad de sumersión de 25 a 80mm.
- Aparato de extracción de aire: Consiste en la utilización de una olla de aluminio y que esta sea capaz de mantener la temperatura requerida para el hervir el agua.
- Embudo
- Misceláneos: Tamiz N° 4 (4.75mm), guantes, franelas, piseta, recipientes para muestra de ensayo, espátula, papel toalla y pipeta.



**Figura 3.5** Equipo: A) Balanza B) Matraz de 500 ml C) Varilla con papel toalla para limpiar el matraz D) Olla E) Almohadilla para agitar el matraz F) Embudo G) Recipiente para contenido de humedad H) Piseta

En el desarrollo de esta investigación, se escoge el Método B el cual consiste en obtener la gravedad específica mediante un suelo seco, el cual se describe de la siguiente manera:

Para la muestra de suelo tamice el material a utilizar en la prueba por el tamiz No 4, obteniendo una cantidad, según el tipo de suelo. Si el tipo de suelo a utilizar es arcilla entonces tomar  $50 \pm 10$  g del material tamizado. Seque la muestra del suelo en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta obtener una masa constante.

**Tabla 3.6.** Masas recomendadas para los especímenes de ensayo de gravedad específica.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Masa del espécimen seco (g), para matraz de 500 ml</b>
SP, SP-SM	$100 \pm 10$
SP-SC, SM, SC	$75 \pm 10$
Limo o Arcilla	$50 \pm 10$

*Fuente: Propuesta de un Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos con forme a la Norma ASTM 2003*

Determine y registre la masa del frasco volumétrico (Matraz) limpio y seco, utilizando una balanza de 0.1 g de legibilidad. Realice este procedimiento al menos 3 veces para obtener un promedio de los pesos.



**Figura 3.6** Determinación de la masa del frasco volumétrico.

Luego llene el frasco volumétrico (Matraz) a una cantidad de  $\frac{1}{2}$  del bulbo, obtenga y registre su peso en la balanza, coloque un embudo en el matraz, (verificando de esta manera que el cuello de este sobrepase más allá de la marca de calibración). Seguidamente deposite el espécimen del suelo directamente en el embudo y con la varilla con papel toalla limpie con mucho cuidado el cuello del matraz sin tocar el agua del fondo.

Obteniendo la lechada (agua y suelo), agite el frasco volumétrico con cuidado y tome su peso y regístrelo como (peso del matraz + agua + suelo). Luego llene de agua destilada el frasco volumétrico hasta una altura que llegue donde empieza el cuello.

En la etapa de ebullición o extracción de aire, vierta agua en una olla a un nivel de  $\frac{3}{4}$  de su capacidad y colócala en una cocina a una temperatura media, colocando en ella el matraz con la lechada. Para extraer el aire atrapado en el frasco volumétrico agite las veces que sean necesarias y séquelo con una franela, la duración de la etapa de extracción de aire debe tener

como mínimo unas 2 horas, hasta que la lechada deje de expulsar burbujas de aire y por último se retira de la olla y se seca con franela para poder dejarlo reposar y que su temperatura baje.



**Figura 3.7.** Desairado de la lechada por el método de ebullición.

Deje el matraz + agua + suelo en reposo durante al menos 16 horas para alcanzar el equilibrio térmico. Ajuste el nivel del frasco volumétrico (marca de aforo) con agua destilada y limpie con la varilla con papel toalla la parte de superior de la marca de aforo. Utilice la balanza de 0.1g de legibilidad y obtenga la masa de suelo + agua + matraz (aforado) y posterior a ello tome la temperatura del matraz + agua +suelo con el termómetro de 0.1 °C de legibilidad y de esta manera registre ambas lecturas en la hoja de datos correspondiente a este ensayo.

Cuando se tiene los datos del peso del matraz + agua + suelo y la temperatura de ensayo entonces con estos datos valla a carta de calibración del matraz y obtenga el dato del peso del matraz + agua (aforado) y encuentre la gravedad específica a la temperatura de ambiente mediante la siguiente formula:

$$G_{st} = \frac{\rho_s}{\rho_{wt}} = \frac{M_s}{\left(M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)\right)}$$

Donde

$G_{st}$  = Gravedad específica de los sólidos del suelo a la temperatura de ensayo

$\rho_s$  = Densidad de los sólidos del suelo Mg/m<sup>3</sup> o g/cm<sup>3</sup>

$\rho_{wt}$  = Densidad del agua a la temperatura de ensayo. Tabla 4.6

$M_s$  = Masa de los sólidos del suelo secado en horno (g)

$M_{pw,t}$  = Masa del frasco volumétrico y agua a la temperatura de ensayo (g)

$M_{pws,t}$  = Masa del frasco volumétrico, agua y sólido del suelo a temperatura de ensayo (g)

Calcule la gravedad específica de los sólidos del suelo a 20 C como sigue:

$$G_{20C} = K * G_{st}$$

Donde:

$G_{s20C}$  = Gravedad específica de los sólidos del suelo a 20°C

$K$  = Coeficiente de temperatura dado en la tabla 4.7

$G_{st}$  = Gravedad específica a los sólidos del suelo a la temperatura de ensayo

**Tabla 3.7.** Densidad del agua y Coeficiente de temperatura (k) ensayo de GE

Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coeficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coeficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coeficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coeficiente de Temperatura (K)
15.0	0.99910	1.00090	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039
0.1	0.99909	1.00088	0.1	0.99893	1.00072	0.1	0.99876	1.00055	0.1	0.99858	1.00037
0.2	0.99907	1.00087	0.2	0.99891	1.00071	0.2	0.99874	1.00054	0.2	0.99856	1.00035
0.3	0.99906	1.00085	0.3	0.99890	1.00069	0.3	0.99872	1.00052	0.3	0.99854	1.00034
0.4	0.99904	1.00084	0.4	0.99888	1.00067	0.4	0.99871	1.00050	0.4	0.99852	1.00032
0.5	0.99902	1.00082	0.5	0.99886	1.00066	0.5	0.99869	1.00048	0.5	0.99850	1.00030
0.6	0.99901	1.00080	0.6	0.99885	1.00064	0.6	0.99867	1.00047	0.6	0.99848	1.00028
0.7	0.99899	1.00079	0.7	0.99883	1.00062	0.7	0.99865	1.00045	0.7	0.99847	1.00026
0.8	0.99898	1.00077	0.8	0.99881	1.00061	0.8	0.99863	1.00043	0.8	0.99845	1.00024
0.9	0.99896	1.00076	0.9	0.99879	1.00059	0.9	0.99862	1.00041	0.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99841	1.00020	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
0.1	0.99839	1.00018	0.1	0.99819	0.99998	0.1	0.99797	0.99977	0.1	0.99775	0.99954
0.2	0.99837	1.00016	0.2	0.99816	0.99996	0.2	0.99795	0.99974	0.2	0.99773	0.99952
0.3	0.99835	1.00014	0.3	0.99814	0.99994	0.3	0.99793	0.99972	0.3	0.99770	0.99950
0.4	0.99833	1.00012	0.4	0.99812	0.99992	0.4	0.99791	0.99970	0.4	0.99768	0.99947
0.5	0.99831	1.00010	0.5	0.99810	0.99990	0.5	0.99789	0.99968	0.5	0.99766	0.99945
0.6	0.99829	1.00008	0.6	0.99808	0.99987	0.6	0.99786	0.99966	0.6	0.99764	0.99943
0.7	0.99827	1.00006	0.7	0.99806	0.99985	0.7	0.99784	0.99963	0.7	0.99761	0.99940
0.8	0.99825	1.00004	0.8	0.99804	0.99983	0.8	0.99782	0.99961	0.8	0.99759	0.99938
0.9	0.99823	1.00002	0.9	0.99802	0.99981	0.9	0.99780	0.99959	0.9	0.99756	0.99936
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.99730	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
0.1	0.99752	0.99931	0.1	0.99727	0.99907	0.1	0.99702	0.99881	0.1	0.99676	0.99855
0.2	0.99749	0.99929	0.2	0.99725	0.99904	0.2	0.99700	0.99879	0.2	0.99673	0.99852
0.3	0.99747	0.99926	0.3	0.99723	0.99902	0.3	0.99697	0.99876	0.3	0.99671	0.99850
0.4	0.99745	0.99924	0.4	0.99720	0.99899	0.4	0.99694	0.99874	0.4	0.99668	0.99847
0.5	0.99742	0.99921	0.5	0.99717	0.99897	0.5	0.99692	0.99871	0.5	0.99665	0.99844
0.6	0.99740	0.99919	0.6	0.99715	0.99894	0.6	0.99689	0.99868	0.6	0.99663	0.99842
0.7	0.99737	0.99917	0.7	0.99712	0.99892	0.7	0.99687	0.99866	0.7	0.99660	0.99839
0.8	0.99735	0.99914	0.8	0.99710	0.99889	0.8	0.99684	0.99863	0.8	0.99657	0.99836
0.9	0.99732	0.99912	0.9	0.99707	0.99887	0.9	0.99681	0.99860	0.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744
0.1	0.99649	0.99828	0.1	0.99621	0.99800	0.1	0.99592	0.99771	0.1	0.99562	0.99741
0.2	0.99646	0.99825	0.2	0.99618	0.99797	0.2	0.99589	0.99768	0.2	0.99559	0.99738
0.3	0.99643	0.99822	0.3	0.99615	0.99794	0.3	0.99586	0.99765	0.3	0.99556	0.99735
0.4	0.99641	0.99820	0.4	0.99612	0.99791	0.4	0.99583	0.99762	0.4	0.99553	0.99732
0.5	0.99638	0.99817	0.5	0.99609	0.99788	0.5	0.99580	0.99759	0.5	0.99550	0.99729
0.6	0.99635	0.99814	0.6	0.99607	0.99785	0.6	0.99577	0.99756	0.6	0.99547	0.99726
0.7	0.99632	0.99811	0.7	0.99604	0.99783	0.7	0.99574	0.99753	0.7	0.99544	0.99723
0.8	0.99629	0.99808	0.8	0.99601	0.99780	0.8	0.99571	0.99750	0.8	0.99541	0.99720
0.9	0.99627	0.99806	0.9	0.99598	0.99777	0.9	0.99568	0.99747	0.9	0.99538	0.99716

**Fuente:** Propuesta de un manual de laboratorio de mecánica de suelos conforme a la norma ASTM 2003.

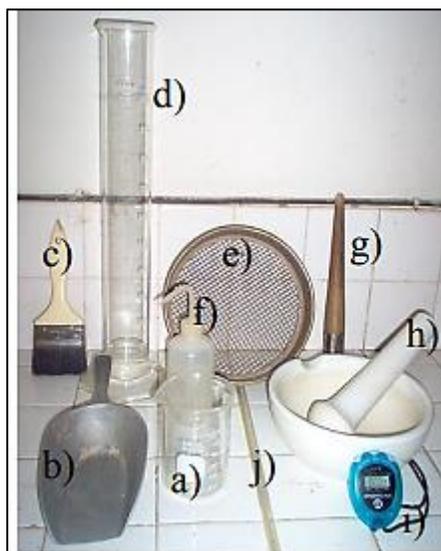
### 3.14 Determinación del tamaño de las partículas de suelos basado en ASTM D 422-63

Una muestra representativa de suelos es inicialmente dividida en dos porciones, una porción que contiene las partículas de suelo mayores que 2 mm (tamiz No. 10) y la otra que contiene las partículas menores que 2mm. La primera porción es tamizada a través de un conjunto de mallas que tienen aberturas progresivamente más pequeñas, mientras que la segunda, se mezcla con agua para formar una lechada, a la cual se le determinan en un inicio, los tamaños de las partículas basándose en el principio de sedimentación y posteriormente se le determina la masa de suelo retenida en cada malla.

#### **Material y Equipo:**

- Para determinar el tamaño de las partículas se realiza en ensayo de granulometría por sedimentación en el cual se utilizan los siguientes instrumentos:
- Muestra de suelo: representativa en condición “secada al aire”
- Agente dispersor y/o defloculante: solución de hexametáfosfato de sodio (conocido como Hexametáfosfato de sodio)
- Agua Destilada o desmineralizada
- Balanza: sensible a 0.01 g
- Aparato agitador (Batidora)
- Hidrómetro graduado para leer ya sea la gravedad específica o gramos/litro de la suspensión
- Cilindros de sedimentación (probetas): con una capacidad de 1000 ml
- Termómetro con una precisión de 0.5°C (1°F)

- Juego de tamices
- Recipiente graduado con capacidad de 250 ml
- Cronometro
- Mortero y pistilo cubierto de goma
- Cocina de estufa
- Reductor de muestras o partidor de muestra
- Agitador (varilla de vidrio)
- Piseta
- Brocha
- Franelas
- Papel toalla
- Recipientes para muestras



**Figura 3.8** Equipo utilizado para el análisis del tamaño de las partículas; a) beaker b) cucharon, c) brocha, d) probeta de 1000 ml, e) tamiz, f) piseta, g) brochuelo, h) mortero y pistilo, i) cronometro, j) termómetro

*Fuente:* (García Trejo, S. L., & Ramírez López, M. O. (2006). Propuesta de un manual de laboratorio de mecánica de suelos conforme a la Norma ASTM 2003.

### **Procedimiento.**

#### **Preparación de la muestra a ensayar:**

La muestra de suelo recibida de campo será expuesta al aire a la temperatura ambiente hasta que seque completamente y luego pasar por el tamiz No 3/8 y el No 10. Luego se reduce el suelo a una cantidad representativa con el cuarteo mecánico

Tome 500 g del material cuarteado basado en el tamaño máximo nominal de sus partículas, luego pese una muestra de 65 g basada en el tipo de suelo para realizar el ensayo y determinar su humedad higroscópica según la norma ASTM D 422-63.

### **Análisis de fracción retenida en el tamiz #10**

Separe la porción del material grueso retenido en el tamiz No. 10, tamizando manualmente toda la muestra en cada una de las mallas siguientes: 3" (75-mm), 2" (50-mm), 1½" (37.5-mm), 1" (25.0-mm), ¾"(19.0 -mm), 3/8" (9.5-mm), No. 4 (4.75-mm) y No. 10 ( 2 mm) ordenadas en forma descendente de mayor a menor abertura.

Un juego de tamices alternativo que da un espaciamiento uniforme de los puntos para el gráfico y que puede ser empleado si se desea, es el siguiente: 3" (75-mm), 1½" (37.5-mm), ¾"(19.0 -mm), 3/8" (9.5-mm), No. 4 (4.75-mm) y No. 8.

Determine la masa de cada fracción retenida del material en cada una de las mallas, utilizando una balanza sensible al 0.1%.

### **Hidrometría y análisis por tamizado de la porción que pasa el tamiz No 10**



**Figura 3.9** Hidrómetro utilizado para muestras que pasan tamiz N°10

#### **Preparación de la solución dispersante (defloculante)**

Se obtendrá una masa de 20 g de hexametáfosfato de sodio, utilizando una balanza de 0.01g de legibilidad. Deposite agua destilada o desmineralizada en una

probeta de 500 ml (hasta la mitad de la altura) y agregue el agente dispersor (hexametáfosfato de sodio) en ella. Luego agite la solución hasta que el hexametáfosfato de sodio se disuelva completamente y se agrega agua hasta completar los 500 ml.

#### **Determinación de la corrección por menisco (C<sub>m</sub>)**

La superficie del vástago del hidrómetro se limpiará con alcohol y se sumergirá en una probeta de 1000 ml llena con agua destilada o desmineralizada. Y se tomarán dos lecturas en la escala graduada del hidrómetro, una de ellas en la parte superior del menisco y la otra en la parte inferior (siguiendo la superficie horizontal del agua). Registre la corrección del menisco (C<sub>m</sub>) como la diferencia de las lecturas tomadas anteriormente.

#### **Determinación de la corrección por defloculante**

La superficie del vástago del hidrómetro se limpiará con alcohol y se sumergirá en una probeta de 1000 ml parcialmente llena con agua destilada, posteriormente se tomará una lectura en la parte inferior del menisco en la escala graduada del hidrómetro y luego se retira de la probeta.

Se agregarán 125 ml de la solución dispersante y se completará el llenado de la probeta con agua. Luego se agitará la solución posteriormente se sumergirá nuevamente el hidrómetro tomando una nueva lectura en la parte inferior del menisco. Registrando la corrección por defloculante (C<sub>d</sub>) como la diferencia de las lecturas tomadas.

#### **Determinación de la corrección por temperatura (C<sub>t</sub>)**

Se Registrará cada una de las temperaturas en cada una de las lecturas del hidrómetro en la probeta de ensayo. Posteriormente determinar la corrección para cada una de las temperaturas registradas, utilizando tabla de factores de corrección por

temperatura para el análisis granulométrico de un suelo por sedimentación dada por la norma ASTM D 422-63.

### **Dispersión e Hidrometría de la muestra de suelo**

Se colocará la cantidad de 65 g en un recipiente de 250 ml, y se agregaran 125 ml de la solución dispersante. Posteriormente agitar utilizando una varilla de vidrio hasta formar una lechada, luego se deja reposar por lo menos 16 horas. Transfiera la lechada de suelo-agua antes preparada, al agitador mecánico y enjuague cualquier remanente en el recipiente con agua destilada o desmineralizada, luego agregue agua si es necesario, llenando hasta un nivel de 2/3 del vaso agitador. Posteriormente agite por un periodo de 1 minuto



**Figura 3.10** Preparación de lechada

Luego, colocar la lechada a una probeta graduada y agregar agua destilada hasta que su volumen total sea de 1000 ml, enjuagando el vaso para prevenir la pérdida de material remanente.

Se tapará el extremo de la probeta, posteriormente se agita por un periodo de 1 min, haciéndola girar en un plano vertical de  $180^\circ$ . El número de giros durante el minuto deberán ser 60, contando hacia arriba y abajo como dos giros.

Colocar la probeta con la lechada sobre una mesa fija y active simultáneamente el cronometro y tome las lecturas del hidrómetro y temperatura en los intervalos de tiempo: 2, 5, 15, 30, 60, 250, 1440 y 2880 minutos, insertando cuidadosamente el hidrómetro en aproximadamente 20 a 25 segundos antes de cada lectura.



**Figura 3.11** Mezclado de lechada

### **Análisis por tamizado**

Se debe verter la suspensión en el tamiz No. 200 ( $75\mu\text{m}$ ) después de tomar la última lectura del hidrómetro.

Se lavará con agua del grifo el material retenido en el tamiz, hasta que ésta se observe limpia, luego se debe depositar en un recipiente apropiado de masa conocida y se secará en la cocina hasta obtener masa constante. Determine y registre la masa seca de las partículas del suelo.

Se debe ordenar el juego de mallas a utilizar (No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100 y No. 200) colocándolas de forma descendente de mayor a menor abertura junto con

el fondo. Posteriormente depositar el material seco en la malla superior y luego se colocará la tapa. Entonces ordenados el juego de tamices conteniendo la muestra, se agitará cada uno de los tamices durante 1 minuto y registre en la hoja de datos las masas retenidas en cada una de las mallas, utilizando una balanza de 0.01 g de legibilidad.



**Figura 3.12** Cribado de la muestra de suelo que pasa malla N°200

### **3.15 Determinación de la plasticidad y la capacidad de soporte al suelo**

### **3.16 Determinación del límite líquido, límite plástico basado en ASTM D 4318-00**

Un espécimen de suelo es cribado por el tamiz no. 40 (425  $\mu\text{m}$ ), para remover cualquier material retenido en él.

El límite líquido es determinado con la porción de suelo que pasa el tamiz anterior, realizando ensayos en los que una cantidad del espécimen es extendida en una capa (Copa de Casagrande), luego es dividida en dos utilizando un ranurador y posteriormente 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 (1/2 pulgada). El cálculo del límite líquido determinado con múltiples puntos (método A) requiere tres o más ensayos sobre un rango de contenidos de humedad a ser realizados y cuyos datos son graficados o calculados para hacer una relación de la cual el límite líquido es determinado.

El límite plástico es determinado, presionando y enrollando una fracción pequeña de suelo plástico en forma de hilo de un diámetro de 3.2 mm (1/8 pulgada) hasta que el contenido de agua es reducido a un punto en el cual, este se desmorona y ya no puede ser alargado por presión y enrollado.

El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

### Material y equipo

- Aparato de limite líquido (copa de casa grande)
- Ranurador plano
- Recipientes para contenido de humedad
- Balanza con precisión de 0.01g
- Recipiente para mezclado y almacenamiento
- Espátula
- Tamiz No 40
- Piseta
- Mortero y pistilo
- Horno de secado
- Placa de vidrio



**Figura 3.13** Equipo utilizado para la determinación de los Límites de Atterberg; a) Copa de Casa Grande con su Ranurador y nivelador b) Recipientes para contenido de humedad c) Balance d) Recipiente para mezclado e) Espátula f) Tamiz No 40 g) Piseta h) Mortero y Pistilo i) Placa de vidrio

*Fuente:* (García Trejo, S. L., & Ramírez López, M. O. (2006). Propuesta de un manual de laboratorio de mecánica de suelos conforme a la Norma ASTM 2003.)

**Procedimiento:****Preparación de la muestra**

Obtenga una cantidad representativa de la muestra total del suelo, la cual debe estar completamente seca para que los terrones puedan pulverizarse con facilidad y poder obtener un espécimen de suelo de 150 a 200 g después de tamizado, para luego obtener el límite líquido de la muestra, que es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico, en base a la norma ASTM D 4318-00

El procedimiento que se lleva a cabo para realizar el ensayo será el que se describe a continuación.

Pulverice la muestra de suelo seco con un mortero y un pistilo, teniendo cuidado de no quebrar las partículas para hacerlas pasar por la malla No 40.

Tamice el material por la malla No 40 (425µm, agitando el tamiz con la mano para asegurar la separación completa de la fracción más fina.

El material retenido en la malla No 40 es regresado al mortero y se repiten los procesos de pulverizado y cribado hasta que la mayoría del material fino haya sido disgregado y el material retenido consista en granos individuales para poder obtener una muestra que oscile entre los 150 a 200 g.

Al haber obtenido la cantidad requerida de material para realizar el ensayo coloque la muestra en una capsula de porcelana y agregue de 2 a 4 ml de agua con una piseta para poder hidratar por completo la muestra de suelo, mezcle bien la muestra con una espátula

Repetir este procedimiento hasta que la muestra este hidratada y haya formado una pasta dura, posteriormente se guarda en una bolsa plástica para evitar la pérdida de humedad y se deja reposar por lo menos 16 horas.



**Figura 3.14** Pasta para ensayar luego del reposo de 16 horas

### **Determinación del límite líquido usando el método de múltiples puntos**

Antes de iniciar el ensayo mezcle bien el material previamente hidratado.

Tome con la espátula una porción de suelo y colóquela en la copa de latón del dispositivo de casa grande, distribuyéndola con el menor número de golpes de espátula posibles, hasta que se obtenga un espesor de aproximadamente 10 mm como máximo y se deje nivelada la superficie en un plano horizontal.

El suelo remanente se guarda en la capsula de porcelana dentro de una bolsa plástica para retener la humedad. Luego se divide la masa del suelo de la copa de Casagrande utilizando un Ranurador, trazando una línea del punto más alto al punto más bajo en el borde de la copa, cuando haga la ranura, sostenga el acanalador contra la superficie de la copa de latón haciendo

un movimiento circular de adelante hacia atrás. Manteniéndolo perpendicular a la superficie de la copa de Casagrande durante todo el movimiento.

Se levanta y deja caer la copa por medio de una manivela a una frecuencia de 1.9 a 2.1 caídas por segundo, hasta que las dos mitades del suelo al dar los golpes se unan en el fondo de la ranura, una distancia de 13mm (1/2 pulg.).



**Figura 3.15** Ranurador de suelo en copa de Casa Grande

Registre el número de golpes  $N$  que han sido requeridos para cerrar la ranura; luego tome una porción del suelo de aproximadamente el ancho de la espátula y en ángulo recto de la sección donde fluyo y colócala en un recipiente de masa conocida.

Luego determine la masa del recipiente con la porción de suelo; y regístrela en la hoja de datos correspondiente a este ensayo, por último, determine el contenido de agua de esa porción de suelo, de acuerdo con el método de ensayo ASTM D 2216.

El suelo restante en la copa de Casagrande se regresa a la capsula de porcelana. Lave y seque la copa junto con el ranurador y prepare para el próximo ensayo.

Mezcle nuevamente todo el espécimen de suelo en el recipiente de porcelana, agregando más agua destilada para aumentar el contenido de agua en el suelo y así disminuya el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

Se tomarán tres puntos de interés, el primero uno que cerrara la ranura entre 30 y 35 golpes, un segundo entre 25 y 30 golpes, un tercero entre 20 y 25 golpes, un cuarto entre 15 y 20 golpes y finalmente un quinto entre 10 y 15 golpes.

Para obtener el valor del límite líquido plotee la relación entre el contenido de agua (%w) y el número correspondiente de golpes de la copa en un gráfico. El contenido de agua en las ordenadas (Y), y el número de golpes en las abscisas (X). Luego dibuje la mejor línea recta para unir lo mejor posible los tres o más puntos ploteados.

Tome el contenido de agua de la intersección de la línea de las abscisas correspondiente a 25 golpes con la línea que une la dispersión de los valores registrados que se proyecta hasta cortar con una línea horizontal a las ordenadas como el límite líquido.

### **Determinación del límite plástico del suelo**

Obtenga 20g o más del espécimen de suelo preparado para el ensayo de límite líquido o del suelo restante de dicho ensayo. Luego reduzca el contenido de humedad del suelo hasta que posea una consistencia en la cual pueda rolarse sin adherirse a las manos cuando sea extendido o se mezcle continuamente en una superficie plana y horizontal.



**Figura 3.16** Elaboración de rollitos para límite plástico

Seleccione una porción de suelo entre 1.5 a 2g de la muestra de 20g que se tomó anteriormente para formar una pasta elipsoidal. Luego role esta masa de suelo colocándola entre la palma de la mano o los dedos y una superficie horizontal lisa con suficiente presión, hasta hacer un hilo de diámetro uniforme de aproximadamente 3.2 mm (1/8 pulg) a lo largo de su longitud en un lapso de tiempo máximo de 2 minutos.

Cuando haya alcanzado el diámetro requerido del hilo de suelo, desmenuce está en varias porciones. Seguidamente junte las porciones y amáselas de nuevo hasta darles una forma aproximadamente elipsoidal. Role el suelo nuevamente hasta que el hilo sea de un diámetro de 3.2mm y repita todo el proceso anterior hasta que aparezcan grietas en el o se quiebre bajo presión del amasado y ya no sea posible formarlo de nuevo.

Luego reúna las porciones de suelo resquebrajadas y reúnalas en un recipiente de masa conocida. Determine la masa del suelo con el recipiente y regístrelas en la hoja de datos correspondiente. El proceso se repite hasta que en el recipiente haya por lo menos 6g de suelo. Luego se registra la masa del recipiente con el suelo húmedo y se determina posteriormente el

contenido de humedad del suelo en el recipiente, de acuerdo con el método ASTM D 2216. Este proceso se repite hasta obtener un total de al menos dos muestras para poder determinar el límite plástico del suelo.

### **3.17 Clasificación del suelo por método SUCS bajo la norma ASTM D 2487**

“Para clasificar apropiadamente un suelo utilizando este sistema, deben conocerse el porcentaje de grava, el porcentaje de arena, el porcentaje de limo y arcilla y el límite líquido e índice de plasticidad” (Das, 2011). El método SUCS clasifica a los suelos en dos grandes categorías principales: los suelos que más del 50% de sus partículas son retenidos en la malla N°200 son considerados como suelos de grano grueso, en los que se puede encontrar arena y/o grava. Por otro lado, los suelos que más del 50% de sus partículas logran pasar la malla N°200 son considerados suelos finos.

### **3.18 Clasificación del suelo por método AASHTO M 145**

La clasificación según la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes está basada principalmente en la distribución granulométrica que posee el suelo estudiado además de sus características plásticas visualizadas mediante el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Se divide en 7 principales grupos que van desde A-1 al A-7.

La clasificación inicial que se debe dar al suelo se realiza de la siguiente manera:

Los suelos que se encuentran en los grupos A-1, A-2, A-3 son materiales granulares donde el 35% o menos pasan por la malla N°200.

Los suelos clasificados como A-4, A-5, A-6 o A-7 son aquellos que más del 35% pasan por la malla N°200.

### **3.19 Determinación en laboratorio de las características de compactación de los suelos basado en AASHTO T 180-01**

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 10 lb con una altura de caída de 18 pulgadas, aplicando de 25 golpes y sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación de  $56000 \text{ lb-pie/pie}^3$  ( $2700 \text{ kN-m/m}^3$ ), 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.

#### **Material y equipo:**

- Muestra de suelo: La muestra de suelo debe ser representativa y secada al aire
- Martillo apisonador o martillo de compactación: Para compactar la muestra ocupe un martillo apisonador de 10 lb
- Molde: Con su respectivo collarín y base de 4" de diámetro.
- Extractor de muestras: Consiste en un gato hidráulico para la extracción del espécimen.
- Regla enrazadora: La cual debe ser metálica con borde biselado.
- Balanza: Una balanza con 0.1 g y 1 g de precisión.
- Horno de secado: Capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- Tamices: Tamiz de ¾" (19.0 mm) y No.4 (4.75 mm).
- Misceláneos: Bandeja metálica, mortero y pistilo para desmenuzar cualquier grumo, cucharon, tenaza, cuchillo, espátula, piseta, guantes de hule, probetas de vidrio, vernier, brocha y bolsas plásticas para mantener las muestras y que estas no pierdan humedad.



**Figura 3.17** Equipo: A) Martillo apisonador con su collarín y base B) Gato Hidráulico C) Balanza D) Mortero y Pistilo E) Cucharon F) Cuchillo G) Espátula H) Piseta I) Probeta J) Brocha K) Taras para el contenido de Humedad.

**Fuente:** (García Trejo, S. L., & Ramírez López, M. O. (2006). Propuesta de un manual de laboratorio de mecánica de suelos conforme a la Norma ASTM 2003.)

**Procedimiento:**

Existen cuatro métodos para poder realizar este ensayo, los cuales son: Método A, Método B, Método C y Método D. La diferencia entre los métodos A y C es que para el método "A" el suelo es tamizado en la malla N° 4 y se pesan 3 kg para cada muestra y para el método "C" se tamiza en la malla  $\frac{3}{4}$  y se pesan 5 kg para cada muestra, en ambos se utiliza el molde de 4" de diámetro. Por lo tanto, la diferencia entre los métodos B y D, es que para el B se utiliza la malla N° 4 y se pesan 7 kg para cada muestra y finalmente para el D se tamiza en la malla  $\frac{3}{4}$  y se pesan 11 kg para cada muestra, para ambos métodos se trabaja con el molde 6" de diámetro.

**Selección del método:**

Para fines de esta investigación se analizan datos obtenidos por el método C, en el cual se utiliza el molde de 4" de diámetro, el tamiz N°  $\frac{3}{4}$ ", con 5 capas de 25 golpes cada una y un martillo de compactación de 10 lb.

**Determinación del volumen y peso del molde de compactación:**

Mida 6 veces el diámetro del molde de compactación tanto en la parte superior e inferior del mismo utilizando un vernier (pie de rey) con una precisión de 0.01 pulgadas (obteniendo un promedio), determine y registre la masa del molde sin la base y sin el collarín con una balanza de 1 g de precisión, por último mida la altura del molde en la parte interior al menos cuatro veces alrededor de su circunferencia utilizando un vernier. Y luego calcule el promedio de las alturas.

### **Preparación de la muestra de ensayo:**

Seque la muestra al aire o en un horno de secado a una temperatura de 60°C, luego desmenuce todos los grumos existentes utilizando un mortero y pistilo, de manera que se reduzca el tamaño de las partículas. Tamice una adecuada cantidad de suelo, previamente pulverizado, en la malla N° 3/4", lo suficiente para obtener 5 muestras de 5kg (12lb)

**Nota:** este método es aplicado a mezclas de suelo que poseen un 30% o menos de material retenido en el tamiz 3/4"

Calcule la humedad natural del suelo para poder determinar la cantidad de agua a agregar a cada una de las muestras para que puedan llegar a la humedad de prueba, tomando en cuenta la siguiente ecuación:

$$C = k \frac{w2 - w1}{1 + w1}$$

#### **Dónde:**

C = Cantidad de agua a agregar a cada una de las muestras de suelo

K= Masa de la muestra a ensayar con la humedad w1, g

W1= Humedad que contiene el material a ensayar, en decimales

W2= Humedad a que deberá realizarse el ensayo de compactación en decimales

Deposite cada muestra en una bandeja metálica y mezcle manualmente, con la cantidad de agua necesaria, utilice una probeta 1000 ml (según sea el porcentaje de humedad), para asegurar una distribución uniforme y déjelas reposar en bolsas plásticas durante 16 horas como mínimo.



**Figura 3.18** Suelo para humedad de prueba.

### **Compactación de la muestra:**

Ensamble la placa en el molde y con el collarín asegurándolo correctamente, luego coloque el molde en una superficie plana y rígida para que se realice el ensayo sin ningún tipo de error, inmediatamente ubique en el molde el suelo anteriormente preparado hasta crear una capa de espesor uniforme y que pueda ocupar la quinta parte del molde. Posteriormente el suelo colocado en el molde, compacte utilizando un martillo apisonador dejándolo caer desde la altura de la manga, proporcionando 25 golpes distribuidos uniformemente dentro del molde por cada capa.



**Figura 3.19** Compactación de las capas de suelo.

Remueva el collarín del molde y desbaste cuidadosamente el suelo compactado hasta aplanar la parte superior del molde y utilice una regla enlazadora (llene los agujeros y presione con los dedos para luego emparejar con la regla enlazadora), desmonte la placa base del molde, después limpie la parte externa del molde con una brocha. Posteriormente determine la masa del molde compactado (sin placa base) y registre en una balanza de 1 g de precisión.

Extraer el espécimen compactado utilizando el gato hidráulico, luego corte en 4 porciones el espécimen y calcule una masa de 300 g por cada porción y luego coloque en taras debidamente pesadas. Luego obtenga la masa de cada porción húmeda utilizando la balanza de 0.1 g de legibilidad. Seguidamente coloque al horno a una temperatura que no sobrepase los 60° C en un tiempo mínimo de 24 horas y por último una vez sacados del horno deje enfriar para tomar la masa seca de cada porción de suelo.



**Figura 3.20** Desmante de suelo compactado.

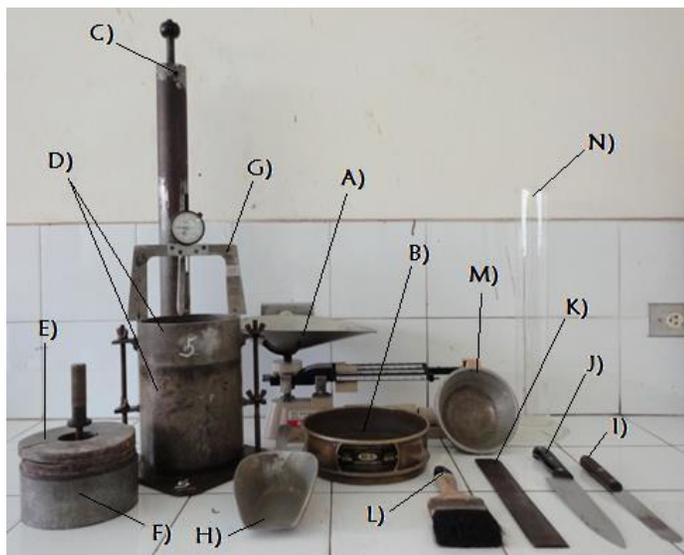
Realice el paso anterior en 5 ocasiones con los contenidos de humedad dependiendo los valores de compactación que se requieran. Estos valores se obtienen en los cálculos efectuados y de esta manera encuentre la humedad de compactación óptima.

### 3.20 Determinación del valor de soporte relativo (CBR) en base en la norma ASTM D 1883

#### Material y equipo.

- Muestra de suelo: La muestra de suelo secada al aire y el material que pasa el tamiz N°4 (4.75mm) con tres proporciones representativas de 6.8 kg (15 libras) cada una, en su totalidad 20.40 kg (44.90 libras).
- Moldes: Tres moldes cilíndricos de 6" con su respectiva base y collarín.
- Papel filtro
- Martillo de compactación: Para compactar la muestra ocupe un martillo apisonador de 10 lb.
- Disco espaciador.
- 3 placas de hinchamiento con un vástago ajustable.
- 3 trípodes, tres indicadores (deformímetros).
- Pesos para sobrecarga en forma de anillo con un agujero al centro.
- Regla enrazadora: La cual debe ser metálica con borde biselado.
- Balanza Una balanza con 0.1 g y 1 g de precisión.
- Horno de secado: Capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- Pistón de penetración.
- Tamiz N° 4.
- Bandeja para mezclar la muestra

- Misceláneos: cucharon, cuchillo, espátula, piseta además guantes de hule, probetas de vidrio, vernier, brocha y bolsas plásticas para mantener las muestras y que estas no pierdan humedad.



**Figura 3.21** Equipo necesario para la determinación de CBR

Equipo: A) Balanza B) Malla No 4 C) Martillo o apisonador D) Molde con su base y collarín E) Contrapesos F) Disco espaciador G) Deformimetro H) Cucharon I) Espátula J) Cuchillo K) Regla enrazadora L) Brocha M) Recipiente para humedad N) Probeta

#### **Determinación del volumen y peso del molde de compactación:**

Mida cuatro veces el diámetro de cada uno de los tres moldes de compactación tanto en la parte superior e inferior del mismo utilizando un vernier con una precisión de 0.01 pulgadas (obteniendo un promedio), además determine y registre la masa del molde con la base sin collarín con una balanza de 1 g de precisión, por último, mida la altura del molde más disco espaciador en la parte superior al menos cuatro veces a lo largo de su contorno utilizando un vernier. El promedio de las alturas regístrela como la altura del molde.

**Preparación de la muestra de ensayo:**

Seque al aire la muestra del suelo y que este alcance una humedad adecuada, luego desmenuce todo el grumo existente utilizando un mortero y pistilo, de manera que se reduzca el tamaño de las partículas para seleccionar una cantidad representativa para ser tamizada en la malla N° 4 descartando el material retenido en ella. Utilice una balanza con legibilidad de 1 g y pese tres muestras de 6.8 kg correspondiente a cada molde (10, 25 y 56 golpes) y deposite en una bolsa para evitar pérdida de humedad.

Mediante la humedad óptima, la cual se obtiene en el ensayo Proctor y por medio del cálculo correspondiente determine la cantidad de agua a añadir para cada una de las muestras a compactar. Luego mezcle el suelo con el agua hasta lograr una distribución uniforme de las partículas, posteriormente deposite en las bolsas correspondientes para evitar así la pérdida de agua y así deje reposando por un mínimo de 16 horas, para que el suelo se hidrate de forma homogénea.



**Figura 3.22** Máquina Marshall para ensayos de CBR

**Compactación de la muestra:**

Empalme la placa en el molde con el collarín y asegure correctamente, luego coloque el molde en una superficie plana y rígida para realizar el ensayo sin ningún tipo de alteraciones, dentro del molde inserte el disco espaciador y encima de este el papel filtro, inmediatamente coloque el suelo anteriormente preparado hasta crear una capa de espesor que cubra la quinta parte de dicho molde. Posteriormente compacte el suelo utilizando un martillo apisonador, déjelo caer desde la altura de la manga y proporcione 10, 25 y 56 golpes distribuidos uniformemente dentro del molde por cada capa (5 capas en total).



**Figura 3.23** Compactación de las capas para CBR con la humedad optima

Una vez que se compacten las cinco capas, remueva el collarín de extensión y utilice la regla enrazadora para cortar las irregularidades del suelo, enrace con la parte superior del molde. Quite el disco espaciador y coloque el papel filtro en la placa base además invierta el molde con el suelo compactado. Luego obtenga la masa de molde con su base más suelo compactado, mediante una balanza con precisión de 1 g. Repita estos pasos para los moldes restantes

**Proceso de saturación:**

Coloque la placa de hinchamiento con el vástago y las contrapesas en la muestra de suelo compactado en el molde. Ubique el trípode con el indicador del dial arriba del molde, sumerja el molde en una pila para permitir el acceso libre del agua encima y al fondo del espécimen.

Durante la saturación, mantenga sumergido el molde, y tome la primera lectura en el momento de sumergirlo y a cada 24 horas. Saturando el espécimen durante 96 horas (4 días) calcule el hinchamiento.

Saque los especímenes de la pila de saturación, decante cada molde durante al menos 15 minutos hasta que estos se escurran teniendo mucho cuidado para no alterar la superficie del suelo compactado. Seque bien el molde y determine la masa del espécimen saturado y registre el dato.



**Figura 3.24** Proceso de inmersión CBR

#### **Proceso de penetración:**

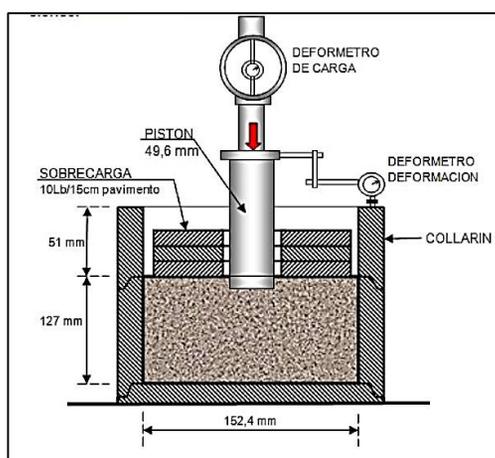
Se coloca el molde con el suelo compactado en la Máquina Marshall manual y también se colocan las sobrecargas de pesos anulares igual a los usados durante la saturación. Para evitar el desplazamiento de los suelos blandos, asiente el pistón de penetración y fije el indicador del dial de penetración y el indicador de la carga en cero.

**Tabla 3.8.** Valores de carga normal o carga unitaria patrón para 0.1in y 0.2 in de penetración

Penetración	Lb/in <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>3</sup>
0.1	1000	70
0.2	1500	105
0.3	1900	133
0.4	2300	161
0.5	2600	182

Luego configure la velocidad de penetración 1.27 mm/min a la máquina Marshall para que así se introduzca al suelo compactado. Registre la carga cuando las deformaciones sea (0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400 y 0.500 pulg).

Cuando el pistón penetre 0.5 pulgadas detenga el funcionamiento de la máquina Marshall manual y retire el espécimen. Luego determine la masa del espécimen penetrado y registre el dato, finalmente extraer 2 muestras para calcular la humedad del suelo compactado, saturado y penetrado, aproximadamente 100 g. (Repita para los 2 moldes restantes, los pasos anteriores).

**Figura 3.25** Esquema fase de penetración

### 3.21 Agente estabilizante

Se utilizará yeso calcinado de uso comercial, que es un material compuesto por sulfato de calcio, es considerado como una piedra sedimentaria, incolora o blanca en estado puro.



**Figura 3.26** Yeso calcinado de uso comercial



**Figura 3.27** Yeso calcinado

### 3.22 Grava

Se utilizará grava No. 2 debido a sus características granulométricas, el tamaño de las partículas de este tipo de grava ronda entre 4.75 mm y 25 mm. Las características granulométricas de la grava condicionan el método a utilizar para determinar las características de compactación donde el 30% o menos del material es retenido en el tamiz N°3/4”.



**Figura 3.28** Grava N° 2 para ensayar

### 4.23 Dosificación de la mezcla Suelo-Estabilizante

Se realizará el cálculo para determinar el peso del material estabilizante que se adiciona a la muestra con respecto a los porcentajes o dosificaciones, se destaca que la adición del estabilizante se realiza con respecto al peso seco del suelo. Se conoce poca información sobre estabilización de suelos fino plásticos con adición de yeso por lo tanto se proponen con base al criterio personal y fundamentándonos en la tesis de maestría de López-Lara, T, Zepeda-Garrido, J. A., & Castario, V. M. (1999) “Estudio comparativo de la eficacia de diferentes aditivos sobre

el comportamiento expansivo de arcillas”. Donde encontraron que el yeso humedecido (4-6%) era el mejor estabilizante de suelos expansivos.

Los porcentajes a utilizar serán 2%, 4%, 6%, 8% y 10% del peso seco del suelo.



**Figura 3.29** Dosificaciones suelo-yeso.

### **3.24 Periodo de fraguado**

La mezcla de suelo y yeso debe fraguar el tiempo suficiente para permitir la reacción química que cambia las propiedades del material, el periodo de fraguado comúnmente utilizado con otros materiales es de 1 a 7 días, se permitirá fraguar 3 días la mezcla de suelo y yeso agregando un porcentaje óptimo de agua.

### **3.25 Determinación de la plasticidad a la mezcla Suelo-Estabilizante**

Se determinará el límite líquido y límite plástico basado en ASTM D 4319-00, tomando como espécimen la mezcla suelo y estabilizante para cada uno de los porcentajes indicados. El suelo será secado al aire y el porcentaje de agente estabilizante se tomará del peso del suelo seco.

### **3.26 Dosificación de la mezcla suelo estabilizado-grava**

Se realizará el cálculo para determinar el peso del material granular que se adiciona al suelo estabilizado con respecto a los porcentajes o dosificaciones, se destaca que la adición de grava se realiza con respecto al peso seco del suelo. El estudio está limitado a los ensayos disponibles para determinar la capacidad de soporte, se utilizará el ensayo de CBR que requiere determinar las características de compactación a través de proctor. El material granular aporta cuerpo y resistencia a suelos finos, se proponen los porcentajes 0% para el grupo testigo, 10%, 20% y 30%. Se define 30% como porcentaje máximo de acuerdo a las restricciones que establece el ensayo de Proctor.

### **3.27 Diseño experimental**

Se propone un diseño experimental con diferentes tratamientos o niveles que corresponden a las diferentes dosificaciones de la mezcla suelo – estabilizante cada porcentaje representa un nivel o grado de manipulación de la variable independiente (agente estabilizante) y se medirá para cada nivel y observación el índice de plasticidad a través del límite líquido y límite plástico, al procedimiento de medir la variable dependiente (índice plasticidad) al aplicar un estímulo en diferentes grados o niveles de la variable independiente (% yeso) le llamamos corrida experimental, se respetaran los tres principios básicos del diseño experimental que

propone Douglas C. Montgomery (2004) “los tres principios básicos del diseño experimental son la realización de réplicas, la aleatorización y la formación de bloques” (p. 12)

### **3.28 Realización de réplicas**

Douglas C. Montgomery (2004) define que “Por realización de réplicas se entiende la repetición del experimento básico” (p. 12). Una de las principales propiedades de este principio es la estimación del error experimental que permite determinar si las diferencias o variaciones observadas en los datos son estadísticamente diferentes y estimar el efecto de un factor (variable independiente) en el experimento para este caso estimar el efecto del porcentaje de yeso en la plasticidad del suelo. Para determinar el número de réplicas, se respetará el tamaño de la muestra indicado anteriormente con el coeficiente de correlación de Pearson.

### **3.29 La aleatorización**

Douglas C. Montgomery (2004) explica “Por aleatorización se entiende que tanto la asignación del material experimental como el orden en que se realizaran las corridas o ensayos individuales del experimento se determinan al azar” (p. 12). Se distribuirá al azar el orden de la corrida experimental para cada observación sorteando las muestras de suelo y su número de corrida experimental.

### **3.30 La formación de bloques**

Douglas C. Montgomery (2004) explica que “Un bloque es un conjunto de condiciones experimentales relativamente homogéneas” (p. 13). Las propiedades de plasticidad de las muestras pueden variar debido a que se extraerán de tres diferentes puntos del tramo que se tomara para el estudio, al evaluar el estímulo de la variable independiente (% agente estabilizante) se obtendrán diferentes resultados de acuerdo a los propiedades de plasticidad de

cada muestra, es importante evaluar el estímulo de la variable independiente en los tres grupos de muestra (tres puntos de muestreo o PCA) para medir el efecto que produce el agente estabilizante. Para la formación de bloques se tomara como premisa el porcentaje de agente estabilizante, de manera que se formaran 6 bloques (grupo testigo 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10%), para la formación de cada bloque se asignaran las muestras de suelo al azar, a través de un sorteo se ubicaran las muestras en cada bloque con el objetivo de garantizar la aleatorización y que cada bloque este formado por suelo de los tres puntos de muestreo.

### 3.31 Suelo-agente estabilizante

#### 3.31.1 Secuencia de prueba

Se trata de un experimento con un solo factor (agente estabilizante) con 6n niveles del factor (% de agente estabilizante) y “n” replicas, el número de réplicas se obtendrá con un estudio previo a través del coeficiente de correlación de Pearson. Se obtendrán 6 corridas experimentales en total que se enumerarán de la siguiente manera:

**Tabla 3.9.** Corridas experimentales

% yeso	Numero de corrida experimental				
	1	2	3		n
0%					
2%					
4%					
6%					
8%					
10%					

Se seleccionará números de manera aleatoria entre 1 y 6n y se asignará la secuencia de prueba en el orden que se obtengan, se obtendrá una secuencia de prueba de la siguiente manera:

**Tabla 3.10.** Secuencia de prueba

Secuencia de prueba	Numero de corrida	% yeso
1		
2		
3		
n		

### 3.31.2 Análisis y procesamiento de datos

La respuesta observada en cada uno de los tratamientos o niveles es el índice de plasticidad y se presentara en la siguiente tabla:

**Tabla 3.11.** Respuestas a los tratamientos

Tratamiento (% de yeso)	Observaciones (IP)				Total	Promedio
0%	$y_{11}$	$y_{12}$		$y_{1n}$	$y_1$	$\bar{y}_1$
2%	$y_{21}$	$y_{22}$		$y_{2n}$	$y_2$	$\bar{y}_2$
.	.	.		.	.	.
.	.	.		.	.	.
.	.	.		.	.	.
a	$y_{a1}$	$y_{a2}$		$y_{an}$	$y_a$	$\bar{y}_a$
					$y_{..}$	$\bar{y}_{..}$

Con los datos obtenidos se hará un análisis de varianza de un solo factor con un modelo de efectos fijos. De acuerdo a Douglas C. Montgomery (2004) “el modelo estadístico describe dos situaciones diferentes con respecto a los efectos de los tratamientos” en una de estas “los tratamientos pudieron ser elegidos expresamente por el experimentador. En esta situación quiere probarse hipótesis acerca de las medias de los tratamientos y las conclusiones se aplicarán únicamente a los niveles del factor considerados en el análisis” (p. 65). En esta investigación se busca comprobar el efecto del agente estabilizante en el suelo fino plástico para las dosificaciones establecidas, de tal manera que se adopta este modelo en el análisis de varianza.

El procedimiento de prueba de este método estadístico se resume en la tabla de análisis de varianza siguiente:

**Tabla 3.12.** Análisis de Varianza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$
Entre los tratamientos	$SS_{Tratamientos}$	$a - 1$	$MS_{Tratamientos}$	$F_0 = \frac{MS_{Tratamientos}}{MS_E}$
Error dentro de los tratamientos	$SS_E$	$N - a$	$MS_E$	
Total	$SS_T$	$N - 1$		

El estadístico de prueba para la hipótesis de que no hay diferencias en las medias de los tratamientos se calcula de la siguiente manera:

$$F_0 = \frac{SS_{Tratamientos}/(a - 1)}{SS_E/(N - a)}$$

$$F_0 = \frac{MS_{Tratamientos}}{MS_E}$$

$$SS_{Tratamientos} = n \sum_{i=1}^a (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{..})^2$$

$$MS_{Tratamientos} = \frac{SS_{Tratamientos}}{a - 1}$$

$$SS_T = SS_{Tratamientos} + SS_E$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{N - a}$$

El estadístico de prueba  $F_0$  deberá compararse con el punto porcentual de la distribución F (Fisher). (ver ANEXO H-1)

$$F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a}$$

Si esto se cumple la hipótesis nula  $H_0$  deberá rechazarse y concluirse que hay diferencias en las medias de los tratamientos y que el efecto producido se debe al estímulo en cada tratamiento

Se propone trabajar con un nivel de confianza del 95% que significa aceptar un  $\alpha$  del 5% que representa la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera

**CAPÍTULO IV**  
**PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

## 4.1 Prueba Piloto y Secuencia de Pruebas

### 4.1.1 Prueba Piloto

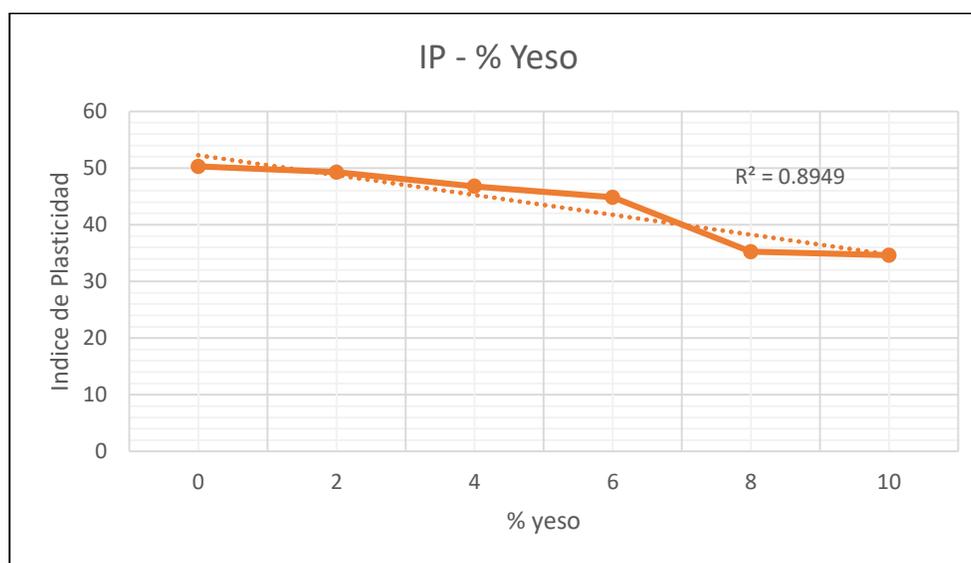
Se realizó una prueba preliminar del ensayo de límite líquido y límite plástico con porcentajes de yeso 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% en peso del suelo una muestra extraída de un punto al azar en el tramo de estudio, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4.1** Tabla resumen sobre Límites de Atterberg de prueba Piloto

% de yeso	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
0	92.72	40.32	52.43
2	89	39.72	49.28
4	86.19	39.41	46.78
6	84.6	39.77	44.83
8	78.7	43.47	35.23
10	76.5	41.88	34.62

#### 4.1.1.1 Selección del tamaño muestral

Con los índices de plasticidad obtenidos de un punto cualquiera del tramo en estudio, se calcula el coeficiente de correlación de Pearson “r” correspondiente a la siguiente curva



**Figura 4.1** Índices de Plasticidad vs % de Yeso para la determinación del tamaño muestral

Obtenido el valor de la correlación de Pearson 0.9459 se obtiene el tamaño de la muestra con la siguiente expresión:

$$n = \left( \frac{z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta}}{\frac{1}{2} \ln \left( \frac{1+r}{1-r} \right)} \right)^2 + 3$$

**Fuente:** Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal, Pértegas Díaz, Pita Fernández.

Para el tamaño de la muestra se tomó un porcentaje de seguridad del 95% y un poder estadístico de 80%, Los valores  $z_{1-\alpha/2}$  y  $z_{1-\beta}$  se obtienen de la distribución normal estándar en función de la seguridad.

Seguridad	$\alpha$	$z_{1-\alpha/2}$
80%	0.20	1.282
85%	0.15	1.440
90%	0.10	1.645
95%	0.05	1.960
97.5%	0.025	2.240
99%	0.010	2.576

**Fuente:** Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal, Pértegas Díaz, Pita Fernández.

Poder estadístico	$\beta$	$z_{1-\beta}$
99%	0.01	2.326
95%	0.05	1.645
90%	0.10	1.282
85%	0.15	1.036
80%	0.20	0.842
75%	0.25	0.674

**Fuente:** Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal, Pértegas Díaz, Pita Fernández.

$$n = \left( \frac{1.960 + 0.842}{\frac{1}{2} \ln \left( \frac{1 + 0.9459}{1 - 0.9459} \right)} \right)^2 + 3$$

$$n = 5.4443$$

El tamaño de la muestra obtenido es de 5.4443, pero se tomará el entero superior siendo el nuevo valor de tamaño de muestra de **6**.

#### 4.1.2 Secuencia de Prueba

Se tomaron muestra a través de 3 calicatas, obteniendo alrededor de 10 libras de suelo por calicata. Se redujo el suelo de las calicatas a tamaño de ensayo a través de cuarteo manual de acuerdo a la norma ASTM C 702. Se etiqueto el suelo de cada pozo en 36 muestras correspondientes al tamaño de la muestra total calculado con el coeficiente de correlación de Pearson, cada una tiene un peso de 220 gramos de suelo de acuerdo a la norma ASTM D 4318 y se distribuyeron en 12 muestras por cada pozo con el objetivo de incluir de forma homogénea los tres PCA extraídos.



**Figura 4.2** Muestras extraídas por pozos

Se respetaron las tres condiciones propuestas por la literatura de Douglas Montgomery para el diseño de experimento, se realizó la formación de bloques del material para garantizar grupos homogéneos, agrupando el material en bloques de 6 réplicas de ensayo representados por el porcentaje de yeso agregado (variable independiente o estímulo) y aleatorización del material en cada bloque, para esto se etiquetaron las muestras reducidas a tamaño de ensayo en M1, M2,

M3 hasta M36 y se realizó un sorteo con las etiquetas para formar cada bloque, obteniendo la siguiente matriz de observaciones:

**Tabla 4.2.** Formación de bloques

% yeso	Replica experimental					
	1	2	3	4	5	6
0%	M16	M19	M27	M9	M31	M15
2%	M2	M5	M28	M13	M26	M7
4%	M29	M24	M35	M10	M33	M30
6%	M12	M6	M25	M3	M4	M17
8%	M1	M36	M14	M11	M23	M22
10%	M18	M20	M32	M34	M8	M21

Con el material asignado a cada bloque o nivel se prepararon 220 gramos de suelo seco por cada experimento u observación, se preparó cada muestra de la siguiente manera:

Suelo + 0% de yeso

$$\text{peso de yeso} = (0.00)220 \text{ gr}$$

$$\text{peso de yeso} = 0 \text{ gr}$$

$$\text{peso de suelo} = (1.00)220 \text{ gr}$$

$$\text{peso de suelo} = 220 \text{ gr}$$

Suelo + 2% de yeso

$$\text{peso de yeso} = (0.02)220 \text{ gr}$$

$$\text{peso de yeso} = 4.4 \text{ gr}$$

$$\text{peso de suelo} = (0.98)220 \text{ gr}$$

$$\text{peso de suelo} = 215.6 \text{ gr}$$

Suelo + 4% de yeso

$$\text{peso de yeso} = (0.04)220 \text{ gr}$$

$$\text{peso de yeso} = 8.8 \text{ gr}$$

$$\text{peso de suelo} = (0.96)220 \text{ gr}$$

$$\text{peso de suelo} = 211.2 \text{ gr}$$

Suelo + 6% de yeso

$$\text{peso de yeso} = (0.06)220 \text{ gr}$$

$$\text{peso de yeso} = 13.2 \text{ gr}$$

$$\text{peso de suelo} = (0.94)220 \text{ gr}$$

$$\text{peso de suelo} = 206.8 \text{ gr}$$

Suelo + 8% de yeso

$$\text{peso de yeso} = (0.08)220 \text{ gr}$$

$$\text{peso de yeso} = 17.6 \text{ gr}$$

$$\text{peso de suelo} = (0.92)220 \text{ gr}$$

$$\text{peso de suelo} = 202.4 \text{ gr}$$

Suelo + 10% de yeso

$$\text{peso de yeso} = (0.10)220 \text{ gr}$$

$$\text{peso de yeso} = 22 \text{ gr}$$

$$\text{peso de suelo} = (0.90)220 \text{ gr}$$

$$\text{peso de suelo} = 198 \text{ gr}$$

Cada celda en la matriz de observaciones tiene asignado un número que corresponde a su etiqueta para realizar el sorteo de la corrida experimental indicados en la siguiente tabla:

**Tabla 4.3.** Etiquetas de los bloques para rifa

% yeso	Observaciones					
	1	2	3	4	5	6
0%	1	2	3	4	5	6
2%	7	8	9	10	11	12
4%	13	14	15	16	17	18
6%	19	20	21	22	23	24
8%	25	26	27	28	29	30
10%	31	32	33	34	35	36

Se sortearon números de 1 hasta 36 para obtener el orden de la secuencia de prueba, obteniendo los siguientes valores:

**Tabla 4.4.** Tabla resumen del sorteo para la secuencia de prueba

<b>Secuencia de prueba</b>	<b>Observación</b>	<b>% yeso</b>
1	23	6%
2	11	2%
3	16	4%
4	12	2%
5	19	6%
6	28	8%
7	5	0%
8	18	4%
9	32	10%
10	17	4%
11	4	0%
12	1	0%
13	14	4%
14	31	10%
15	33	10%
16	2	0%
17	30	8%
18	21	6%
19	22	6%
20	27	8%
21	20	6%
22	29	8%
23	34	10%
24	3	0%
25	26	8%
26	36	10%
27	25	8%
28	7	2%
29	24	6%
30	10	2%
31	13	4%
32	8	2%
33	15	4%
34	9	2%
35	6	0%
36	35	10%

El orden en el que se realizó el experimento para cada muestra está indicado en la columna “secuencia de prueba”.

## 4.2 Ensayo de Gravedad Especifica

A continuación, se presenta la tabla resumen de los datos obtenidos en el laboratorio para el ensayo de Gravedad Especifica (GS) bajo la norma ASTM D854-02

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO**  
**POR EL METODO DEL PICNOMETRO CON AGUA**  
**(BASADA ASTM D854-02)**

**LABORATORIO:** MZ CONSULTORES S.A. DE S.V.

**UBICACIÓN DEL LABORATORIO:** 20ª CALLE ORIENTE NO 13, COLONIA LA ESPERANZA, SAN MIGUEL

**PROYECTO:** ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES CON LA ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

**METODO DE ENSAYO:** METODO B, SECADO AL HORNO

**FECHA:** 31 ENERO 2020

### Calibración del picnómetro

No. de Picnómetro		P3	P3	P3	P3	P3
Masa de picnómetro	g	191.5	191.5	191.5	191.5	191.5
Temperatura de calibración	°C	26	27	28	29	30
Masa de picnómetro + agua a temperatura de calibración	g	690.93	690.81	690.64	690.49	690.24
Densidad del agua a temperatura de calibración	g/ml	0.99679	0.99652	0.99624	0.99595	0.99565
Volumen del picnómetro	ml	501.04	501.05	501.02	501.02	500.92
Volumen promedio del picnómetro	ml	501.01				
Desviación normal		0.053				

### Gravedad específica

Temperatura de ensayo ( $T_e$ )	28.4
Densidad del agua a temperatura de ensayo	0.99612
Masa de picnómetro + suelo + agua de ( $T_e$ )	722.45
Masa de picnómetro + agua a ( $T_e$ )	690.57
No. De recipiente	P3
Masa de recipiente	91.4
Masa de solidos del suelo + recipiente	140.9
Masa de los sólidos del suelo	49.5
Gravedad específica a temperatura de ensayo	2.81
Coefficiente de temperatura	0.99791
Gravedad específica a temperatura de 20° C	2.80

Se realizaron cálculos de gravedad específica utilizando el método B para muestras de suelo seco

### Calibración del picnómetro

El picnómetro se utiliza para medir la densidad de un fluido en referencia a la de otro fluido de densidad conocida.

### Cálculos:

Calculando el volumen calibrado de cada frasco volumétrico,  $V_p$  (en cada valor de temperatura calibrado), utilizando cinco datos registrados usando la ecuación siguiente:

$$V_p = \frac{(M_{pwc} - M_p)}{\rho_{wc}}$$

Donde:

$V_p$ : Volumen calibrado del frasco volumétrico, ml

$M_{pwc}$ : Masa del frasco volumétrico más agua a temperatura de calibración, g

$M_p$ : Masa del frasco volumétrico seco y limpio, g

$\rho_{wc}$ : Densidad del agua a la temperatura de calibración, g/ml (tomado de la tabla b-1, anexo b)

Primera lectura:

*masa del frasco volumetrico + agua 26 °C = 690.93 gr*

$$V_p = \frac{(690.93 - 191.5)}{0.99679}$$

$$V_p = 501.04 \text{ ml}$$

Segunda lectura:

*masa del frasco volumetrico + agua 27 °C = 690.81 gr*

$$V_p = \frac{(690.81 - 191.5)}{0.99652}$$

$$V_p = 501.05 \text{ ml}$$

Tercera lectura:

*masa del frasco volumetrico + agua 28 °C = 690.64 gr*

$$V_p = \frac{(690.64 - 191.5)}{0.99624}$$

$$V_p = 501.02 \text{ ml}$$

Cuarta lectura:

*masa del frasco volumetrico + agua 29 °C = 690.49 gr*

$$V_p = \frac{(690.49 - 191.5)}{0.99595}$$

$$V_p = 501.02 \text{ ml}$$

Quinta lectura:

*masa del frasco volumetrico + agua 30 °C = 690.24 gr*

$$V_p = \frac{(690.24 - 191.5)}{0.99565}$$

$$V_p = 500.92 \text{ ml}$$

### **Promedio y desviación normal:**

Calculando el promedio y la desviación normal de las cinco determinaciones del volumen del frasco volumétrico y verificando que la desviación normal sea menor o igual a 0.05 ml en caso contrario el procedimiento de la calibración tiene demasiada incertidumbre y no rendirá determinaciones exactas del valor de gravedad específica.

$$\bar{V}_p = \frac{501.04 \text{ ml} + 501.05 \text{ ml} + 501.02 \text{ ml} + 501.02 \text{ ml} + 500.92 \text{ ml}}{5}$$

$$\bar{V}_p = 501.01 \text{ ml}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(501.04 - 501.01)^2 + (501.05 - 501.01)^2 + (501.02 - 501.01)^2 + (501.02 - 501.01)^2 + (500.92 - 501.01)^2}{5}}$$

$$\sigma = 0.053 \approx 0.05 \text{ por lo tanto, cumple}$$

**Masa del frasco volumétrico + agua a la temperatura de ensayo**

Se utiliza la siguiente formula:

$$M_{pwt} = M_p + (V_p \times \rho_{wt})$$

Donde:

$M_{pwt}$ : Masa del frasco volumétrico y agua a la temperatura de ensayo, g

$M_p$ ; Masa promedio del frasco volumétrico seco calibrado, g

$V_p$ ; Volumen promedio del frasco volumétrico calibrado, ml

$\rho_{wt}$ : Densidad del agua a la temperatura de ensayo, g/ml (obtenido de la tabla b-1)

$$M_{pwt} = 191.5 + (501.01 \times 0.99612)$$

$$M_{pwt} = 690.57 \text{ gr}$$

### Determinación de la gravedad específica.

#### Gravedad específica de los sólidos del suelo ( $G_{st}$ ) a temperatura de ensayo.

Se obtiene mediante la siguiente formula;

$$G_{st} = \frac{\rho_s}{\rho_{wt}} = \frac{M_s}{(M_{pwt} - (M_{pws,t} - M_s))}$$

Donde

$G_{st}$  = Gravedad específica de los sólidos del suelo a la temperatura de ensayo

$\rho_s$  = Densidad de los sólidos del suelo Mg/m<sup>3</sup> o g/cm<sup>3</sup>

$\rho_{wt}$  = Densidad del agua a la temperatura de ensayo. Tabla 4.6

$M_s$  = Masa de los sólidos del suelo secado en horno (g)

$M_{pwt}$  = Masa del frasco volumétrico y agua a la temperatura de ensayo (g)

$M_{pws,t}$  = Masa del frasco volumétrico, agua y sólido del suelo a temperatura de ensayo (g)

$$G_{st} = \frac{\rho_s}{\rho_{wt}} = \frac{49.5}{(690.57 - (722.45 - 49.5))}$$

$$\mathbf{G_{st} = 2.81}$$

**Gravedad específica de los sólidos referidos a 20 ° C**

Utilizando la fórmula:

$$G_{20^{\circ}C} = K \times G_{st}$$

Donde:

$G_{s20C}$  = Gravedad específica de los sólidos del suelo a 20°C

$K$  = Coeficiente de temperatura dado en la tabla 4.6

$G_{st}$  = Gravedad específica a los sólidos del suelo a la temperatura de ensayo

$$G_{20^{\circ}C} = 0.99791 \times 2.81$$

$$\mathbf{G_{20^{\circ}C} = 2.80}$$

### 4.3 Ensayo determinación del tamaño de las partículas del suelo

Se presenta la tabla resumen de la determinación del tamaño de las partículas del suelo normado por la ASTM D 422-98

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELOS  
(BASADA ASTM D422-98)**

**LABORATORIO:** "LABORATORIO" DE SUELOS Y MATERIALES UES-FMO  
**UBICACIÓN DEL LABORATORIO:** CARRETERA AL CUOCO, CANTON EL JUTE, KM 144, SAN MIGUEL  
**PROYECTO:** ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES CON LA ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE  
**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
**FECHA:** 4 SEPTIEMBRE 2019

Análisis granulométrico del material que se retiene en el tamiz #10

Masa Inicial: 500 g

Malla (No)	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido		% que pasa
			Parcial	acumulado	
2"					
1 1/2 "					
1"	25	0	0	0	100
3/4 "	19	0	0	0	100
3/8 "	9.5	0	0	0	100
No. 4	4.75	0	0	0	100
No. 10	2	0	0	0	100
Paso No. 10	2	500	0	0	100
Suma		500	0		

## Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz # 10

Malla (no)	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida parcial (g) corregida	% retenido		% que pasa	% que pasa referido a muestra total
				Parcial	Acumulado		
No. 8	2.36	0	0	0	0	100	100
No. 16	1.18	2.30	2.30	2.60	2.60	97.40	97.40
No. 30	0.60	3.20	3.20	3.62	6.22	93.78	93.78
No. 50	0.30	2.40	2.40	2.71	8.93	91.07	91.07
No. 100	0.15	10.50	10.50	11.88	20.81	79.19	79.19
No. 200	0.075	7.40	7.40	8.37	29.18	70.82	70.82
Pasa No. 200	0.075	0.60	62.61	70.82	100		
Suma		26.40	88.41	100			

Muestra de suelo a analizar	500 gr
Masa retenida en tamiz No 10	0
Masa que pasa en tamiz No 10	500 gr
Masa de suelo para el análisis hidrométrico	100
Probeta a utilizar en hidrometría: Cap. 1000 mL, Ap	27.8 cm <sup>2</sup>
Determinación de correcciones	
Corrección por defloculante: Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante	4
Corrección por menisco: Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua	7 8

## Especificaciones del hidrómetro

Modelo 152H	L1 = 8.9 R = 10 L1 = 5.6 R = 30	L2 = 14.0 cm	Vb = 67.0 cm <sup>3</sup>
-------------	------------------------------------	--------------	---------------------------

Datos de humedad hidroscofia (material que pasa malla N° 10)

<b>Masa suelo húmedo + tara</b>	98.3 gr
<b>Masa suelo secado al horno + tara</b>	96.4 gr
<b>Tara No</b>	7
<b>Masa de tara</b>	81 gr

Registro del análisis hidrométrico

<b>Fecha</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>T °C</b>	<b>Lecturas del hidrómetro</b>
<b>04 – 09 – 2019</b>	2	32	60
<b>04 – 09 – 2019</b>	5	33	60
<b>04 – 09 – 2019</b>	15	33	60
<b>04 – 09 – 2019</b>	30	34	60
<b>04 – 09 – 2019</b>	60	34	60
<b>04 – 09 – 2019</b>	250	36	36
<b>05 – 09 – 2019</b>	1440	32	11

<b>Masa retenida en tamiz No 10 (lavada y secada al horno)</b>	0
<b>Masa de suelo (lavada y secada al horno) remanente de hidrometría</b>	26.40 gr
<b>Gravedad específica del suelo</b>	2.80

Registro del análisis por tamices

Fracción retenida en malla N° 10:

<b>Malla</b>	<b>Abertura en mm.</b>	<b>Peso parcial retenido (gr)</b>
<b>2”</b>		
<b>1 ½ “</b>		
<b>1”</b>	25.00	0
<b>¾ “</b>	19.0	0
<b>3/8 “</b>	9.5	0
<b>No 4</b>	4.75	0
<b>No 10</b>	2.00	0
<b>Pasa No 10</b>		500

Fracción remanente de hidrometría:

Malla	Abertura en mm.	Peso parcial retenido (g)no
No 8	2.36	0
No 16	1.18	2.30
No 30	0.60	3.2
No 50	0.30	2.4
No 100	0.15	10.5
No 200	0.075	7.4
Pasa No 200		0.6

### Determinación de la humedad higroscópica

Cálculos de la humedad higroscópica del espécimen de ensayo mediante la siguiente ecuación:

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

Donde:

W: Contenido de humedad higroscópica, %

$M_{h+r}$ : Masa del espécimen húmedo + recipiente, g

$M_{s+r}$ : Masa del espécimen secado al horno + recipiente, g

$M_r$ : Masa del recipiente, g

$$w\% = \frac{98.3 - 96.4}{96.4 - 81} \times 100$$

$$w\% = 12.34\%$$

**Determinación de la masa seca que pasa el tamiz No. 10 corregida por humedad higroscópica**

Utilizando la fórmula:

$$M_{sh} = \frac{M_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

$M_{sh}$ : Masa del espécimen seco corregida por humedad higroscópica, g

$M_h$ : Masa del espécimen húmedo del material que pasa la malla N°10,

$W$ : Contenido de humedad higroscópica, %

$$M_{sh} = \frac{500}{1 + \frac{12.34}{100}}$$

$$M_{sh} = 445.08 \text{ gr}$$

**Determinación de la masa seca total del ensayo**

Utilizando la siguiente formula:

$$M_t = M_g + M_{sh}$$

Donde:

$M_t$ : Masa seca total empleada en el ensayo, g

$M_g$ : Masa del material grueso (fracción retenida en la malla N°10), g

$M_{sh}$ : Masa del espécimen seco corregida por humedad higroscópica, g

$$M_t = 0 + 445.08 \text{ gr}$$

$$M_t = 445.08 \text{ gr}$$

### **Análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz No. 10 (2.00 mm)**

Masa del material que pasa la malla No. 200

$$M_{pasa \text{ no.200}} = 89.01 \text{ gr} - 26.4 \text{ gr}$$

$$M_{pasa \text{ no.200}} = 62.61 \text{ gr}$$

Masa total que pasa la malla No. 200

$$M_{total \text{ pasa no.200}} = 62.61 \text{ gr} + 0.60 \text{ gr}$$

$$M_{total \text{ pasa no.200}} = 63.21 \text{ gr}$$

### **Análisis por hidrometría**

Determinación de la masa seca empleada en el análisis hidrométrico

$$M_{sh} = \frac{M_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

$$M_{sh} = \frac{100}{1 + \frac{12.34}{100}}$$

$$M_{sh} = 89.01 \text{ gr}$$

Corrección por defloculante

$$C_d = |(lectura inferior agua + defloculante) - (lectura inferior agua)|$$

$$C_d = |12 - 8|$$

$$C_d = 4$$

Corrección por menisco

$$C_m = |(lectura superior agua) - (lectura inferior agua)|$$

$$C_m = |7 - 8|$$

$$C_m = 1$$

Corrección por temperatura

Se extrapola con los datos de la tabla c-1 del anexo c:

Cuando  $T (^{\circ}\text{C}) = 32$

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Ct
29	+3.05
30	+3.80
32	Ct

$$\frac{32 - 29}{30 - 29} = \frac{Ct - 3.05}{3.80 - 3.05}$$

Se resuelve para Ct

$$C_t = 5.30$$

Cuando  $T (^{\circ}\text{C}) = 33$

Se extrapola

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_t$
29	+3.05
30	+3.80
33	$C_t$

$$\frac{33 - 29}{30 - 29} = \frac{C_t - 3.05}{3.80 - 3.05}$$

Se resuelve para  $C_t$

$$C_t = 6.05$$

Cuando  $T (^{\circ}\text{C}) = 34$

Se extrapola

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_t$
29	+3.05
30	+3.80
34	$C_t$

$$\frac{34 - 29}{30 - 29} = \frac{C_t - 3.05}{3.80 - 3.05}$$

Se resuelve para  $C_t$

$$C_t = 6.80$$

Cuando  $T (^{\circ}\text{C}) = 36$

Se extrapola

Temperatura (°C)	Ct
29	+3.05
30	+3.80
36	Ct

$$\frac{36 - 29}{30 - 29} = \frac{Ct - 3.05}{3.80 - 3.05}$$

Se resuelve para Ct

$$C_t = 8.3$$

#### Determinación del factor de corrección (a)

Determinado mediante los valores de la tabla c-2 del anexo c para  $G_s = 2.80$

$$a = 0.97$$

**Lectura corregida del hidrómetro utilizando la formula siguiente:**

$$R_c = R_r - Cd \pm Ct$$

Donde:

Rc: Lectura corregida del hidrómetro por defloculante y temperatura, g/l

Rr: Lectura real del hidrómetro (tomada durante el ensayo), g/l

Cd: Corrección por defloculante

Ct: Corrección por temperatura

**Tabla 4.5.** Lecturas corregidas del hidrómetro

Tiempo (min)	T °C	Rr	Cd	Ct	Rc
2	32	60	4	5.30	61.30
5	33	60	4	6.05	62.05
15	33	60	4	6.05	62.05
30	34	60	4	6.80	62.80
60	34	60	4	6.80	62.80
250	36	36	4	8.30	40.30
1440	32	11	4	5.30	12.30

**Determinación del porcentaje de suelo que permanece en suspensión (% que pasa):**

$$p = \left[ \frac{R_c \times a}{M_{sh}} \right] \times 100$$

Donde:

P: Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel en que el hidrómetro mide la densidad de la suspensión

Rc: Lectura corregida del hidrómetro por defloculante y temperatura

a: Factor de corrección determinado según tabla c-2

Msh: Masa del espécimen seco corregido por humedad higroscópica, utilizado en el proceso hidrométrico

**Tabla 4.6.** Porcentajes de suelo que permanecen en suspensión

Tiempo (min)	T °C	Rc	a	Msh	P
2	32	61.30	0.97	89.01	66.80
5	33	62.05	0.97	89.01	67.62
15	33	62.05	0.97	89.01	67.62
30	34	62.80	0.97	89.01	68.44
60	34	62.80	0.97	89.01	68.44
250	36	40.30	0.97	89.01	43.92
1440	32	12.30	0.97	89.01	13.40

**Determinación del porcentaje que permanece en suspensión (% que pasa referido a muestra total) referido al material que pasa la malla No. 200**

$$P_p = \frac{P}{100} \times \% \text{ que pasa la malla No. 200}$$

Donde:

$P_p$ : Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel en el que el hidrómetro mide la densidad de la suspensión

$P$ : Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel en el que el hidrómetro mide la densidad de la suspensión

**Tabla 4.7.** Porcentaje de suelo que permanece en suspensión referido al material que pasa la malla N°200

Tiempo (min)	T °C	P	$P_p$
2	32	66.80	47.31
5	33	67.62	47.89
15	33	67.62	47.89
30	34	68.44	48.47
60	34	68.44	48.47
250	36	43.92	31.10
1440	32	13.40	9.49

**Determinación del valor de la lectura “R” del hidrómetro, corregida por menisco:**

$$R = Rr + Cm$$

Donde:

R: Lectura del hidrómetro corregida por menisco, g/l

Rr: Lectura real del hidrómetro (tomado durante el ensayo), g/l

Cm: Corrección por menisco, g/l

**Tabla 4.8.** Lectura corregida por menisco

Tiempo (min)	T °C	Rr	Cm	R
2	32	60	1	61
5	33	60	1	61
15	33	60	1	61
30	34	60	1	61
60	34	60	1	61
250	36	36	1	37
1440	32	11	1	12

**Determinación de la distancia de caída de las partículas o profundidad efectiva “L”.**

Se toma los valores de “L” de la tabla c-3 del anexo c:

Profundidad efectiva

**Tabla 4.9.** Profundidades efectivas del hidrómetro en los lapsos de tiempo

Tiempo (min)	T °C	Rr	L (cm)
2	32	60	6.5
5	33	60	6.5
15	33	60	6.5
30	34	60	6.5
60	34	60	6.5
250	36	36	10.4
1440	32	11	14.5

### Constante de temperatura y gravedad especifica

Se determina el valor de la constante “K” de la tabla c-4 del anexo c:

Para:

$$G_s = 2.80$$

Cuando T (°C) = 32

Se extrapola de la siguiente tabla:

Temperatura (°C)	Gravedad especifica
	2.80
29	0.01178
30	0.01165
32	K

$$\frac{32 - 29}{30 - 29} = \frac{K - 0.01178}{0.01165 - 0.01178}$$

Se resuelve para K

$$K = 0.01139$$

Cuando T (°C) = 33

Se extrapola

Temperatura (°C)	Gravedad especifica
	2.80
29	0.01178
30	0.01165
33	K

$$\frac{33 - 29}{30 - 29} = \frac{K - 0.01178}{0.01165 - 0.01178}$$

Se resuelve para K

$$K = 0.01126$$

Cuando T (°C) = 34

Se extrapola

Temperatura (°C)	Gravedad específica
	2.80
29	0.01178
30	0.01165
34	K

$$\frac{34 - 29}{30 - 29} = \frac{K - 0.01178}{0.01165 - 0.01178}$$

Se resuelve para K

$$K = 0.01113$$

Cuando T (°C) = 36

Se extrapola

Temperatura (°C)	Gravedad específica
	2.80
29	0.01178
30	0.01165
36	K

$$\frac{36 - 29}{30 - 29} = \frac{K - 0.01178}{0.01165 - 0.01178}$$

Se resuelve para k

$$K = 0.01087$$

### Determinación del diámetro de las partículas del suelo

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}}$$

Donde:

D: Diametro de la particula, mm

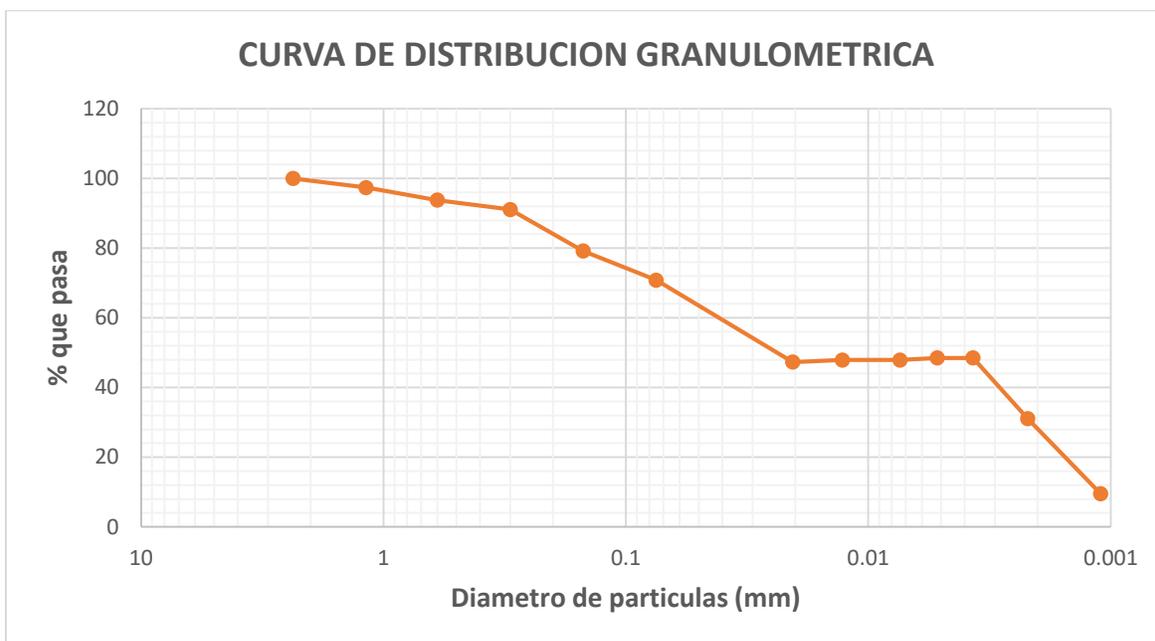
L: Distancia desde la superficie de la suspensión hasta el nivel en el que la densidad ha sido determinada, cm

K: Constante que depende de la temperatura de la suspensión y gravedad especifica de las partivulas del suelo,

t: Intervalo de tiempo desde el inicio de la sedimentación hasta el registro de la lectura, min

**Tabla 4.10.** Valores de los diámetros de las partículas del suelo

Tiempo (min)	T °C	% que pasa	% que pasa referido a muestra total	K	L (cm)	D (mm)
2	32	66.80	47.31	0.01139	6.5	0.0205
5	33	67.62	47.89	0.01126	6.5	0.0128
15	33	67.62	47.89	0.01126	6.5	0.0074
30	34	68.44	48.47	0.01113	6.5	0.0052
60	34	68.44	48.47	0.01113	6.5	0.0037
250	36	43.92	31.10	0.01087	10.4	0.0022
1440	32	13.40	9.49	0.01139	14.5	0.0011



**Figura 4.3** Curva Granulométrica

#### 4.4 Clasificación de los suelos sistema AASTHO M 145 y SUCS ASTM D 2487

**Tabla 4.11.** Cuadro resumen sobre clasificación de los suelos según sistema AASTHO M145 y ASTM D 2487

<b>CLASIFICACION DE SUELOS</b>				
<b>Suelo</b>	<b>AASHTO</b>			<b>SUCS</b>
	<b>Clasificación</b>	<b>Índice de Grupo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Descripción</b>
<b>Estado Natural</b>	<b>A-7-6</b>	<b>39</b>	<b>Suelo Arcilloso</b>	<b>MH Limos Arcillosos con Alta Plasticidad</b>

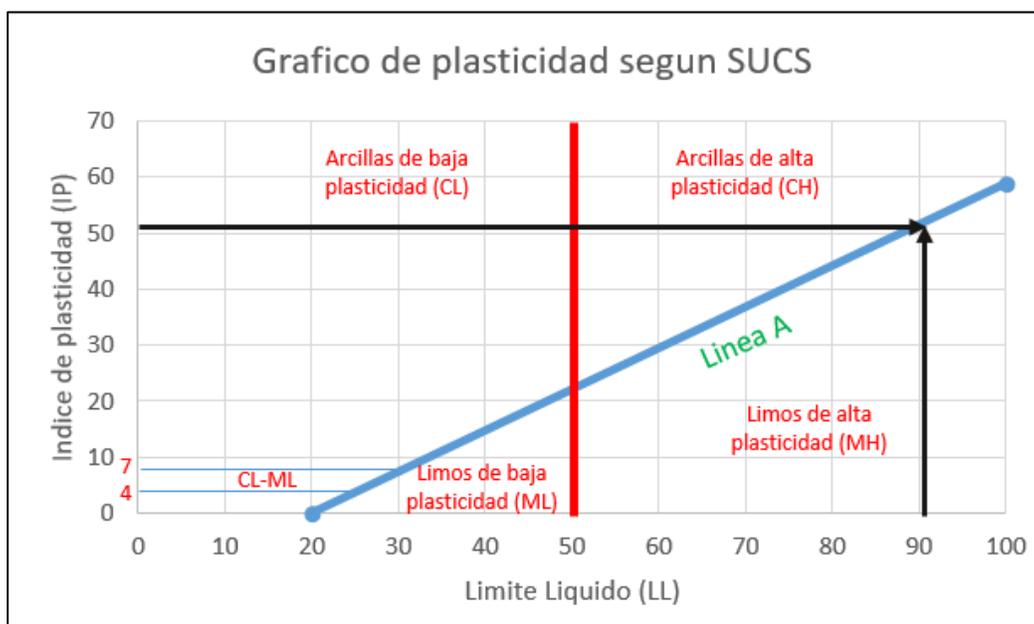
#### 4.4.1 Clasificación de suelos según sistema SUCS (ASTM D 2487-00)

Prueba Piloto: Suelo en estado natural

Porcentaje que pasa la malla No 200 = **70.82%**

Limite Liquido = **90.6%**

Indice de Plasticidad = **50.28%**



**Figura 4.4** Gráfico de plasticidad sistema SUCS

Clasificación: **MH (Limo de Alta Plasticidad)**

#### 4.4.2 Clasificación de suelos según sistema AASHTO M 145

Prueba Piloto: Suelo en estado natural

Límite Líquido = **90.6%**

Índice de Plasticidad = **50.28%**

Análisis granulométrico del material que se retiene en el tamiz #10

Masa Inicial: 500 g

Malla (No)	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido		% que pasa
			Parcial	acumulado	
2"					
1 1/2 "					
1"	25	0	0	0	100
3/4 "	19	0	0	0	100
3/8 "	9.5	0	0	0	100
No. 4	4.75	0	0	0	100
No. 10	2	0	0	0	100
Paso No. 10	2	500	0	0	100
Suma		500	0		

## Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz # 10

Malla (no)	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida parcial (g) corregida	% retenido		% que pasa	% que pasa referido a muestra total
				Parcial	Acumulado		
<b>No. 8</b>	<b>2.36</b>	0	0	0	0	100	100
<b>No. 16</b>	<b>1.18</b>	2.30	2.30	2.60	2.60	97.40	97.40
<b>No. 30</b>	<b>0.60</b>	3.20	3.20	3.62	6.22	93.78	93.78
<b>No. 50</b>	<b>0.30</b>	2.40	2.40	2.71	8.93	91.07	91.07
<b>No. 100</b>	<b>0.15</b>	10.50	10.50	11.88	20.81	79.19	79.19
<b>No. 200</b>	<b>0.075</b>	7.40	7.40	8.37	29.18	70.82	70.82
<b>Pasa No. 200</b>	<b>0.075</b>	0.60	62.61	70.82	100		
<b>Suma</b>		<b>26.40</b>	<b>88.41</b>	<b>100</b>			

Calculo de índice de grupo (IG)

$$IG = (F - 35)(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Sustituyendo valores

$$IG = 38.71 \approx 39$$

**Tabla 4.12.** Carta de grupos y sub-grupos para la clasificación de la Prueba Piloto

Clasificación General	Suelos granulares 35% máximo que pasa por el tamiz de 0.075 mm							Suelos finos Más del 35% que pasa por el tamiz 0.075			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
% que pasa por el tamiz de: 2 mm (No 10) 0.0425 mm (No 40) 0.075 mm N	50 max 30 max 16 max	50 max 10 max	51 max 10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de fracción que pasa el tamiz No 40 Limite liquido Índice de plasticidad	6 max		NP	40 min 10 max	41 max 10 max	40 min 11 min	41 min 11 min	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min
Tipos de materiales característicos	Piedras, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Estimación general del suelo	Excelente a bueno							Regular a malo			

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

Con base a las tablas del análisis granulométrico y al ensayo de los límites de Atterberg y utilizando el cuadro del sistema de clasificación AASHTO, se obtiene un suelo del grupo A-7 y sub grupo A-7-6 con un índice de grupo de 40

El suelo es arcilloso de alta plasticidad **A-7-6 (39)**

**4.5 Ensayo para la determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE  
PLASTICIDAD DE LOS SUELOS  
(BASADA ASTM D4318-00)**

**LABORATORIO:** "LABORATORIO" DE SUELOS Y MATERIALES UES-FMO

**UBICACIÓN DEL LABORATORIO:** CARRETERA AL CUCO, CANTON EL JUTE, KM 144, SAN MIGUEL

**PROYECTO:** ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES CON LA ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

**FECHA:** 5 NOVIEMBRE 2019

Muestra	N° de Observación	% yeso	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
M4	23	6%	65.80	33.43	31.97
M26	11	2%	90	42.35	47.65
M10	16	4%	67.82	37.04	30.78
M7	12	2%	69.20	36.30	32.90
M12	19	6%	64.40	36.66	27.74
M11	28	8%	58.20	32.34	25.86
M31	5	0%	98.80	39.36	53.44
M30	18	4%	87.40	41.39	46.01
M20	32	10%	76	42.12	33.88
M33	17	4%	86	40.42	45.58
M9	4	0%	71.20	37.60	33.60
M16	1	0%	90.60	41.36	49.24
M24	14	4%	87.80	44.18	43.62
M18	31	10%	76.50	42.12	34.38
M32	33	10%	75.50	39.66	35.84
M19	2	0%	92.90	45.15	47.75
M22	30	8%	80.50	44.93	35.57
M25	21	6%	83.70	43.25	40.45
M3	22	6%	65.40	33.43	31.97
M14	27	8%	80.80	38.36	42.44
M6	20	6%	64.80	35.53	29.27
M23	29	8%	80.50	43.92	36.58
M34	34	10%	74.70	40.57	34.13

<b>M27</b>	3	0%	91.70	40.40	51.30
<b>M36</b>	26	8%	76.30	42	34.30
<b>M21</b>	36	10%	76.50	49.50	27
<b>M1</b>	25	8%	59.70	35.43	24.27
<b>M2</b>	7	2%	69	38.46	30.54
<b>M17</b>	24	6%	85.60	47	38.60
<b>M13</b>	10	2%	88.24	41.76	46.48
<b>M29</b>	13	4%	87	41.20	45.80
<b>M5</b>	8	2%	69.70	36.52	33.18
<b>M35</b>	15	4%	86.50	42.49	44.01
<b>M28</b>	9	2%	89.50	42.27	47.23
<b>M15</b>	6	0%	91	41.70	49.30
<b>M8</b>	35	10%	58	36.70	21.30

#### 4.5.1 Tabulación, análisis e interpretación de los datos

**Tabla 4.13.** Matriz de Observaciones

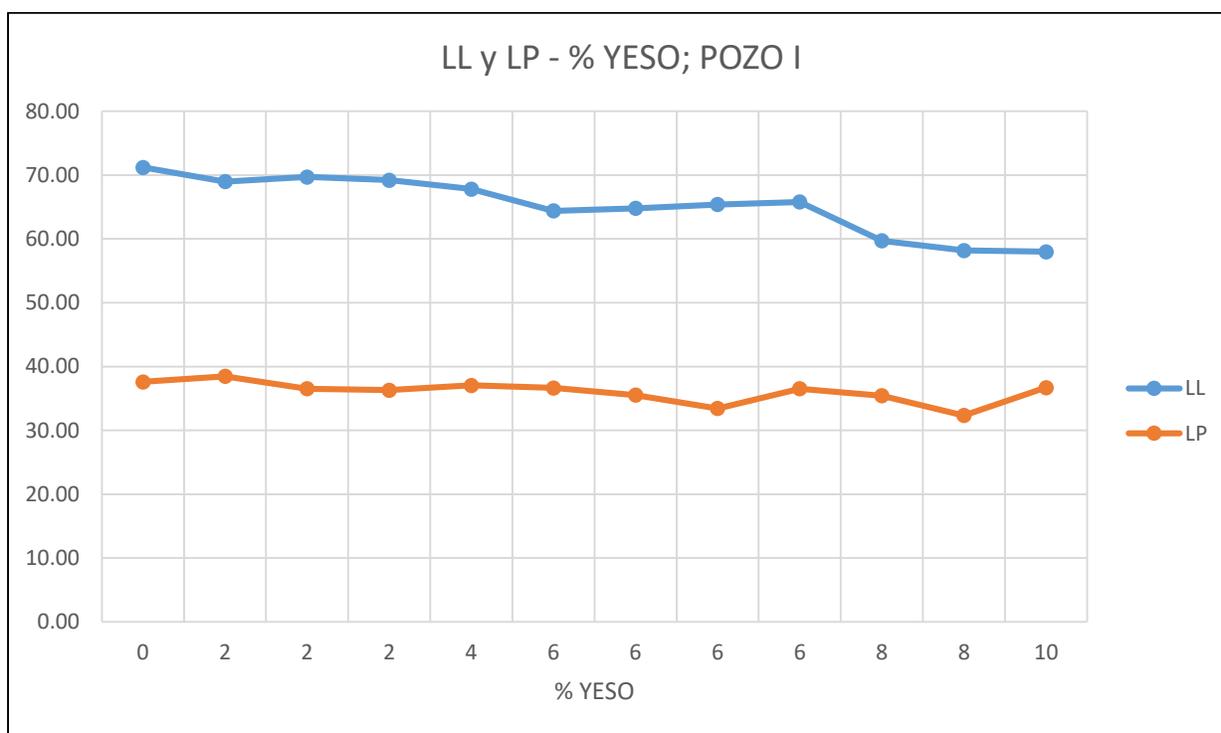
Tratamiento (% yeso)	Observaciones (IP)					
	1	2	3	4	5	6
<b>0</b>	49.24	47.75	51.30	33.60	53.44	49.30
<b>2</b>	30.54	33.18	47.23	46.48	47.65	32.90
<b>4</b>	45.80	43.62	44.01	30.78	45.58	46.01
<b>6</b>	27.74	29.27	40.45	31.97	29.29	38.60
<b>8</b>	24.27	34.30	42.44	25.86	36.58	35.57
<b>10</b>	34.38	33.88	35.84	34.13	21.30	27.00

Se aíslan los resultados obtenidos de acuerdo al pozo que pertenecen cada muestra

### Pozo I

MUESTRA	% YESO	LL	LP	IP
9	0	71.20	37.60	33.60
2	2	69.00	38.46	30.54
5	2	69.70	36.52	33.18
7	2	69.20	36.30	32.90
10	4	67.82	37.04	30.78
12	6	64.40	36.66	27.74
6	6	64.80	35.53	29.27
3	6	65.40	33.43	31.97
4	6	65.80	36.51	29.29
1	8	59.70	35.43	24.27
11	8	58.20	32.34	25.86
8	10	58.00	36.70	21.30

Para identificar el comportamiento de los límites de consistencia con respecto a las diferentes proporciones de yeso se presenta la siguiente gráfica:

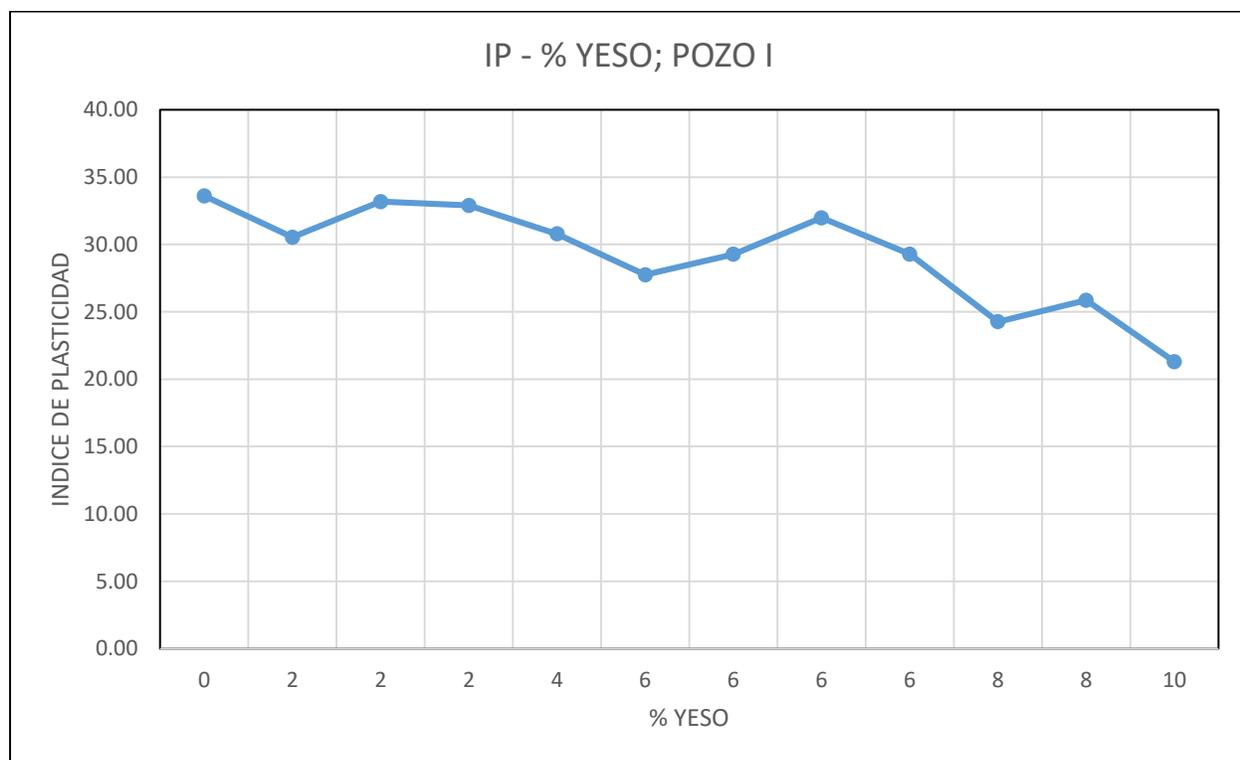


**Figura 4.4.** Límites Líquidos, Límites Plásticos con distintos % de yeso Pozo I

Para el pozo 1 se tiene una muestra con 0% de yeso, tres con 2%, una con 4%, cuatro con 6%, dos con 8% y una con 10%. La curva del límite plástico presenta una tendencia uniforme en todos los porcentajes de Yeso, existe una variación en cada porcentaje, pero atribuimos esta diferencia al error experimental porque no se observa una tendencia orientada a disminuir o aumentar al cambiar la cantidad de Yeso.

La curva del límite líquido presenta un comportamiento diferente a la curva del límite plástico, disminuye a medida que se aumenta el porcentaje de Yeso, sin embargo, esta tendencia no es uniforme en toda la trayectoria de la variable independiente, se destaca un cambio más significativo al final de la curva entre los porcentajes del 6% y 8%

Para identificar el comportamiento del Índice de Plasticidad con respecto a las diferentes proporciones de Yeso se presenta la siguiente gráfica:



**Figura 4.5.** Índice de Plasticidad con distintos % de yeso Pozo I

Se muestra una tendencia a disminuir a medida que se aumenta el % Yeso, es necesario destacar que no existe una distribución uniforme en el comportamiento de esta curva, se atribuye esta irregularidad a la cantidad de réplicas para cada dosificación y las leves diferencias entre cada medición del mismo porcentaje, para poder describir este comportamiento promediamos las observaciones del mismo nivel de manipulación de la variable independiente, se muestran en la siguiente tabla junto a la diferencia de este promedio con el 0% de Yeso o grupo testigo y su disminución entre cada nivel factor o porcentaje de Yeso:

**Tabla 4.14.** Diferencia de los promedios de los distintos niveles de yeso con el suelo en estado natural Pozo I

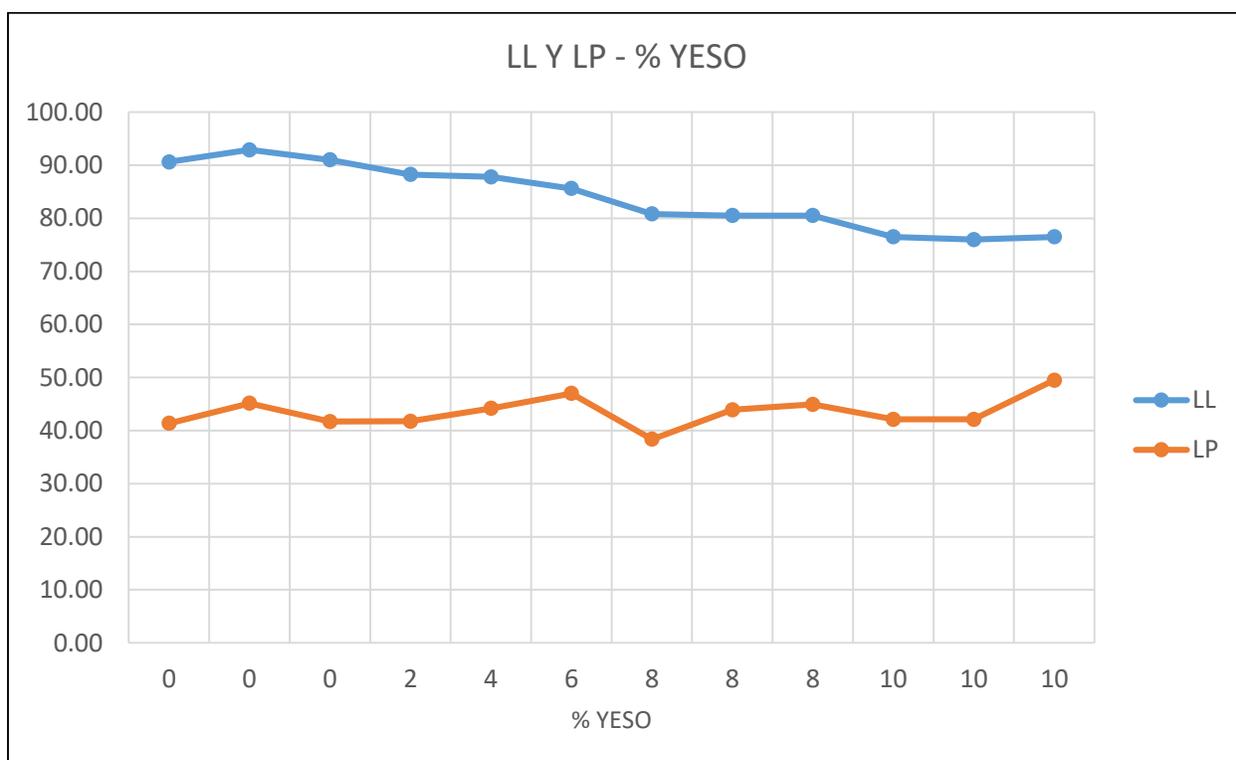
<b>% YESO</b>	<b>IP</b>	<b>Promedio</b>	<b>Diferencia con 0%</b>	<b>Disminución</b>
0	33.60	33.60		
2	30.54	32.20	1.40	1.40
2	33.18			
2	32.90			
4	30.78	30.78	2.81	1.42
6	27.74	29.57	4.03	1.21
6	29.27			
6	31.97			
6	29.29			
8	24.27	25.06	8.53	4.51
8	25.86			
10	21.30	21.30	12.30	3.76

Al promediar las observaciones equivalentes o de igual dosificación se compara este valor con el resto de observaciones y se destaca que hay una disminución más significativa entre el 8% y 10% de Yeso donde disminuye 4.51 y 3.76 con respecto al Índice de Plasticidad anterior.

## Pozo II

MUESTRA	% YESO	LL	LP	IP
16	0	90.60	41.36	49.24
19	0	92.90	45.15	47.75
15	0	91.00	41.70	49.30
13	2	88.24	41.76	45.54
24	4	87.80	44.18	43.62
17	6	85.60	47.00	41.20
14	8	80.80	38.36	37.14
23	8	80.50	43.92	36.58
22	8	80.50	44.93	35.57
18	10	76.50	42.12	34.38
20	10	76.00	42.12	33.88
21	10	76.50	49.50	27.00

Para identificar el comportamiento de los límites de consistencia con respecto a las diferentes proporciones de yeso se presenta la siguiente gráfica:

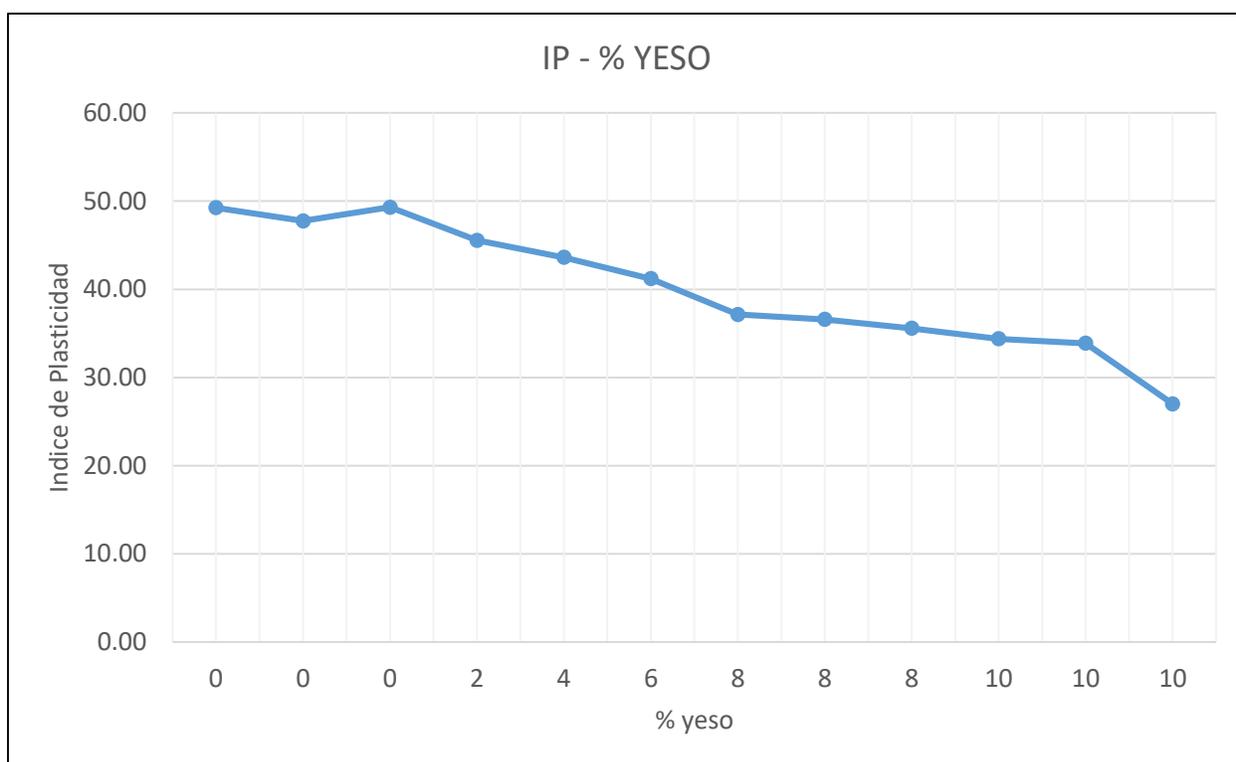


**Figura 4.6** Límites Líquidos, Límites Plásticos con distintos % de yeso Pozo II

Para el pozo 2 se tienen tres muestras con 0% de yeso, una con 2%, una con 4%, una con 6%, tres con 8% y tres con 10%. La curva del límite plástico presenta una tendencia uniforme en todos los porcentajes de Yeso al igual que ocurre en el pozo 1 también existe una variación en cada porcentaje, pero atribuimos esta diferencia al error experimental porque no se observa una tendencia orientada a disminuir o aumentar al cambiar la cantidad de Yeso.

La curva del límite líquido presenta un comportamiento diferente a la curva del límite plástico al igual que ocurre en el pozo 1, también disminuye a medida que se aumenta el porcentaje de Yeso, sin embargo esta tendencia no es uniforme en toda la trayectoria de la variable independiente, se destaca un cambio más significativo al final de la curva entre los porcentajes del 6% y 8%, se observa nuevamente una mayor disminución en las últimas observaciones, pero se acentúa más entre los porcentajes del 6% y 8%

Para identificar el comportamiento del Índice de Plasticidad con respecto a las diferentes proporciones de Yeso se presenta la siguiente gráfica:



**Figura 4.7:** Índice de Plasticidad con distintos % de yeso Pozo II

Se muestra una tendencia a disminuir a medida que se aumenta el % Yeso, es necesario destacar que no existe una distribución uniforme en el comportamiento de esta curva, se atribuye esta irregularidad a la cantidad de réplicas para cada dosificación y las leves diferencias entre cada medición del mismo porcentaje, para poder describir este comportamiento promediamos las observaciones del mismo nivel de manipulación de la variable independiente, se muestran en la siguiente tabla junto a la diferencia de este promedio con el 0% de Yeso o grupo testigo y su disminución entre cada nivel factor o porcentaje de Yeso:

**Tabla 4.15.** Diferencia de los promedios de los distintos niveles de yeso con el suelo en estado natural Pozo II

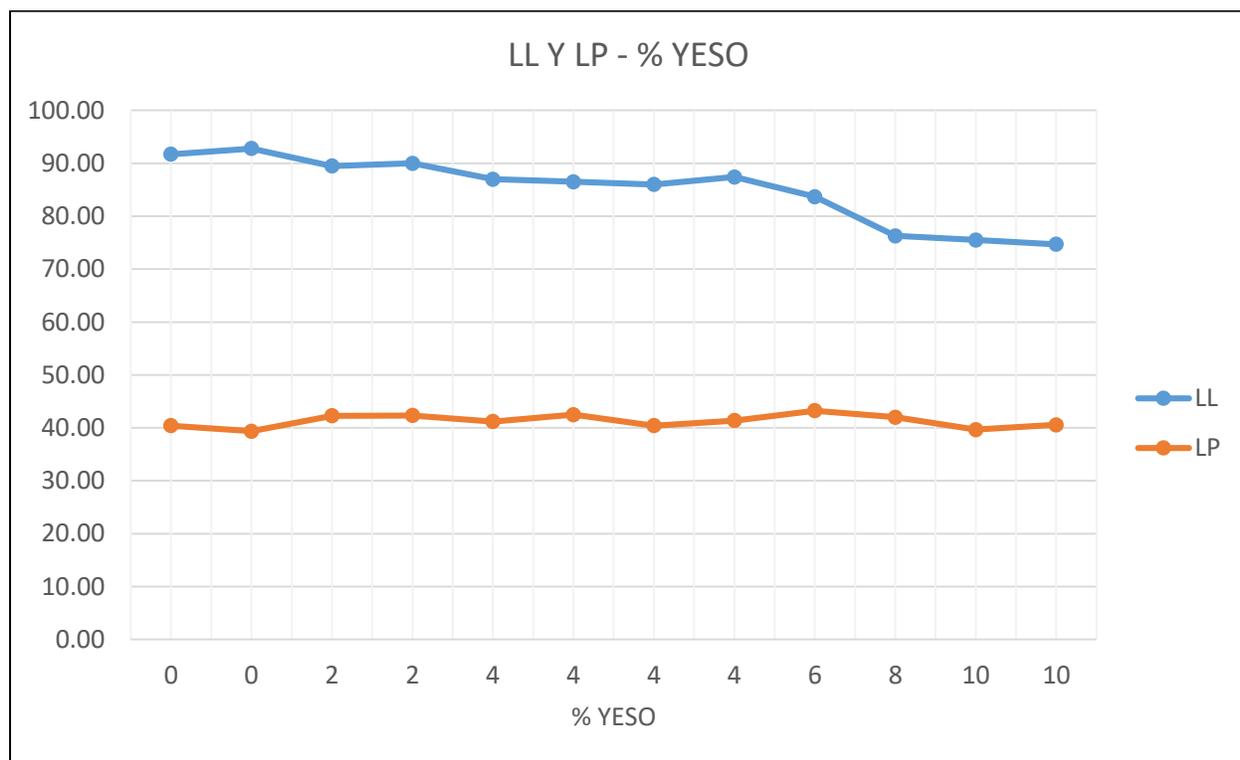
<b>% YESO</b>	<b>IP</b>	<b>Promedio</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Disminución</b>
0	49.24	48.76		
0	47.75			
0	49.30			
2	45.54	45.54	3.22	-3.22
4	43.62	43.62	5.14	-1.92
6	41.20	41.20	7.56	-2.42
8	37.14	36.43	12.33	-4.77
8	36.58			
8	35.57			
10	34.38	31.75	17.01	-4.68
10	33.88			
10	27.00			

Al promediar las observaciones equivalentes o de igual dosificación se compara este valor con el resto de observaciones y se destaca que hay una disminución más significativa entre el 8% y 10% de Yeso donde disminuye 4.77 y 4.68 respectivamente con respecto al Índice de Plasticidad anterior.

### Pozo III

MUESTRA	% YESO	LL	LP	IP
27	0	91.70	40.40	51.30
31	0	92.80	39.36	53.44
28	2	89.50	42.27	47.23
26	2	90.00	42.35	47.65
29	4	87.00	41.20	45.80
35	4	86.50	42.49	44.01
33	4	86.00	40.42	45.58
30	4	87.40	41.39	46.01
25	6	83.70	43.25	40.45
36	8	76.30	42.00	34.30
32	10	75.50	39.66	35.84
34	10	74.70	40.57	34.13

Para identificar el comportamiento de los límites de consistencia con respecto a las diferentes proporciones de yeso se presenta la siguiente gráfica:

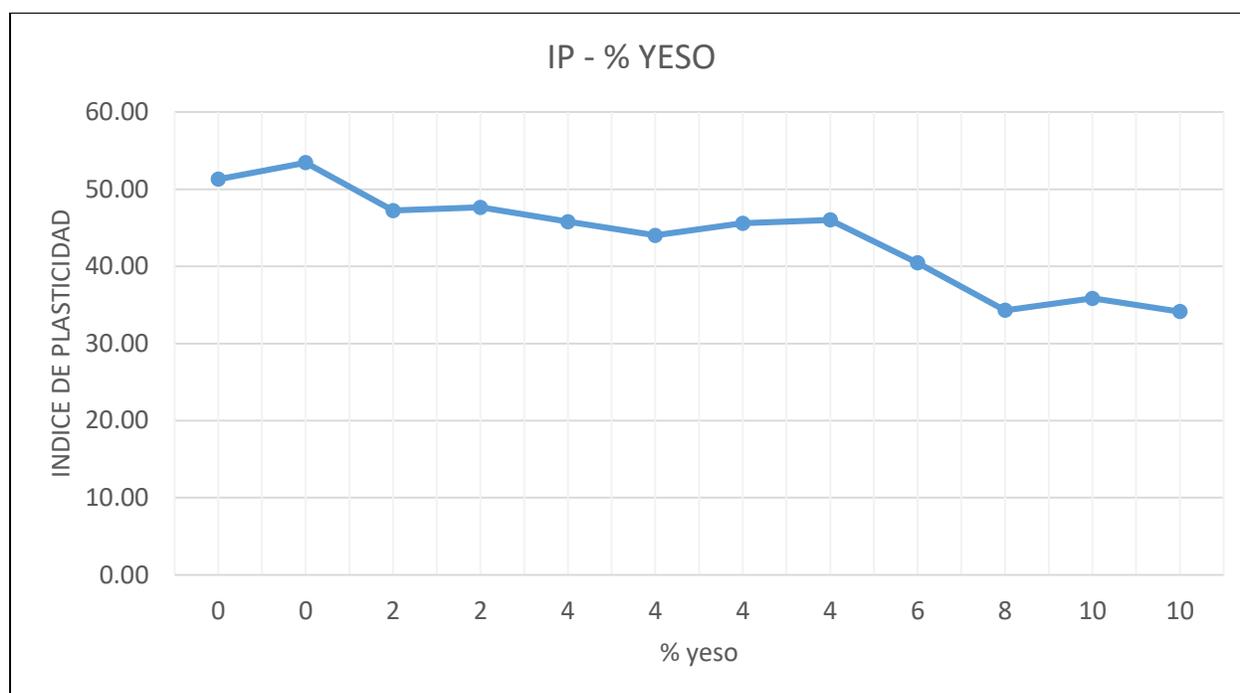


**Figura 4.8** Límites Líquidos, Límites Plásticos con distintos % de yeso Pozo III

Para el pozo 3 se tienen dos muestras con 0% de yeso, dos con 2%, cuatro con 4%, una con 6%, una con 8% y dos con 10%. La curva del límite plástico presenta una tendencia uniforme en todos los porcentajes de Yeso al igual que ocurre en el pozo 1 y pozo 2 también existe una variación en cada porcentaje pero atribuimos esta diferencia al error experimental porque no se observa una tendencia orientada a disminuir o aumentar al cambiar la cantidad de Yeso.

La curva del límite líquido presenta un comportamiento diferente a la curva del límite plástico al igual que ocurre en el pozo 1 y pozo 2, también disminuye a medida que se aumenta el porcentaje de Yeso, sin embargo esta tendencia no es uniforme en toda la trayectoria de la variable independiente, se destaca un cambio más significativo al final de la curva entre los porcentajes del 6% y 8% de igual manera que ocurre en el pozo 2, se observa nuevamente una mayor disminución en las ultimas observaciones, pero se acentúa más en el 8% de yeso.

Para identificar el comportamiento del Índice de Plasticidad con respecto a las diferentes proporciones de Yeso se presenta la siguiente gráfica:



**Figura 4.9** Índice de Plasticidad con distintos % de yeso Pozo III

Se muestra nuevamente al igual que en el pozo 1 y 2 una tendencia a disminuir a medida que se aumenta el % Yeso, es necesario destacar que no existe una distribución uniforme en el comportamiento de esta curva, se atribuye esta irregularidad a la cantidad de réplicas para cada dosificación y las leves diferencias entre cada medición del mismo porcentaje, para poder describir este comportamiento promediamos las observaciones del mismo nivel de manipulación de la variable independiente, se muestran en la siguiente tabla junto a la diferencia de este promedio con el 0% de Yeso o grupo testigo y su disminución entre cada nivel del factor o porcentaje de Yeso:

**Tabla 4.16.** Diferencia de los promedios de los distintos niveles de yeso con el suelo en estado natural Pozo III

<b>% YESO</b>	<b>IP</b>	<b>Promedio</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Disminución</b>
0	51.30	52.37		
0	53.44			
2	47.23	47.44	4.93	-4.93
2	47.65			
4	45.80	45.35	7.02	-2.09
4	44.01			
4	45.58			
4	46.01			
6	40.45	40.45	11.92	-4.90
8	34.30	34.30	18.07	-6.15
10	35.84	34.99	17.38	0.68
10	34.13			

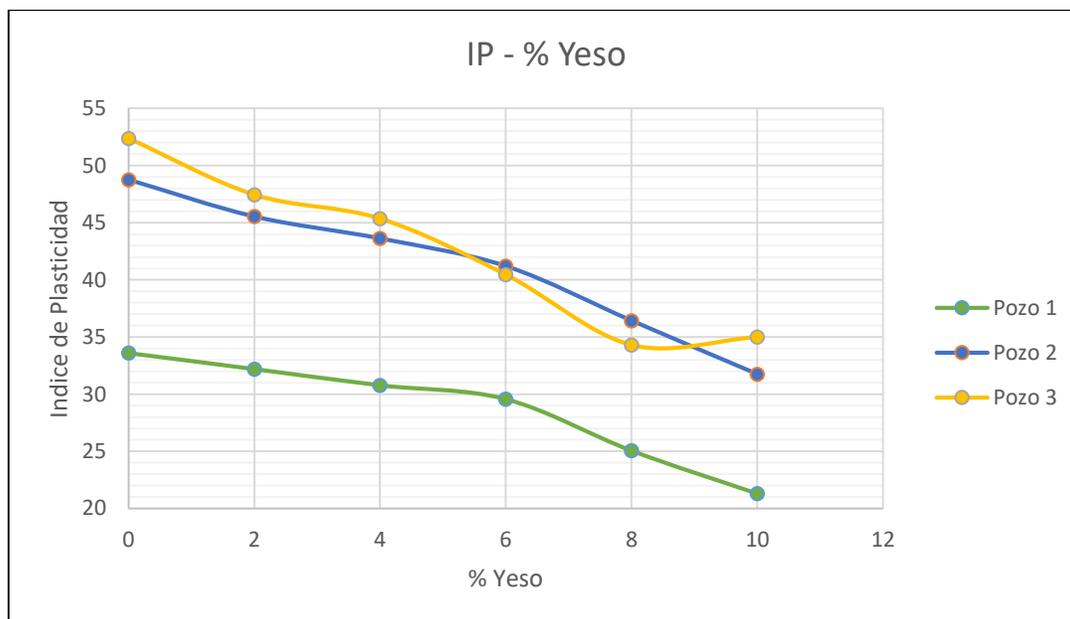
Al promediar las observaciones equivalentes o de igual dosificación se compara este valor con el resto de observaciones y se destaca que hay una disminución más significativa en el 8% de Yeso donde disminuye 6.15 con respecto al Índice de Plasticidad anterior.

Para obtener una mejor perspectiva de los resultados, se tabulan los Índices de Plasticidad en promedio de cada pozo para cada porcentaje de yeso:

**Tabla 4.17.** Promedio de los Índices de Plasticidad según cada porcentaje de yeso por Pozo

% de Yeso	Índice de Plasticidad		
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3
0	33.60	48.76	52.37
2	32.20	45.54	47.44
4	30.78	43.62	45.35
6	29.57	41.20	40.45
8	25.06	36.43	34.30
10	21.30	31.75	34.99

Se grafican los índices de plasticidad de los tres pozos para comparar las observaciones obtenidas:



**Figura 4.10** Índice de plasticidad-% de yeso de todo el tamaño muestral

La curva del pozo 1 presenta valores para IP menos que las curvas del pozo 2 y 3, aunque existe similitud entre las curvas del pozo 2 y 3 se observa que hay diferencias en los IP de cada pozo, esto indica que los puntos de muestreo tienen característica de plasticidad diferentes, no es posible obtener valores de plasticidad iguales en las tres curvas debido a que se aplica el estímulo de la variable independiente o porcentaje de yeso con la misma intensidad en los tres pozos, sin embargo se denota una disminución similar o proporcional en los tres pozos a medida que se incrementa el porcentaje de yeso, se replica una tendencia en los tres pozos donde disminuye el IP de manera uniforme entre los porcentajes 2% y 6% pero se reduce más entre los porcentajes 8% y 10%. El pozo 3 es el suelo con mayor plasticidad de los tres puntos de muestreo y se destaca una reducción más importante en el 8% de Yeso, se concluye con este comportamiento y la tendencia observada en las tres curvas que para los porcentajes de Yeso en estudio el 8% presenta una disminución del IP más significativa, en el 10% de yeso el IP continúa disminuyendo, pero en menor proporción con respecto al 8% de yeso.

#### 4.6 Ensayo para la determinación en el laboratorio de las características de compactación de los suelos

#### Cálculos para la determinación del ensayo proctor con suelo en estado natural en base a la norma AASHTO T 180 – 01

Determinación de las dimensiones del molde de compactación

Molde 1

*Peso = 4086 gr*

<b>Diámetro</b>	<b>Superior (mm)</b>	<b>Inferior (mm)</b>
D1	101.41	101.49
D2	101.18	101.57
D3	101.31	101.48
D4	101.31	101.44
D5	101.46	101.68
D6	101.44	101.59
Promedio	101.35	101.54

<b>Altura (mm)</b>	
h1	116.41
h2	116.43
h3	116.42
Promedio	116.42

Volumen del molde de compactación

$$V_m = \pi \times \frac{h_m \times (d_i + d_s)^2}{(16)(1000)}$$

$$V_m = \pi \times \frac{116.42 \times (101.54 + 101.35)^2}{(16)(1000)}$$

$$V_m = 941.01 \text{ cm}^3$$

Molde 2

*Peso = 4086 gr*

<b>Diámetro</b>	<b>Superior (mm)</b>	<b>Inferior (mm)</b>
D1	101.71	101.62
D2	101.69	101.42
D3	101.64	101.71
D4	101.69	101.63
D5	101.54	101.77
D6	101.77	101.69
Promedio	101.67	101.64

<b>Altura (mm)</b>	
h1	116.33
h2	116.41
h3	116.40
Promedio	116.38

Volumen del molde de compactación

$$V_m = \pi x \frac{h_m x (d_i + d_s)^2}{(16)(1000)}$$

$$V_m = \pi x \frac{116.38 x (101.64 + 101.67)^2}{(16)(1000)}$$

$$V_m = 944.58 \text{ cm}^3$$

A continuación, se presentan las tablas resúmenes donde se detalla el peso específico máximo y el contenido de humedad óptimo del mismo, por medio del método descrito en la norma AASHTO T 180-01

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACION DE LOS**  
**SUELOS**  
**(BASADA EN AASHTO T 180-01)**

**LABORATORIO:** MZ CONSULTORES S.A. DE S.V.

**UBICACIÓN DEL LABORATORIO:** 20ª CALLE ORIENTE NO 13, COLONIA LA ESPERANZA, SAN MIGUEL

**PROYECTO:** ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES CON LA ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

**METODO DE ENSAYO:**     C      
**MASA DEL MARTILLO:**    10 LB     
**NUMERO DE CAPAS:**     5    

**FECHA:**    28 FEB. 2020     
**NUMERO DE GOLPES:**     25      
**DESCRIPCION DEL SUELO**    A-7-6   

CUADRO RESUMEN DE LA DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS  
 CARACTERISTICAS DE COMPACTACION DE LOS SUELOS (AASHTO T 180-01)

<b>Dosificación</b>	<b>Yd (g/cm3)</b>	<b>W % Opt</b>
<b>0% - SN</b>	1.48	0.25
<b>0% - yeso</b>	1.52	0.22
<b>10% - yeso</b>	1.54	0.23
<b>20% - yeso</b>	1.67	0.19
<b>30% - yeso</b>	1.70	0.19

#### 4.6.1 Tablas resúmenes de características de compactación de los suelos con porcentajes de yeso óptimo y diferentes contenidos de grava

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACION DE LOS**  
**SUELOS**  
**(BASADA EN AASHTO T 180-01)**  
**0% GRAVA**

**LABORATORIO:** MZ CONSULTORES S.A. DE S.V.

**UBICACIÓN DEL LABORATORIO:** 20ª CALLE ORIENTE NO 13, COLONIA LA ESPERANZA, SAN MIGUEL

**PROYECTO:** ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES CON LA ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

METODO DE ENSAYO:	<u>    C    </u>	NUMERO DE GOLPES:	<u>    25    </u>
MASA DEL MARTILLO:	<u>   10 LB   </u>	NUMERO DEL MOLDE:	<u>    1    </u>
NUMERO DE CAPAS:	<u>    5    </u>	DIAMETRO INFERIOR DEL MOLDE:	<u>  101.54 mm  </u>
ALTURA DEL MOLDE:	<u>  116.43 mm  </u>	DIAMETRO SUPERIOR DEL MOLDE:	<u>  101.35 mm  </u>
HUMEDAD DEL SUELO:	<u>   13.21%   </u>	DESCRIPCION DEL SUELO	<u>   A-7-6   </u>
FECHA:	<u>  3 FEB. 2020  </u>		

#### DETERMINACION DE LA HUMEDAD

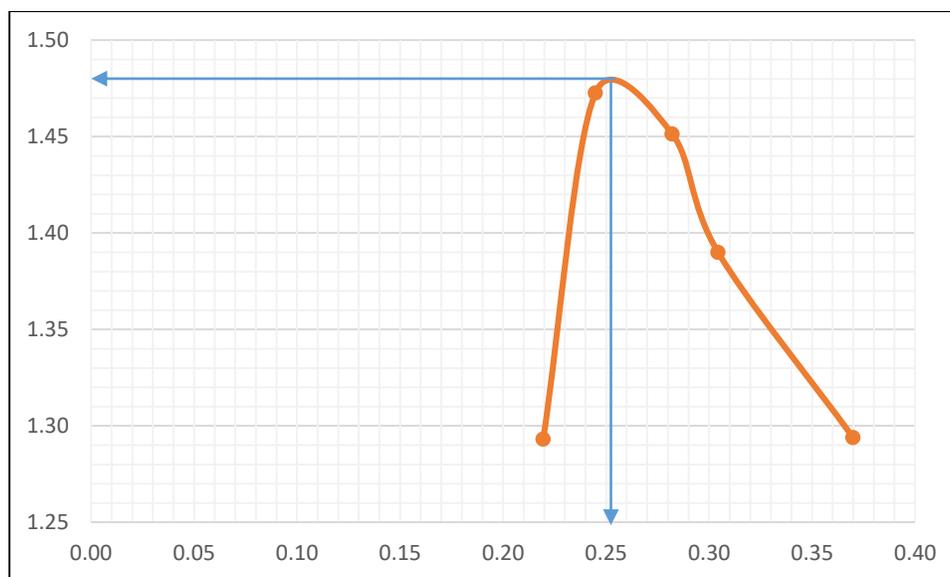
No de Muestra	1	2	3	4	5
No de tara	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1
Masa de tara (M <sub>t</sub> ) g	197	197	197	197	197
Humedad del suelo (%)	13.21	13.21	13.21	13.21	13.21
Masa de suelo humedo+tara(M <sub>h+t</sub> ) g	497	497	497	497	497
Masa de suelo seco + tara(M <sub>s+t</sub> ) g	443	438	431	427	416
Masa de agua (M <sub>w</sub> )	54	59	66	70	81
Masa de suelo seco (M <sub>s</sub> )	246	241	234	230	219
Contenido de agua (%)	22	24	28	30	37

### DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD – HUMEDAD

No de Muestra	1	2	3	4	5
Masa de la muestra de ensayo g	3000	3000	3000	3000	3000
Humedad de ensayo %	23	27	31	35	39
Volumen del agua a agregar ml	259.5	365.5	471.5	577.5	683.5
Masa de molde g	4086	4086	4086	4086	4086
Masa de suelo compactada – molde g	5570	5811	5837	5792	5754
Volumen del molde cm <sup>3</sup>	941	941	941	941	941
Peso volumétrico húmedo g/cm <sup>3</sup>	1.58	1.83	1.86	1.81	1.77
Peso volumétrico seco g/cm <sup>3</sup>	1.29	1.47	1.45	1.39	1.29

Humedad óptima: 0.25

Peso volumétrico seco máximo: 1.48 g/cm<sup>3</sup>



**Figura 4.11** Humedad de compactación-densidad de compactación para suelo en estado natural

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACION DE LOS**  
**SUELOS**  
**(BASADA EN AASHTO T 180-01)**  
**0% GRAVA-YESO**

**LABORATORIO:** MZ CONSULTORES S.A. DE S.V.

**UBICACIÓN DEL LABORATORIO:** 20ª CALLE ORIENTE NO 13, COLONIA LA ESPERANZA, SAN MIGUEL

**PROYECTO:** ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES CON LA ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

METODO DE ENSAYO:	<u>C</u>	NUMERO DEL MOLDE:	<u>1 &amp; 2</u>
MASA DEL MARTILLO:	<u>10 LB</u>	DIAMETRO INFERIOR DEL MOLDE:	<u>101.54 mm</u>
NUMERO DE CAPAS:	<u>5</u>	& 101.64 mm	
ALTURA DEL MOLDE:	<u>116.43 mm &amp; 116.48 mm</u>	DIAMETRO SUPERIOR DEL MOLDE:	<u>101.35 mm</u>
HUMEDAD DEL SUELO:	<u>9.5898 %</u>	& 101.67 mm	
FECHA:	<u>10 FEB. 2020</u>	DESCRIPCION DEL SUELO	<u>A-7-6</u>
NUMERO DE GOLPES:	<u>25</u>		

**DETERMINACION DE LA HUMEDAD**

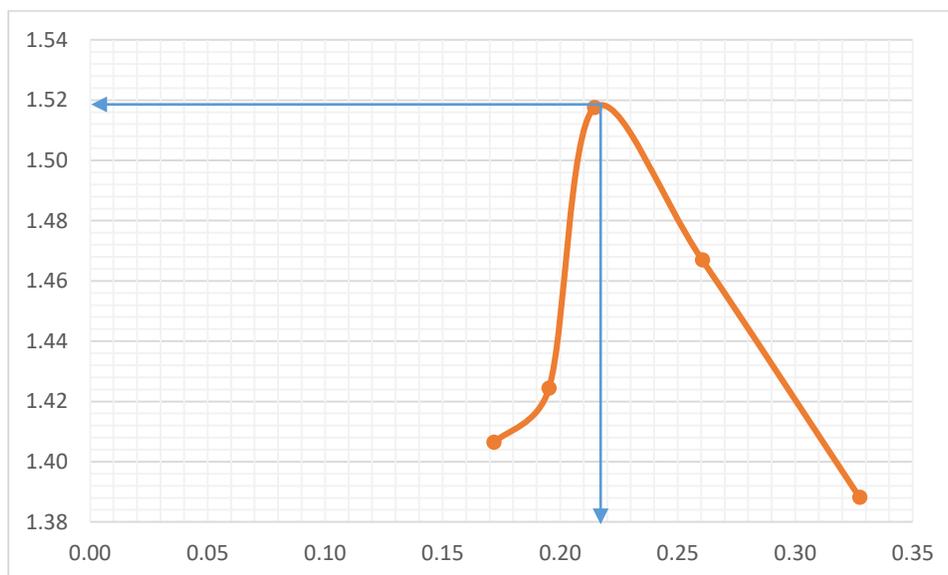
No de Muestra	1	2	3	4	5
No de tara	1-1	1-2	1-3	1-1	1-2
Masa de tara (M <sub>t</sub> ) g	197	196	192	197	196
Humedad del suelo	9.59	9.59	9.59	9.59	9.59
Masa de suelo humedo+tara(M <sub>h+t</sub> ) g	497	496	492	497	496
Masa de suelo seco + tara(M <sub>s+t</sub> ) g	453	447	439	435	422
Masa de agua (M <sub>w</sub> ) g	44	49	53	62	74
Masa de suelo seco (M <sub>s</sub> ) g	256	251	247	238	226
Contenido de agua (%)	17	19	21	26	33

### DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD – HUMEDAD

No de Muestra	1	2	3	4	5
Masa de la muestra de ensayo g	3000	3000	3000	3000	3000
Humedad de ensayo %	15	19	23	27	31
Volumen del agua a agregar ml	148.10	257.6	367.10	476.6	586.1
Masa de molde g	4086	4086	3892	4086	4086
Masa de suelo compactada – molde g	5637	5688	5633	5826	5820
Volumen del molde cm <sup>3</sup>	941	941	944.58	941	941
Peso volumétrico húmedo g/cm <sup>3</sup>	1.65	1.70	1.84	1.85	1.84
Peso volumétrico seco g/cm <sup>3</sup>	1.41	1.43	1.52	1.47	1.38

Humedad óptima: 0.22

Peso volumétrico seco máximo: 1.52 g/cm<sup>3</sup>



**Figura 4.12** Humedad de compactación-densidad de compactación para suelo con 8% de yeso

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACION DE LOS**  
**SUELOS**  
**(BASADA EN AASHTO T 180-01)**  
**10% GRAVA-YESO**

**LABORATORIO:** MZ CONSULTORES S.A. DE S.V.

**UBICACIÓN DEL LABORATORIO:** 20ª CALLE ORIENTE NO 13, COLONIA LA ESPERANZA, SAN MIGUEL

**PROYECTO:** ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES CON LA ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

METODO DE ENSAYO:	<u>          C          </u>	NUMERO DE GOLPES:	<u>          25          </u>
MASA DEL MARTILLO:	<u>          10 LB          </u>	NUMERO DEL MOLDE:	<u>          1          </u>
NUMERO DE CAPAS:	<u>          5          </u>	DIAMETRO INFERIOR DEL MOLDE:	<u>          101.54 mm          </u>
ALTURA DEL MOLDE:	<u>          116.43 mm          </u>	DIAMETRO SUPERIOR DEL MOLDE:	<u>          101.35          </u>
HUMEDAD DEL SUELO:	<u>          9.5898 %          </u>	<u>          mm          </u>	
FECHA:	<u>          13 FEB. 2020          </u>	DESCRIPCION DEL SUELO	<u>          A-7-6          </u>

**DETERMINACION DE LA HUMEDAD**

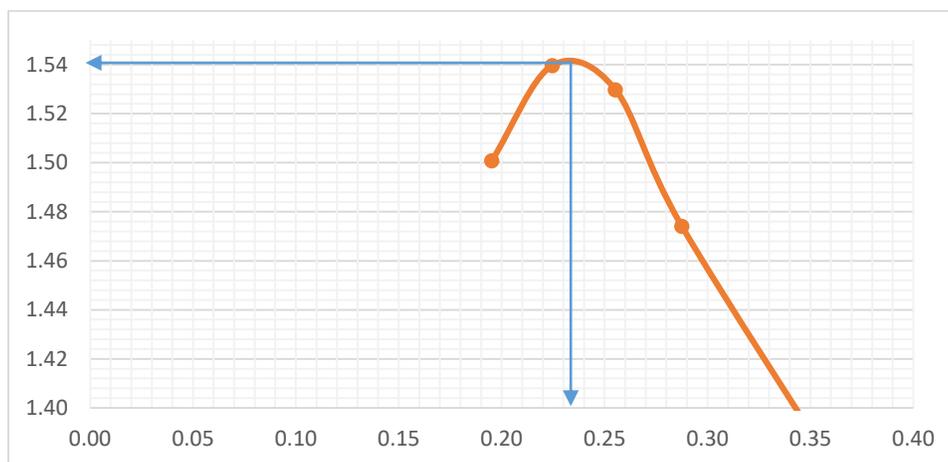
No de Muestra	1	2	3	4	5
No de tara	1-4	1-3	1-2	1-4	1-3
Masa de tara (M <sub>t</sub> ) g	184	192	196	184	192
Humedad del suelo (%)	9.59	9.59	9.59	11.11	11.94
Masa de suelo humedo+tara(M <sub>h+t</sub> ) g	484	492	496	484	492
Masa de suelo seco + tara(M <sub>s+t</sub> ) g	435	437	435	417	410
Masa de agua (M <sub>w</sub> ) g	49	55	61	67	82
Masa de suelo seco (M <sub>s</sub> ) g	251	245	239	233	218
Contenido de agua (%)	19	22	25	29	38

### DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD – HUMEDAD

No de Muestra	1	2	3	4	5
Masa de la muestra de ensayo g	3000	3000	3000	3000	3000
Humedad de ensayo %	19	23	27	31	35
Volumen del agua a agregar ml	429.34	611.84	794.33	895	1030
Masa de molde g	4086	4086	4086	4086	4086
Masa de suelo compactado – molde g	5774	5860	5893	5872	5842
Volumen del molde cm <sup>3</sup>	941	941	944.58	941	941
Peso volumétrico húmedo g/cm <sup>3</sup>	1.79	1.89	1.92	1.89	1.87
Peso volumétrico seco g/cm <sup>3</sup>	1.50	1.54	1.53	1.47	1.36

Humedad óptima: 0.23

Peso volumétrico seco máximo: 1.54 g/cm<sup>3</sup>



**Figura 4.13** Humedad de compactación-densidad de compactación para suelo con 8% de yeso y 10% de grava

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACION DE LOS**  
**SUELOS**  
**(BASADA EN AASHTO T 180-01)**  
**20% GRAVA-YESO**

**LABORATORIO:** MZ CONSULTORES S.A. DE S.V.

**UBICACIÓN DEL LABORATORIO:** 20ª CALLE ORIENTE NO 13, COLONIA LA ESPERANZA, SAN MIGUEL

**PROYECTO:** ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES CON LA ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

METODO DE ENSAYO:	<u>          C          </u>	NUMERO DE GOLPES:	<u>          25          </u>
MASA DEL MARTILLO:	<u>          10 LB          </u>	NUMERO DEL MOLDE:	<u>          1          </u>
NUMERO DE CAPAS:	<u>          5          </u>	DIAMETRO INFERIOR DEL MOLDE:	<u>          101.54 mm          </u>
ALTURA DEL MOLDE:	<u>          116.43 mm          </u>	DIAMETRO SUPERIOR DEL MOLDE:	<u>          101.35          </u>
HUMEDAD DEL SUELO:	<u>          9.489 %          </u>		<u>          mm          </u>
FECHA:	<u>          17 FEB. 2020          </u>	DESCRIPCION DEL SUELO	<u>          A-7-6          </u>

**DETERMINACION DE LA HUMEDAD**

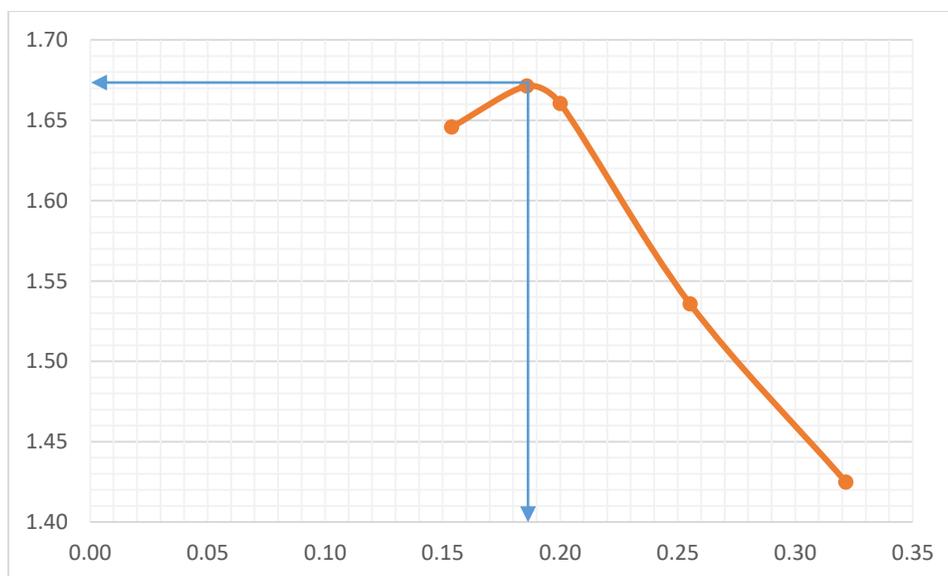
No de Muestra	1	2	3	4	5
No de tara	1-1	1-3	1-4	1-2	1-1
Masa de tara (M <sub>t</sub> ) g	197	192	184	196	197
Humedad del suelo (%)	9.49	6.38	9.49	9.49	9.49
Masa de suelo humedo+tara(M <sub>h+t</sub> ) g	497	492	484	496	497
Masa de suelo seco + tara(M <sub>s+t</sub> ) g	457	445	434	435	424
Masa de agua (M <sub>w</sub> ) g	40	47	50	61	73
Masa de suelo seco (M <sub>s</sub> ) g	260	253	250	239	227
Contenido de agua (%)	15	18	20	25	32

### DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD – HUMEDAD

No de Muestra	1	2	3	4	5
Masa de la muestra de ensayo g	3000	3000	3000	3000	3000
Humedad de ensayo %	15	19	23	27	31
Volumen del agua a agregar ml	251.67	593	617	799.67	982.33
Masa de molde g	4086	4086	4086	4086	4086
Masa de suelo compactado – molde g	5873	5951	5961	5900	5858
Volumen del molde cm <sup>3</sup>	941	941	941	941	941
Peso volumétrico húmedo g/cm <sup>3</sup>	1.9	1.98	1.99	1.93	1.88
Peso volumétrico seco g/cm <sup>3</sup>	1.65	1.68	1.66	1.54	1.42

Humedad óptima: 0.19

Peso volumétrico seco máximo: 1.67 g/cm<sup>3</sup>



**Figura 4.14** Humedad de compactación-densidad de compactación para suelo con 8% de yeso y 20% de grava

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACION DE LOS**  
**SUELOS**  
**(BASADA EN AASHTO T 180-01)**  
**30% GRAVA-YESO**

**LABORATORIO:** MZ CONSULTORES S.A. DE S.V.

**UBICACIÓN DEL LABORATORIO:** 20ª CALLE ORIENTE NO 13, COLONIA LA ESPERANZA, SAN MIGUEL

**PROYECTO:** ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES CON LA ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

METODO DE ENSAYO:	<u>C</u>	NUMERO DE GOLPES:	<u>25</u>
MASA DEL MARTILLO:	<u>10 LB</u>	NUMERO DEL MOLDE:	<u>1</u>
NUMERO DE CAPAS:	<u>5</u>	DIAMETRO INFERIOR DEL MOLDE:	<u>101.54 mm</u>
ALTURA DEL MOLDE:	<u>116.43 mm</u>	DIAMETRO SUPERIOR DEL MOLDE:	<u>101.35 mm</u>
HUMEDAD DEL SUELO:	<u>9.489 %</u>	DESCRIPCION DEL SUELO	<u>A-7-6</u>
FECHA:	<u>20 FEB. 2020</u>		

**DETERMINACION DE LA HUMEDAD**

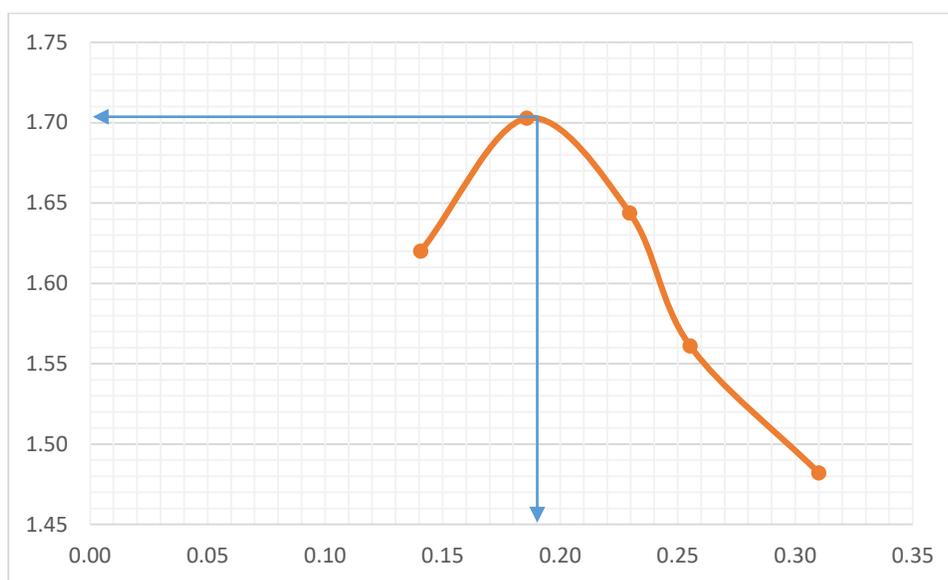
No de Muestra	1	2	3	4	5
No de tara	1-3	1-4	1-2	1-5	1-1
Masa de tara (M <sub>t</sub> ) g	192	184	196	198	197
Humedad del suelo (%)	6.38	6.38	9.49	9.49	9.49
Masa de suelo humedo+tara(M <sub>h+t</sub> ) g	492	484	496	498	497
Masa de suelo seco + tara(M <sub>s+t</sub> ) g	455	437	440	437	426
Masa de agua (M <sub>w</sub> ) g	37	47	56	61	71
Masa de suelo seco (M <sub>s</sub> ) g	263	253	244	239	229
Contenido de agua (%)	14	18	23	26	31

### DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD – HUMEDAD

No de Muestra	1	2	3	4	5
Masa de la muestra de ensayo g	3000	3000	3000	3000	3000
Humedad de ensayo %	15	19	23	27	31
Volumen del agua a agregar ml	405	593	617	800	982
Masa de molde g	4086	4086	4086	4086	4086
Masa de suelo compactado – molde g	5825	5986	5988	5930	5913
Volumen del molde cm <sup>3</sup>	941	941	941	941	941
Peso volumétrico húmedo g/cm <sup>3</sup>	1.85	2.02	2.02	1.96	1.94
Peso volumétrico seco g/cm <sup>3</sup>	1.62	1.70	1.64	1.56	1.48

Humedad óptima: 0.19

Peso volumétrico seco máximo: 1.70 g/cm<sup>3</sup>



**Figura 4.15** Humedad de compactación-densidad de compactación para suelo con 8% de yeso y 30% de grava

#### 4.7 Ensayo para la determinación en el laboratorio del valor de soporte de california (CBR)

#### Cálculos para la determinación del ensayo de CBR con suelo en estado natural en base a la norma ASTM T-180

Determinación de las dimensiones del molde de compactación

<b>Diámetro</b>	<b>Superior (mm)</b>	<b>Inferior (mm)</b>
<b>D1</b>	151.77	151.74
<b>D2</b>	151.46	151.42
<b>D3</b>	151.75	151.69
<b>D4</b>	151.58	151.61
<b>Promedio</b>	151.64	151.62

<b>Altura (mm)</b>	
h1	116.18
h2	116.35
h3	116.25
h4	116.22
<b>Promedio</b>	116.25

**Nota:** Se utilizará el mismo molde para los próximos ensayos.

#### 4.7.1 Suelo en estado natural

Compactación del suelo

<b>Molde No.</b>	1	1	1
<b>No. de golpes</b>	56	25	10
<b>Peso suelo húmedo + molde (kg)</b>	10.309	9.587	8.988
<b>Peso molde (kg)</b>	6.419	6.469	6.419
<b>Peso suelo húmedo (kg)</b>	3.89	3.118	2.569
<b>Volumen del molde (m3)</b>	0.0021	0.0021	0.0021
<b>Peso tara</b>	196	196	196
<b>Peso suelo húmedo + tara</b>	496	496	496
<b>peso suelo seco + tara</b>	436.22	435.76	436.07
<b>Contenido de agua (%)</b>	24.89	25.13	24.96
<b>Peso volumétrico húmedo (kg/m3)</b>	1853.15	1485.38	1223.84
<b>Peso volumétrico seco (kg/m3)</b>	1483.88	1187.11	979.36
<b>peso de la muestra antes penetración (Kg)</b>	4.41	3.56	2.99
<b>saturada + molde después penetración (Kg)</b>	10.83	10.03	9.41
<b>peso muestra saturada después penetración (Kg)</b>	4.41	3.56	2.99
<b>Peso volumétrico húmedo saturado (kg/m3)</b>	2100.52	1696.76	1423.00
<b>peso volumétrico seco saturado (kg/m3)</b>	1483.88	1187.11	979.36

Humedades de muestras saturadas

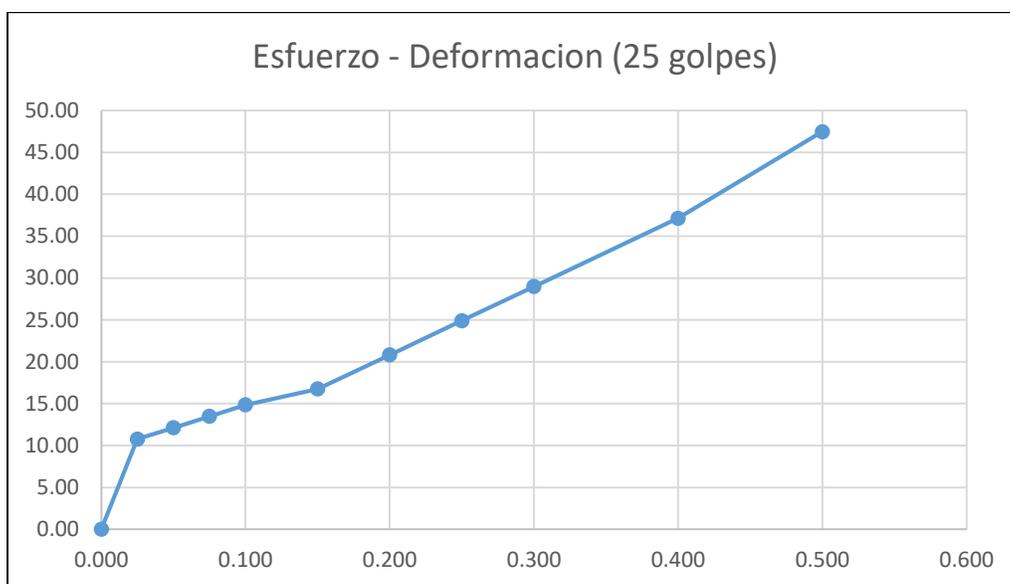
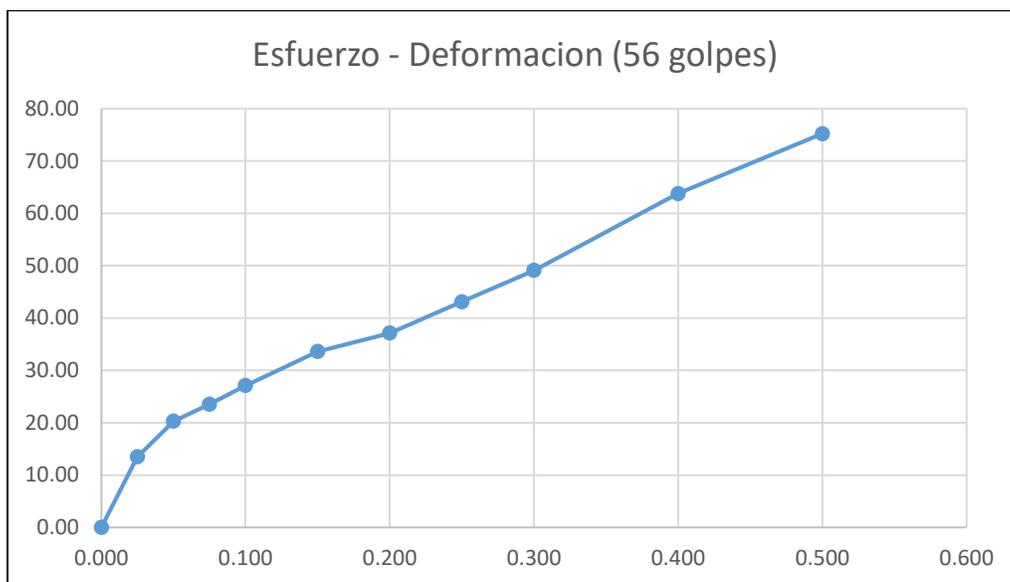
<b>tara No.</b>	1.00	1.00	1.00
<b>peso suelo húmedo + tara</b>	492.00	492.00	492.00
<b>peso suelo seco + tara</b>	403.93	401.89	398.47
<b>peso de tara</b>	192.00	192.00	192.00
<b>peso de agua</b>	88.07	90.11	93.53
<b>peso de suelo seco</b>	211.93	209.89	206.47
<b>contenido de agua</b>	41.56	42.93	45.30

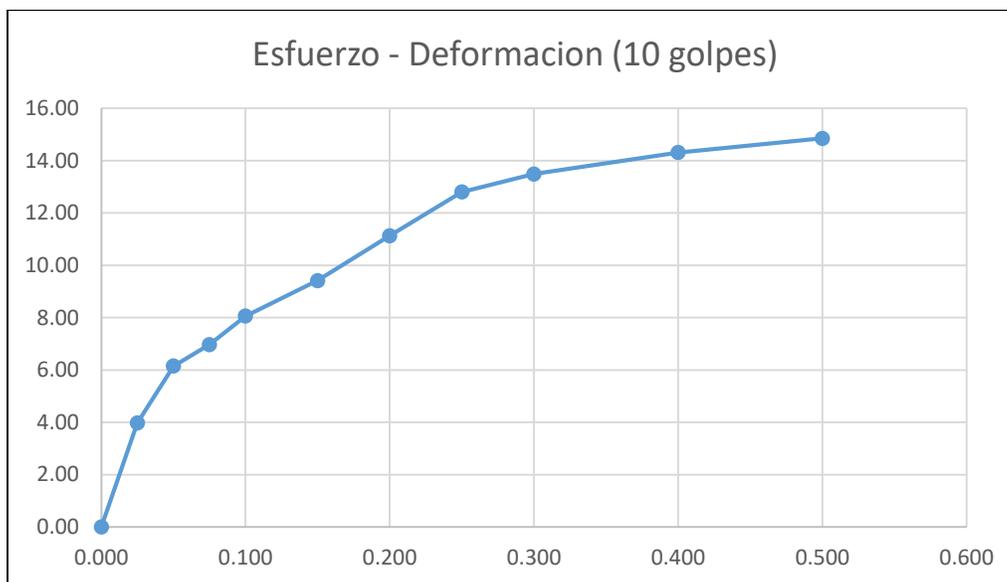
## Registro de hinchamiento

<b>molde No.1</b>			<b>molde No.1</b>			<b>molde No.1</b>		
<b>No de golpes</b>	56		<b>No de golpes</b>	25		<b>No de golpes</b>	10	
<b>sobrecarga</b>	10 Lb			10 Lb		<b>sobrecarga</b>	10 Lb	
<b>fecha</b>	<b>lectura</b>	<b>deforma</b>	<b>fecha</b>	<b>lectura</b>	<b>deforma</b>	<b>fecha</b>	<b>lectura</b>	<b>deforma</b>
13/7/2020	0.00	0.0000	13/7/2020	0.00	0.0000	0/1/1900	0.00	0.0000
10:47			10:47			10:47		
14/7/2020	251.00	0.2510	14/7/2020	467.00	0.4670	14/7/2020	485.00	0.4850
10:47			10:47			10:47		
15/7/2020	401.00	0.4010	15/7/2020	478.00	0.478000	15/7/2020	570.00	0.5700
10:47			10:47			10:47		
16/7/2020	448.00	0.4480	16/7/2020	482.00	0.4820	16/7/2020	608.00	0.6080
10:47			10:47			10:47		
17/7/2020	481.00	0.4810	17/7/2020	489.02	0.4890	17/7/2020	650.00	0.6500
10:47			10:47			10:47		

## Registro de Penetraciones

<b>Penetración en pulg</b>	<b>molde No.</b>	1	<b>molde No.</b>	1	<b>molde No.</b>	1
	<b>No de golpes</b>	56	<b>No de golpes</b>	25.00	<b>No de golpes</b>	10
	<b>lect. (0.001")</b>	Lb /pulg <sup>2</sup>	<b>lect. (0.001")</b>	Lb /pulg <sup>2</sup>	<b>lect. (0.001")</b>	Lb /pulg <sup>2</sup>
0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.025	0.025	13.49	0.025	10.77	0.025	3.98
0.050	0.050	20.29	0.050	12.13	0.050	6.15
0.075	0.075	23.55	0.075	13.49	0.075	6.97
0.100	0.100	27.08	0.100	14.85	0.100	8.06
0.150	0.150	33.60	0.150	16.75	0.150	9.42
0.200	0.200	37.14	0.200	20.83	0.200	11.13
0.250	0.250	43.12	0.250	24.91	0.250	12.80
0.300	0.300	49.10	0.300	28.99	0.300	13.49
0.400	0.400	63.78	0.400	37.14	0.400	14.31
0.500	0.500	75.19	0.500	47.46	0.500	14.85



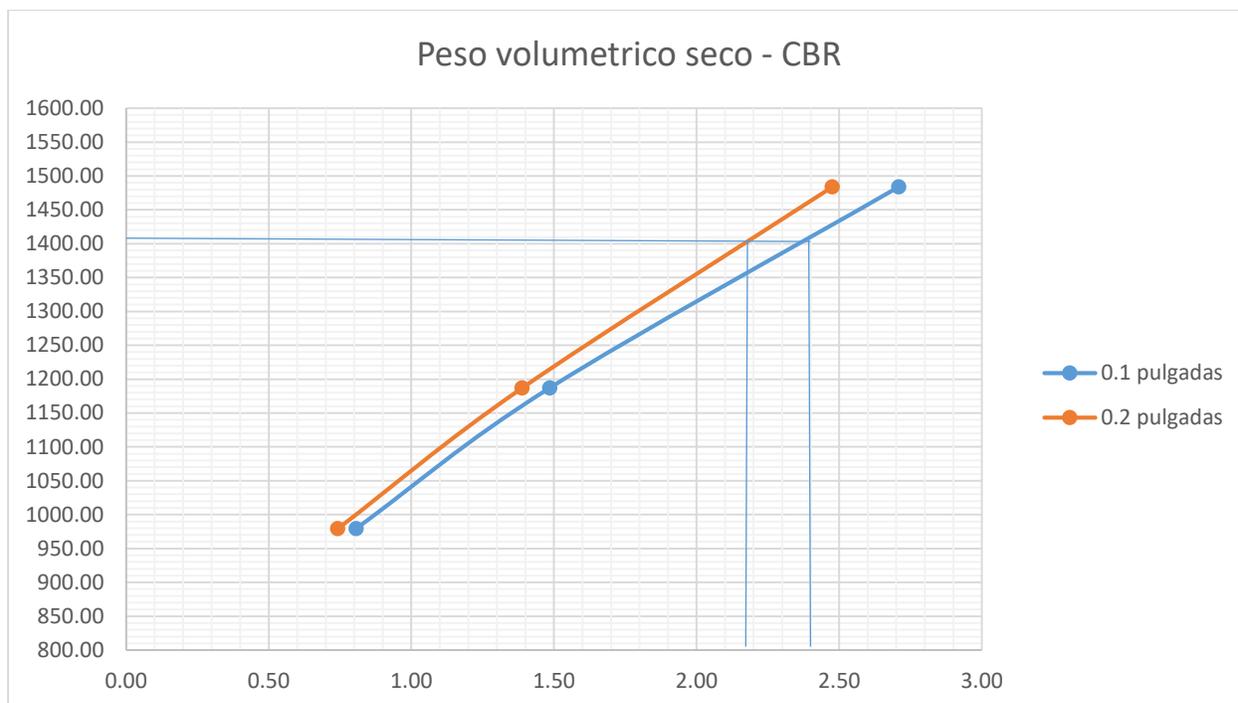


Carga estándar	molde No.	1	CBR	molde No.	1	CBR	molde No.	1	CBR
	No de golpes	56		No de golpes	25		No de golpes	10	
	lect. (0.001")	Lb /pulg <sup>2</sup>		lect. (0.001")	Lb /pulg <sup>2</sup>		lect. (0.001")	Lb /pulg <sup>2</sup>	
	0.000	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
	0.025	13.49		0.025	10.77		0.025	3.98	
	0.050	20.29		0.050	12.13		0.050	6.15	
	0.075	23.55		0.075	13.49		0.075	6.97	
1000.00	0.100	27.08	2.708	0.100	14.85	1.484	0.100	8.06	0.8058
	0.150	33.60		0.150	16.75		0.150	9.42	
1500.00	0.200	37.14	2.475	0.200	20.83	1.388	0.200	11.13	0.7419
	0.250	43.12		0.250	24.91		0.250	12.80	
	0.300	49.10		0.300	28.99		0.300	13.49	
	0.400	63.78		0.400	37.14		0.400	14.31	
	0.500	75.19		0.500	47.46		0.500	14.85	

<b>Numero de golpes</b>	<b>CBR (1000)</b>	<b>Densidad seca</b>
56 golpes	2.71	1483.88
25 golpes	1.48	1187.11
10 golpes	0.81	979.36

<b>Numero de golpes</b>	<b>CBR (1500)</b>	<b>Densidad seca</b>
56 golpes	2.48	1483.88
25 golpes	1.39	1187.11
10 golpes	0.74	979.36

<b>Densidad Máxima Proctor (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.48
<b>Densidad Máxima Proctor (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1480
<b>Densidad al 95%</b>	1406



**CBR (0.1") 2.37**

**CBR (0.2") 2.18**

#### 4.7.2 Suelo estabilizado sin grava

##### Compactación de suelo estabilizado con 8% de yeso y sin grava

<b>Molde No.</b>	1	1	1
<b>No. de golpes</b>	56	25	10
<b>Peso suelo húmedo + molde (kg)</b>	10.587343	9.845849	9.230676
<b>Peso molde (kg)</b>	6.419	6.419	6.419
<b>Peso suelo húmedo (kg)</b>	4.168343	3.426849	2.811676
<b>Volumen del molde (m3)</b>	0.00209913	0.00209913	0.00209913
<b>Peso tara</b>	192	192	192
<b>Peso suelo húmedo + tara</b>	492	492	492
<b>peso suelo seco + tara</b>	435.66	436.54	437.55
<b>Contenido de agua (%)</b>	23.12	22.68	22.17
<b>Peso volumétrico húmedo (kg/m3)</b>	1985.75	1632.51	1339.45
<b>Peso volumétrico seco (kg/m3)</b>	1612.82	1330.71	1096.34
<b>peso de la muestra antes penetración (Kg)</b>	4.43	3.76	3.18
<b>saturada + molde después penetración (Kg)</b>	10.85	10.18	9.60
<b>peso muestra saturada después penetración (Kg)</b>	4.43	3.76	3.18
<b>Peso volumétrico húmedo saturado (kg/m3)</b>	2108.91	1789.47	1514.63
<b>peso volumétrico seco saturado (kg/m3)</b>	1612.8226	1330.7112	1096.3371

##### Humedades de las muestras saturadas

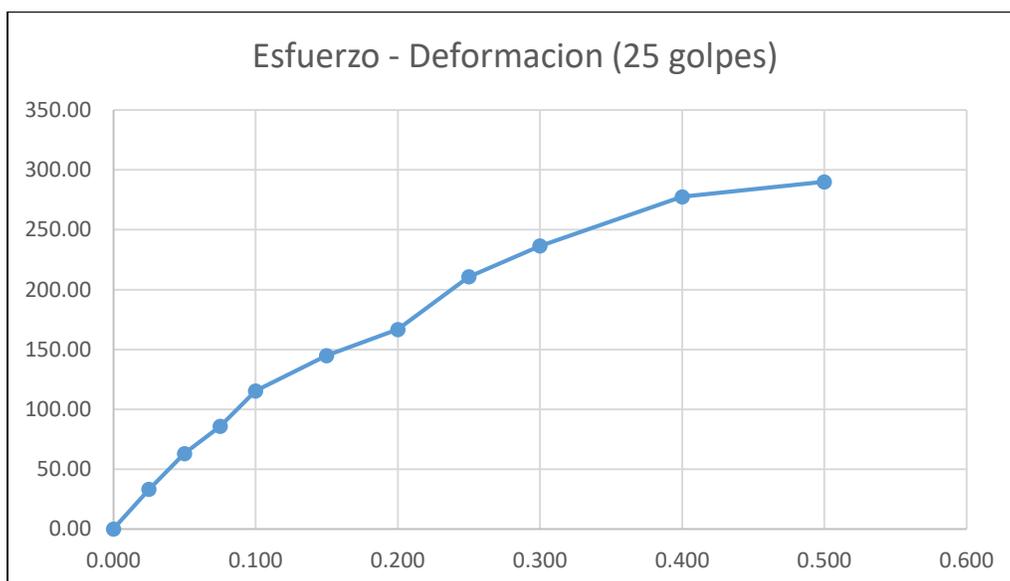
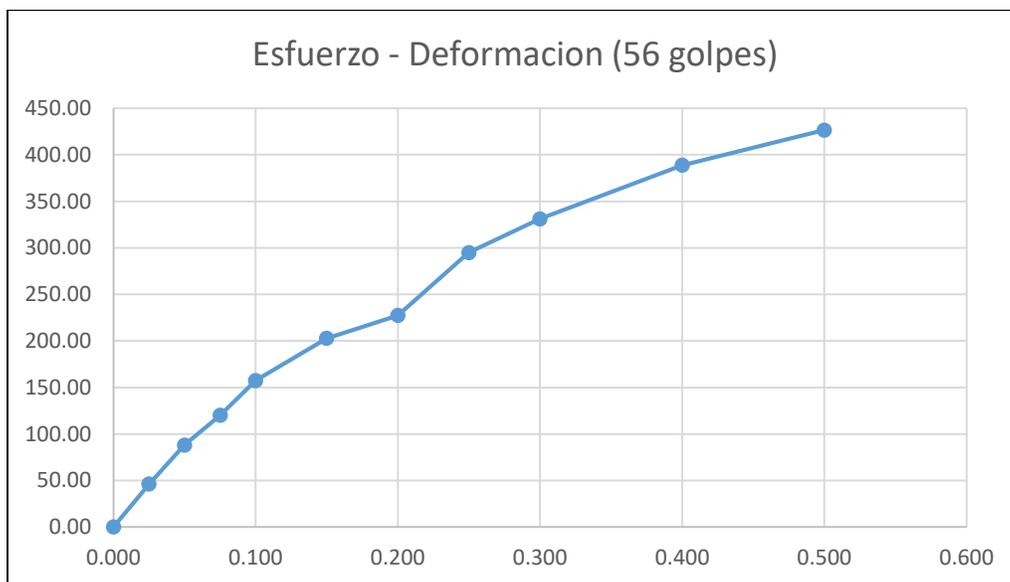
<b>tara No.</b>	1	1	1
<b>peso suelo húmedo + tara</b>	484	484	484
<b>peso suelo seco + tara</b>	413.43	407.09	401.15
<b>peso de tara</b>	184	184	184
<b>peso de agua</b>	70.57	76.91	82.85
<b>peso de suelo seco</b>	229.43	223.09	217.15
<b>contenido de agua</b>	30.75883712	34.47487561	38.15335022

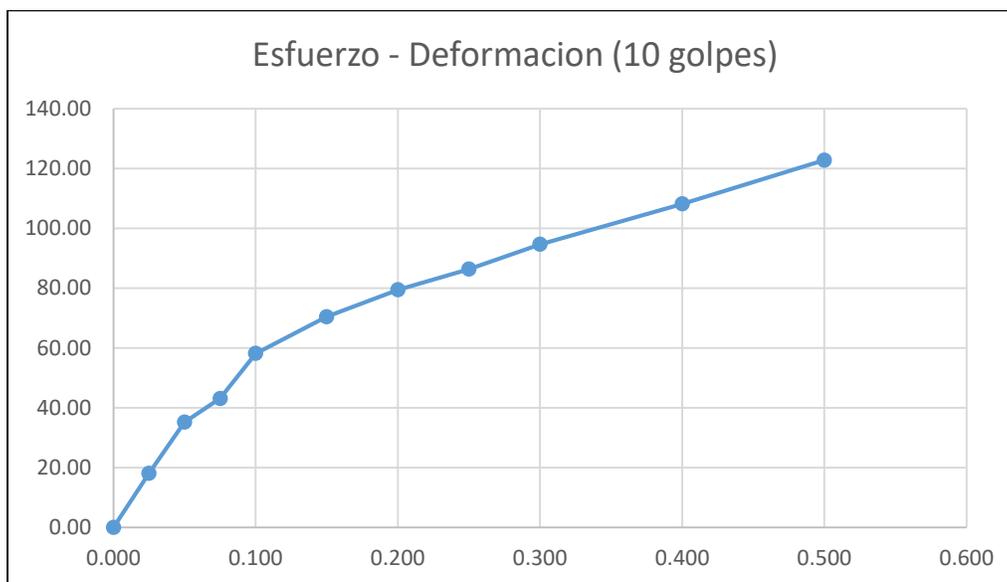
## Registro de Hinchamiento

molde No.1			molde No.1			molde No.1		
No de golpes	56		No de golpes	25		No de golpes	10	
Sobrecarga	10 Lb		sobrecarga	10 Lb		sobrecarga	10 Lb	
Fecha	Lectura	Deforma	Fecha	Lectura	Deforma	Fecha	Lectura	Deforma
13/7/2020	0.00	0.0000	13/7/2020	0.00	0.0000	0/1/1900	0.00	0.0000
10:47			10:47			10:47		
14/7/2020	151.0	0.1510	14/7/2020	283.0	0.2830	14/7/2020	294.0	0.2940
10:47			10:47			10:47		
15/7/2020	235.0	0.2350	15/7/2020	286.0	0.2860	15/7/2020	342.0	0.3420
10:47			10:47			10:47		
16/7/2020	270.0	0.2700	16/7/2020	290.0	0.2900	16/7/2020	375.0	0.3750
10:47			10:47			10:47		
17/7/2020	278.0	0.2780	17/7/2020	295.0	0.2950	17/7/2020	390.0	0.3900
10:47			10:47			10:47		

## Registro de Penetraciones

Penetración en pulg	molde No.	1	molde No.	1	molde No.	1
	No de golpes	56	No de golpes	25	No de golpes	10
	lect. (0.001")	Lb /pulg2	lect. (0.001")	Lb /pulg2	lect. (0.001")	Lb /pulg2
0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.025	0.025	46.24	0.025	33.07	0.025	18.12
0.050	0.050	88.12	0.050	62.94	0.050	35.16
0.075	0.075	120.05	0.075	85.74	0.075	43.12
0.100	0.100	157.45	0.100	115.32	0.100	58.17
0.150	0.150	202.83	0.150	144.89	0.150	70.44
0.200	0.200	227.34	0.200	166.66	0.200	79.41
0.250	0.250	294.90	0.250	210.73	0.250	86.32
0.300	0.300	331.11	0.300	236.48	0.300	94.66
0.400	0.400	388.71	0.400	277.63	0.400	108.12
0.500	0.500	426.55	0.500	290.12	0.500	122.76



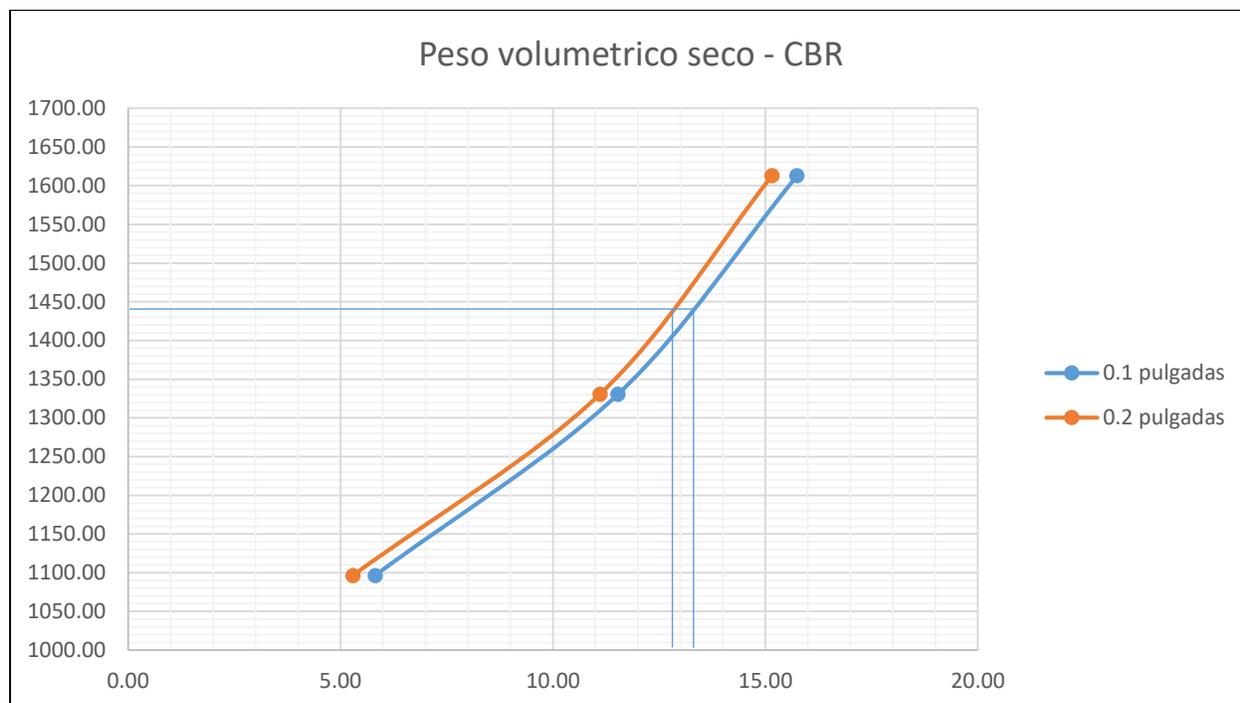


Carga estándar	molde No.	1	CBR	molde No.	1	CBR	molde No.	1	CBR
	No de golpes	56		No de golpes	25		No de golpes	10	
	lect. (0.001")	Lb /pulg2		lect. (0.001")	Lb /pulg2		lect. (0.001")	Lb /pulg2	
	0.000	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
	0.025	46.24		0.025	33.07		0.025	18.12	
	0.050	88.12		0.050	62.94		0.050	35.16	
	0.075	120.05		0.075	85.74		0.075	43.12	
1000	0.100	157.45	15.744	0.100	115.32	11.532	0.100	58.17	5.817
	0.150	202.83		0.150	144.89		0.150	70.44	
1500	0.200	227.34	15.15	0.200	166.66	11.11	0.200	79.41	5.29
	0.250	294.90		0.250	210.73		0.250	86.32	
	0.300	331.11		0.300	236.48		0.300	94.66	
	0.400	388.71		0.400	277.63		0.400	108.12	
	0.500	426.55		0.500	290.12		0.500	122.76	

<b>Numero de golpes</b>	<b>CBR (1000)</b>	<b>Densidad seca</b>
56 golpes	15.74	1612.82
25 golpes	11.53	1330.71
10 golpes	5.82	1096.34

<b>Numero de golpes</b>	<b>CBR (1500)</b>	<b>Densidad seca</b>
56 golpes	15.16	1612.82
25 golpes	11.11	1330.71
10 golpes	5.29	1096.34

<b>Densidad Máxima Proctor (g/cm3)</b>	1.52
<b>Densidad Máxima Proctor (kg/m3)</b>	1520
<b>Densidad al 95%</b>	1444



**CBR (0.1'') 13.3**

**CBR (0.2'') 12.9**

### 4.7.3 Suelo estabilizado + 10% grava

#### Compactación de suelo estabilizado con 8% de yeso y 10% de grava

<b>Molde No.</b>	1	1	1
<b>No. de golpes</b>	56	25	10
<b>Peso suelo húmedo + molde (kg)</b>	10.724	9.9738	9.3506
<b>Peso molde (kg)</b>	6.419	6.419	6.419
<b>Peso suelo húmedo (kg)</b>	4.3059	3.5548	2.9316
<b>Volumen del molde (m3)</b>	0.0021	0.0021	0.0021
<b>Peso tara</b>	194	194	194
<b>Peso suelo húmedo + tara</b>	494	494	494
<b>peso suelo seco + tara</b>	437.16	438.47	438.07
<b>Contenido de agua (%)</b>	23.3755	22.7144	22.9155
<b>Peso volumétrico húmedo (kg/m3)</b>	2051.3135	1693.4830	1396.6126
<b>Peso volumétrico seco (kg/m3)</b>	1662.6579	1380.0193	1136.2375
<b>peso de la muestra antes penetración (Kg)</b>	4.517394	3.859198	3.268621
<b>saturada + molde después penetración (Kg)</b>	10.93639	10.27819	9.687621
<b>peso muestra saturada después penetración (Kg)</b>	4.517394	3.859198	3.268621
<b>Peso volumétrico húmedo saturado (kg/m3)</b>	2152.029	1838.473	1557.1296
<b>peso volumétrico seco saturado (kg/m3)</b>	1662.657	1380.0193	1136.2375

Humedad de muestra saturada

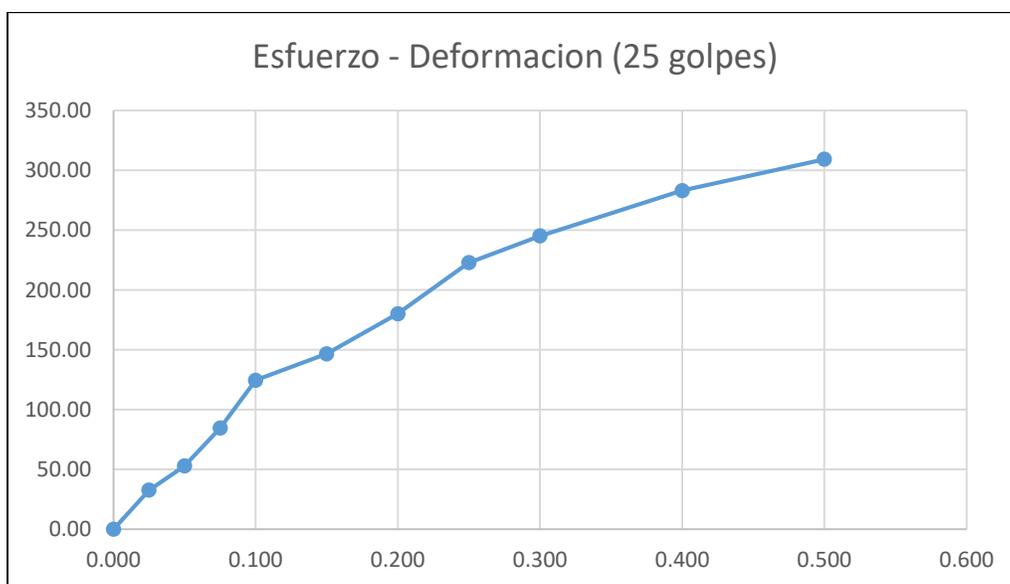
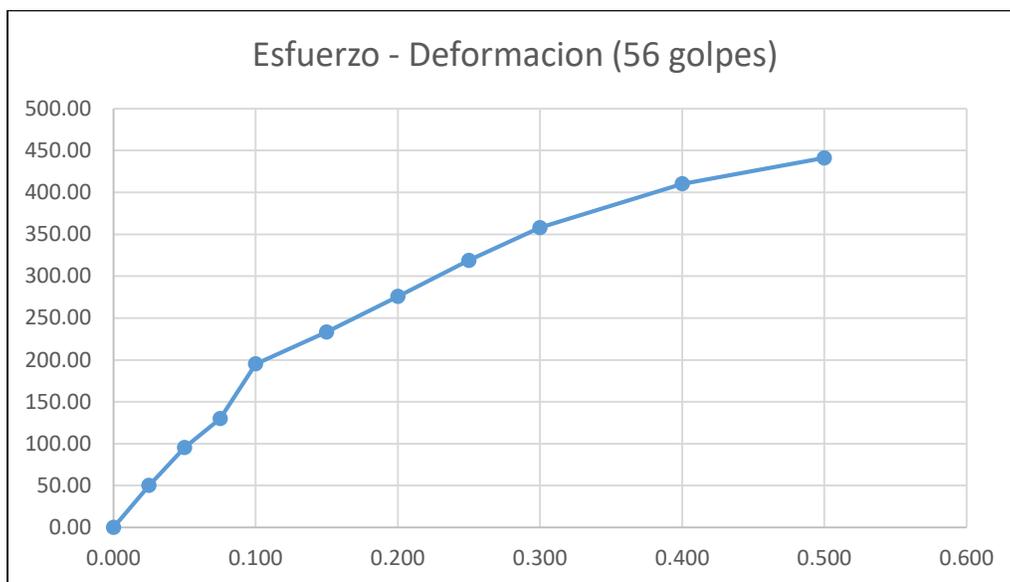
<b>tara No.</b>	1	1	1
<b>peso suelo húmedo + tara</b>	484	484	484
<b>peso suelo seco + tara</b>	415.78	409.19	402.91
<b>peso de tara</b>	184	184	184
<b>peso de agua</b>	68.22	74.81	81.09
<b>peso de suelo seco</b>	231.78	225.19	218.91
<b>contenido de agua</b>	29.433	33.221	37.043

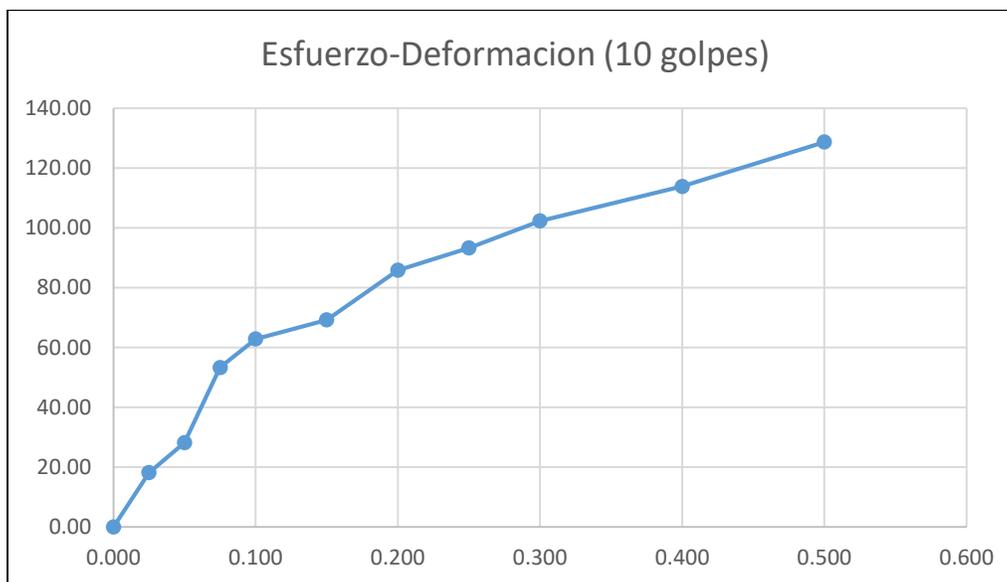
## Registro de Hinchamiento

molde No.1			molde No.1			molde No.1		
No de golpes	56		No de golpes	25		No de golpes	10	
sobrecarga	10 Lb		sobrecarga	10 Lb		sobrecarga	10 Lb	
fecha	lectura	deforma	fecha	lectura	deforma	fecha	lectura	deformas
13/7/2020	0.00	0.000	13/7/2020	0.00	0.000	0/1/1900	0.00	0.000
10:47			10:47			10:47		
14/7/2020	145.0	0.145	14/7/2020	272.0	0.272	14/7/2020	284.0	0.284
10:47			10:47			10:47		
15/7/2020	228.0	0.228	15/7/2020	275.0	0.275	15/7/2020	345.0	0.345
10:47			10:47			10:47		
16/7/2020	261.0	0.261	16/7/2020	280.0	0.280	16/7/2020	359.0	0.359
10:47			10:47			10:47		
17/7/2020	266.0	0.266	17/7/2020	285.0	0.285	17/7/2020	378.0	0.378
10:47			10:47			10:47		

## Registro de Penetración

Penetración en pulg	molde No.	1	molde No.	1	molde No.	1
	No de golpes	56	No de golpes	25	No de golpes	10
	lect. (0.001")	Lb /pulg2	lect. (0.001")	Lb /pulg2	lect. (0.001")	Lb /pulg2
0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.025	0.025	49.99	0.025	32.75	0.025	18.21
0.050	0.050	95.26	0.050	52.90	0.050	28.20
0.075	0.075	129.78	0.075	84.60	0.075	53.37
0.100	0.100	195.20	0.100	124.67	0.100	62.88
0.150	0.150	233.26	0.150	146.63	0.150	69.24
0.200	0.200	275.76	0.200	180.16	0.200	85.84
0.250	0.250	318.78	0.250	222.80	0.250	93.31
0.300	0.300	357.93	0.300	245.22	0.300	102.33
0.400	0.400	410.19	0.400	283.11	0.400	113.88
0.500	0.500	441.10	0.500	309.28	0.500	128.71



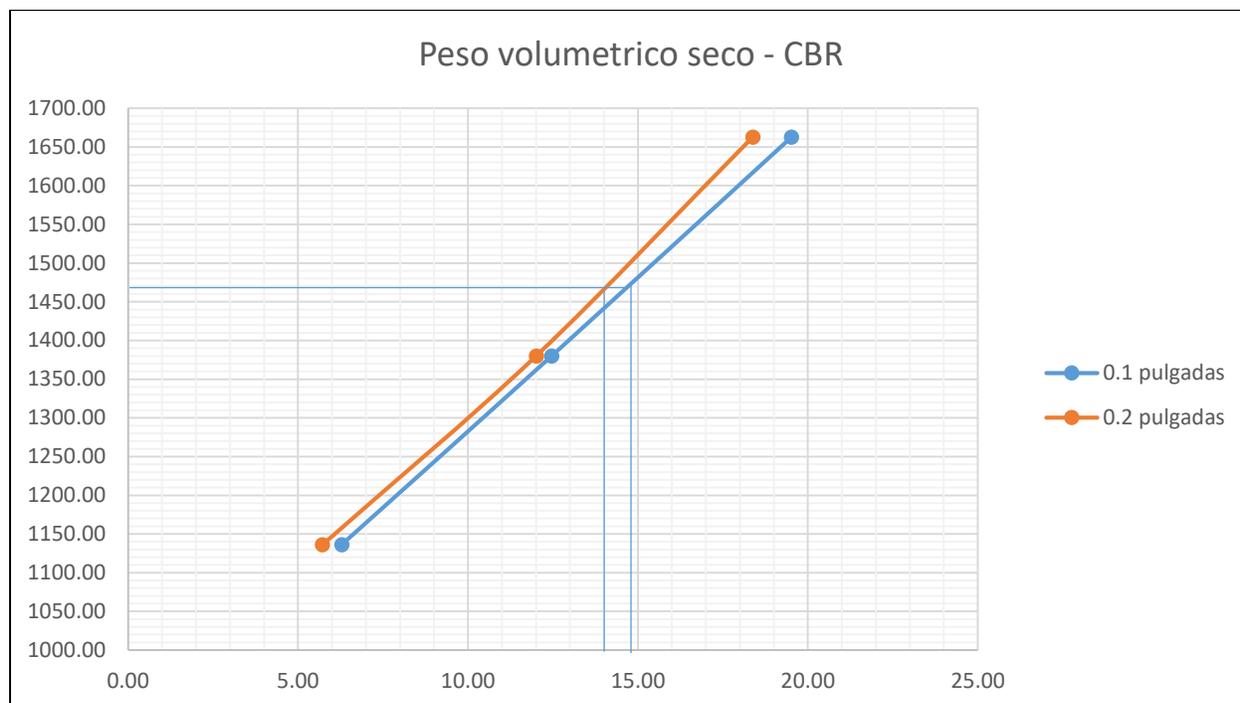


Carga estandar	molde No.	1	CBR	molde No.	1	CBR	molde No.	1	CBR
	No de golpes	56		No de golpes	25		No de golpes	10	
	lect. (0.001'')	Lb /pulg <sup>2</sup>		lect. (0.001'')	Lb /pulg <sup>2</sup>		lect. (0.001'')	Lb /pulg <sup>2</sup>	
	0.000	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
	0.025	49.99		0.025	32.75		0.025	18.21	
	0.050	95.26		0.050	52.90		0.050	28.20	
	0.075	129.78		0.075	84.60		0.075	53.37	
1000.00	0.100	195.20	19.520	0.100	124.67	12.467	0.100	62.88	6.288
	0.150	233.26		0.150	146.63		0.150	69.24	
1500.00	0.200	275.76	18.384	0.200	180.16	12.010	0.200	85.84	5.722
	0.250	318.78		0.250	222.80		0.250	93.31	
	0.300	357.93		0.300	245.22		0.300	102.33	
	0.400	410.19		0.400	283.11		0.400	113.88	
	0.500	441.10		0.500	309.28		0.500	128.71	

<b>Numero de golpes</b>	<b>CBR (1000)</b>	<b>Densidad seca</b>
56 golpes	19.52	1662.66
25 golpes	12.47	1380.02
10 golpes	6.29	1136.24

<b>Numero de golpes</b>	<b>CBR (1500)</b>	<b>Densidad seca</b>
56 golpes	18.38	1662.66
25 golpes	12.01	1380.02
10 golpes	5.72	1136.24

<b>Densidad Máxima Proctor (g/cm3)</b>	1.54
<b>Densidad Máxima Proctor (kg/m3)</b>	1540
<b>Densidad al 95%</b>	1463



**CBR (0.1'') 14.6**

**CBR (0.2'') 14**

#### 4.7.4 Suelo estabilizado + 20% grava

##### Compactación de suelo estabilizado con 8% de yeso y 20% de grava

<b>Molde No.</b>	1	1	1
<b>No. de golpes</b>	56	25	10
<b>Peso suelo húmedo + molde (kg)</b>	10.6391	9.8940	9.2758
<b>Peso molde (kg)</b>	6.419	6.419	6.419
<b>Peso suelo húmedo (kg)</b>	4.2201	3.4750	2.8568
<b>Volumen del molde (m3)</b>	0.0021	0.0021	0.0021
<b>Peso tara</b>	197	197	197
<b>Peso suelo húmedo + tara</b>	497	497	497
<b>peso suelo seco + tara</b>	447.85	449.81	449.24
<b>Contenido de agua (%)</b>	19.5933	18.6661	18.9343
<b>Peso volumétrico húmedo (kg/m3)</b>	2010.4395	1655.4717	1360.9763
<b>Peso volumétrico seco (kg/m3)</b>	1681.0625	1395.0660	1144.3089
<b>peso de la muestra antes penetración (Kg)</b>	4.5225	3.8912	3.2721
<b>saturada + molde después penetración (Kg)</b>	10.9415	10.3102	9.6911
<b>peso muestra saturada después penetración (Kg)</b>	4.5225	3.8912	3.2721
<b>Peso volumétrico húmedo saturado (kg/m3)</b>	2154.4718	1853.7441	1558.7916
<b>peso volumétrico seco saturado (kg/m3)</b>	1681.0625	1395.0660	1144.3089

Humedad de muestra saturada

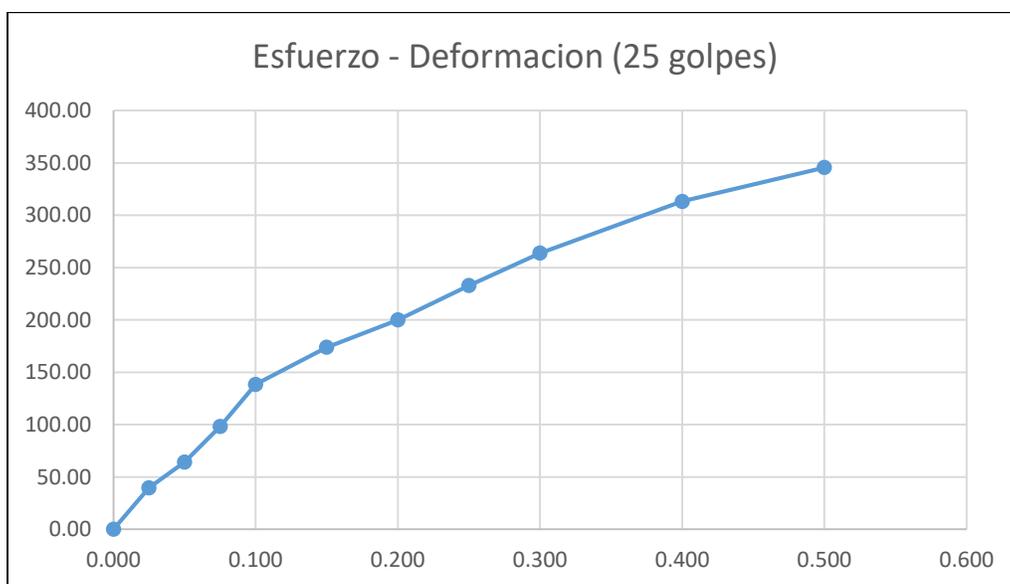
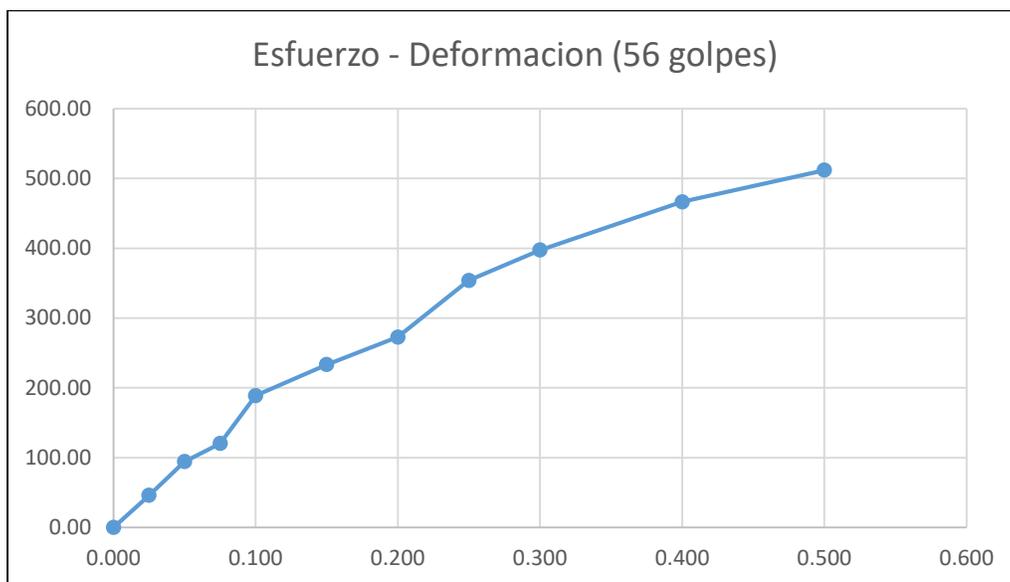
<b>tara No.</b>	1	1	1
<b>peso suelo húmedo + tara</b>	496	496	496
<b>peso suelo seco + tara</b>	430.08	421.77	416.23
<b>peso de tara</b>	196	196	196
<b>peso de agua</b>	65.92	74.23	79.77
<b>peso de suelo seco</b>	234.08	225.77	220.23
<b>contenido de agua</b>	28.1613	32.8785	36.2212

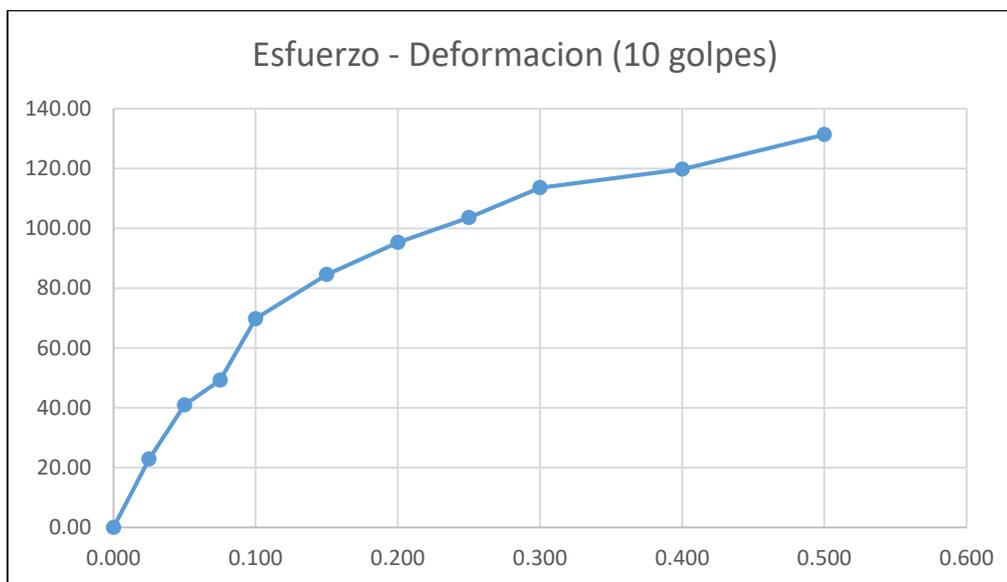
## Registro de Hinchamiento

molde No.1			molde No.1			molde No.1		
No de golpes	56		No de golpes	25		No de golpes	10	
sobrecarga	10 Lb		sobrecarga	10 Lb		sobrecarga	10 Lb	
fecha	lectura	deforma	fecha	lectura	deforma	fecha	lectura	deforma
13/7/2020	0.00	0.0000	13/7/2020	0.00	0.0000	0/1/1900	0.00	0.0000
10:47			10:47			10:47		
14/7/2020	142.00	0.1420	14/7/2020	266.00	0.2660	14/7/2020	277.00	0.2770
10:47			10:47			10:47		
15/7/2020	226.00	0.2260	15/7/2020	270.00	0.2700	15/7/2020	340.00	0.3400
10:47			10:47			10:47		
16/7/2020	259.00	0.2590	16/7/2020	275.00	0.2750	16/7/2020	355.00	0.3550
10:47			10:47			10:47		
17/7/2020	260.00	0.2600	17/7/2020	279.00	0.2790	17/7/2020	368.00	0.3680
10:47			10:47			10:47		

## Registro de Penetración

Penetración en pulg	molde No.	1	molde No.	1	molde No.	1
	No de golpes	56	No de golpes	25	No de golpes	10
	lect. (0.001")	Lb /pulg2	lect. (0.001")	Lb /pulg2	lect. (0.001")	Lb /pulg2
0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.025	0.025	45.90	0.025	39.69	0.025	22.87
0.050	0.050	94.24	0.050	64.19	0.050	40.95
0.075	0.075	120.24	0.075	98.12	0.075	49.24
0.100	0.100	188.92	0.100	138.38	0.100	69.80
0.150	0.150	233.38	0.150	173.86	0.150	84.52
0.200	0.200	272.79	0.200	199.97	0.200	95.28
0.250	0.250	353.85	0.250	232.85	0.250	103.57
0.300	0.300	397.30	0.300	263.75	0.300	113.59
0.400	0.400	466.41	0.400	313.13	0.400	119.74
0.500	0.500	511.82	0.500	345.50	0.500	131.30



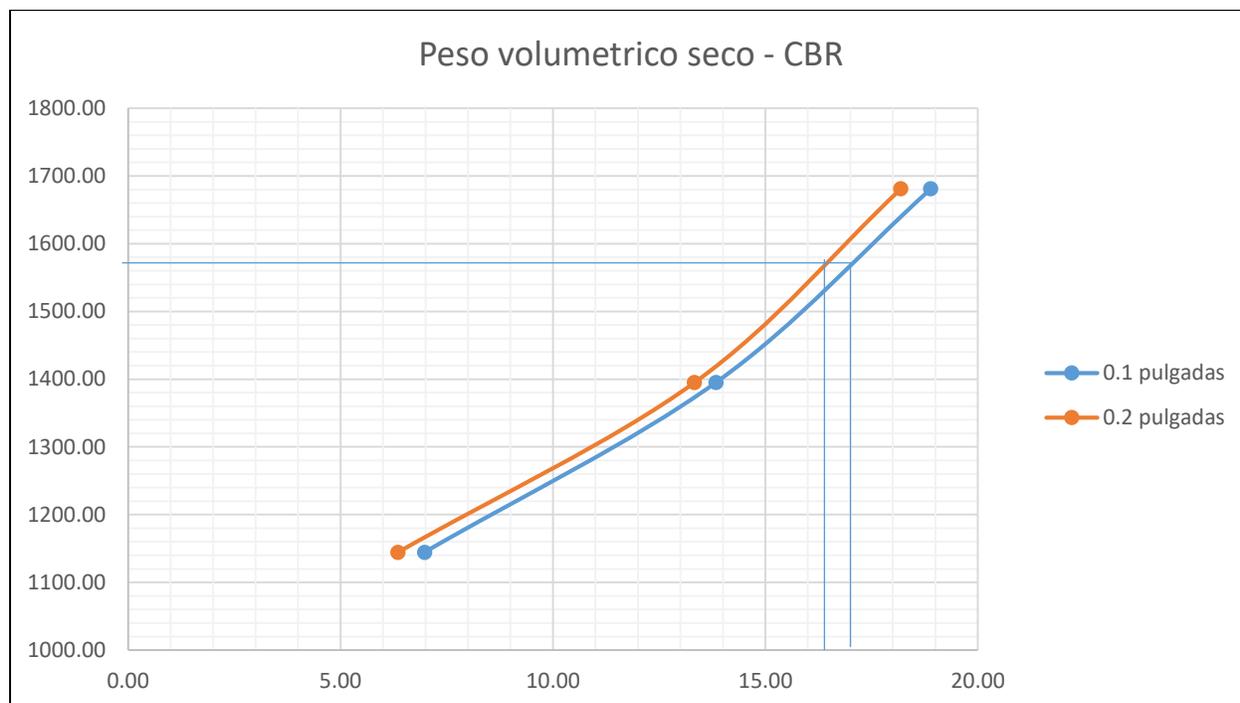


Carga estandar	molde No.	1	CBR	molde No.	1	CBR	molde No.	1	CBR
	No de golpes	56		No de golpes	25		No de golpes	10	
	lect. (0.001")	Lb /pulg2		lect. (0.001")	Lb /pulg2		lect. (0.001")	Lb /pulg2	
	0.000	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
	0.025	45.90		0.025	39.69		0.025	22.87	
	0.050	94.24		0.050	64.19		0.050	40.95	
	0.075	120.24		0.075	98.12		0.075	49.24	
1000.000	0.100	188.92	18.8923	0.100	138.38	13.8379	0.100	69.80	6.9802
	0.150	233.38		0.150	173.86		0.150	84.52	
1500.000	0.200	272.79	18.1858	0.200	199.97	13.3316	0.200	95.28	6.3521
	0.250	353.85		0.250	232.85		0.250	103.57	
	0.300	397.30		0.300	263.75		0.300	113.59	
	0.400	466.41		0.400	313.13		0.400	119.74	
	0.500	511.82		0.500	345.50		0.500	131.30	

<b>Numero de golpes</b>	<b>CBR (1000)</b>	<b>Densidad seca</b>
56 golpes	18.89	1681.06
25 golpes	13.84	1395.07
10 golpes	6.98	1144.31

<b>Numero de golpes</b>	<b>CBR (1500)</b>	<b>Densidad seca</b>
56 golpes	18.19	1681.06
25 golpes	13.33	1395.07
10 golpes	6.35	1144.31

<b>Densidad Maxima Proctor (g/cm3)</b>	1.67
<b>Densidad Maxima Proctor (kg/m3)</b>	1670
<b>Densidad al 95%</b>	1586.5



**CBR (0.1'') 17.1**  
**CBR (0.2'') 16.7**

## 4.7.5 Suelo estabilizado + 30%

**Compactación de suelo estabilizado con 8% de yeso y 30% de grava**

<b>Molde No.</b>	1	1	1
<b>No. de golpes</b>	56	25	10
<b>Peso suelo húmedo + molde (kg)</b>	10.8306	10.0721	9.4428
<b>Peso molde (kg)</b>	6.419	6.419	6.419
<b>Peso suelo húmedo (kg)</b>	4.4116	3.6531	3.0238
<b>Volumen del molde (m3)</b>	0.0021	0.0021	0.0021
<b>Peso tara</b>	192	192	192
<b>Peso suelo húmedo + tara</b>	492	492	492
<b>peso suelo seco + tara</b>	440.55	441.59	443.33
<b>Contenido de agua (%)</b>	20.7001	20.1971	19.365
<b>Peso volumétrico húmedo (kg/m3)</b>	2101.6702	1740.313	1440.5166
<b>Peso volumétrico seco (kg/m3)</b>	1741.2337	1447.8824	1206.8168
<b>peso de la muestra antes penetración (Kg)</b>	4.65378	3.9753	3.4184
<b>saturada + molde después penetración (Kg)</b>	11.0727	10.3943	9.8374
<b>peso muestra saturada después penetración (Kg)</b>	4.6537	3.9753	3.4184
<b>Peso volumétrico húmedo saturado (kg/m3)</b>	2217.002	1893.812	1628.486
<b>peso volumétrico seco saturado (kg/m3)</b>	1741.233	1447.882	1206.816

Humedad de muestra saturada

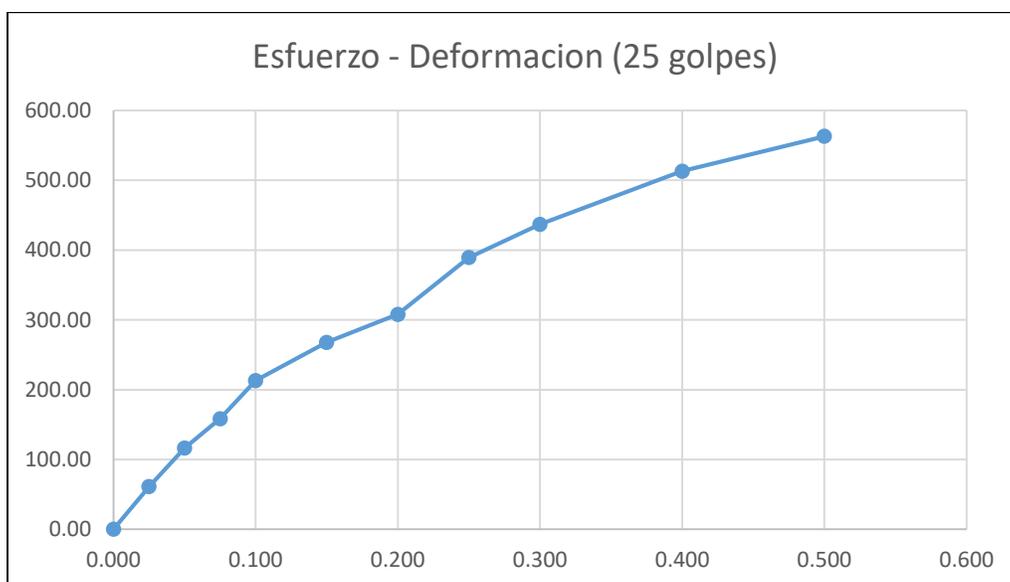
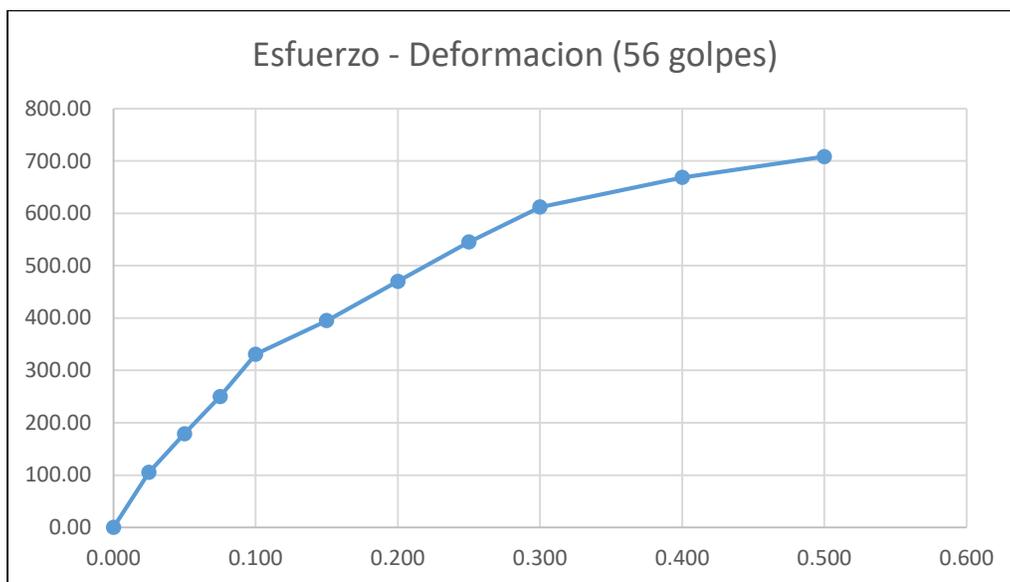
<b>tara No.</b>	1	1	1
<b>peso suelo húmedo + tara</b>	498	498	498
<b>peso suelo seco + tara</b>	433.62	427.36	420.32
<b>peso de tara</b>	198	198	198
<b>peso de agua</b>	64.38	70.64	77.68
<b>peso de suelo seco</b>	235.62	229.36	222.32
<b>contenido de agua</b>	27.3236	30.7987	34.9406

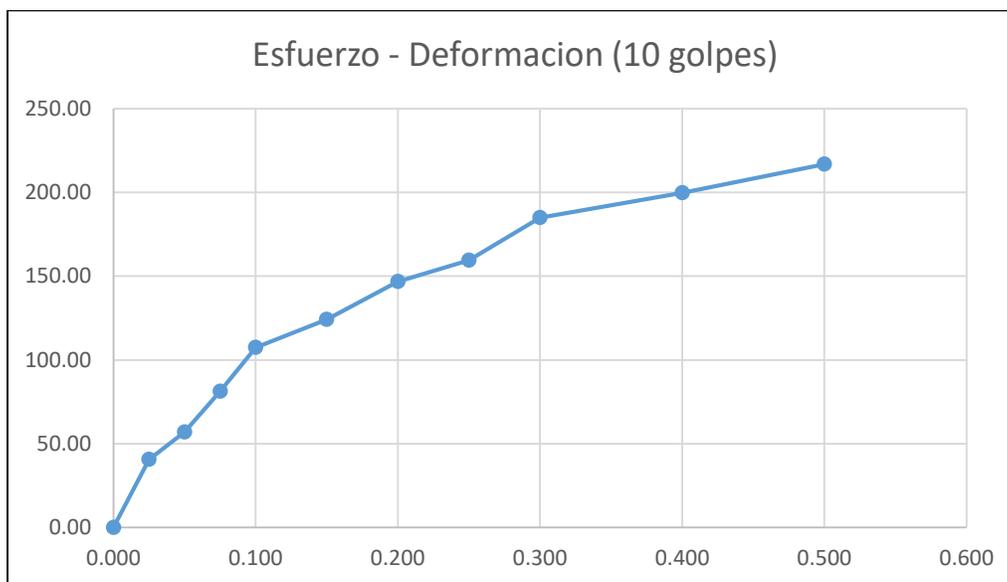
## Registro de hinchamientos

molde No.1			molde No.1			molde No.1		
No de golpes	56		No de golpes	25		No de golpes	10	
sobrecarga	10 Lb		sobrecarga	10 Lb		sobrecarga	10 Lb	
fecha	lectura	deforma	fecha	lectura	Deforma	fecha	lectura	Deforma
13/7/2020	0.00	0.0000	13/7/2020	0.00	0.0000	0/1/1900	0.00	0.0000
10:47			10:47			10:47		
14/7/2020	140.00	0.1400	14/7/2020	240.00	0.2400	14/7/2020	269.00	0.2690
10:47			10:47			10:47		
15/7/2020	222.00	0.2220	15/7/2020	259.00	0.2590	15/7/2020	330.00	0.3300
10:47			10:47			10:47		
16/7/2020	242.00	0.2420	16/7/2020	262.00	0.2620	16/7/2020	339.00	0.3390
10:47			10:47			10:47		
17/7/2020	255.00	0.2550	17/7/2020	270.00	0.2700	17/7/2020	358.00	0.3580
10:47			10:47			10:47		

## Registro de penetración

Penetración en pulg	molde No.	1	molde No.	1	molde No.	1
	No de golpes	56	No de golpes	25	No de golpes	10
	lect. (0.001")	Lb /pulg2	lect. (0.001")	Lb /pulg2	lect. (0.001")	Lb /pulg2
0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.025	0.025	105.45	0.025	61.12	0.025	40.62
0.050	0.050	178.84	0.050	116.31	0.050	56.93
0.075	0.075	249.84	0.075	158.43	0.075	81.23
0.100	0.100	330.94	0.100	213.10	0.100	107.50
0.150	0.150	394.81	0.150	267.74	0.150	124.16
0.200	0.200	470.09	0.200	307.96	0.200	146.73
0.250	0.250	544.93	0.250	389.40	0.250	159.50
0.300	0.300	611.84	0.300	436.98	0.300	184.92
0.400	0.400	668.28	0.400	513.01	0.400	199.80
0.500	0.500	708.21	0.500	562.87	0.500	216.85



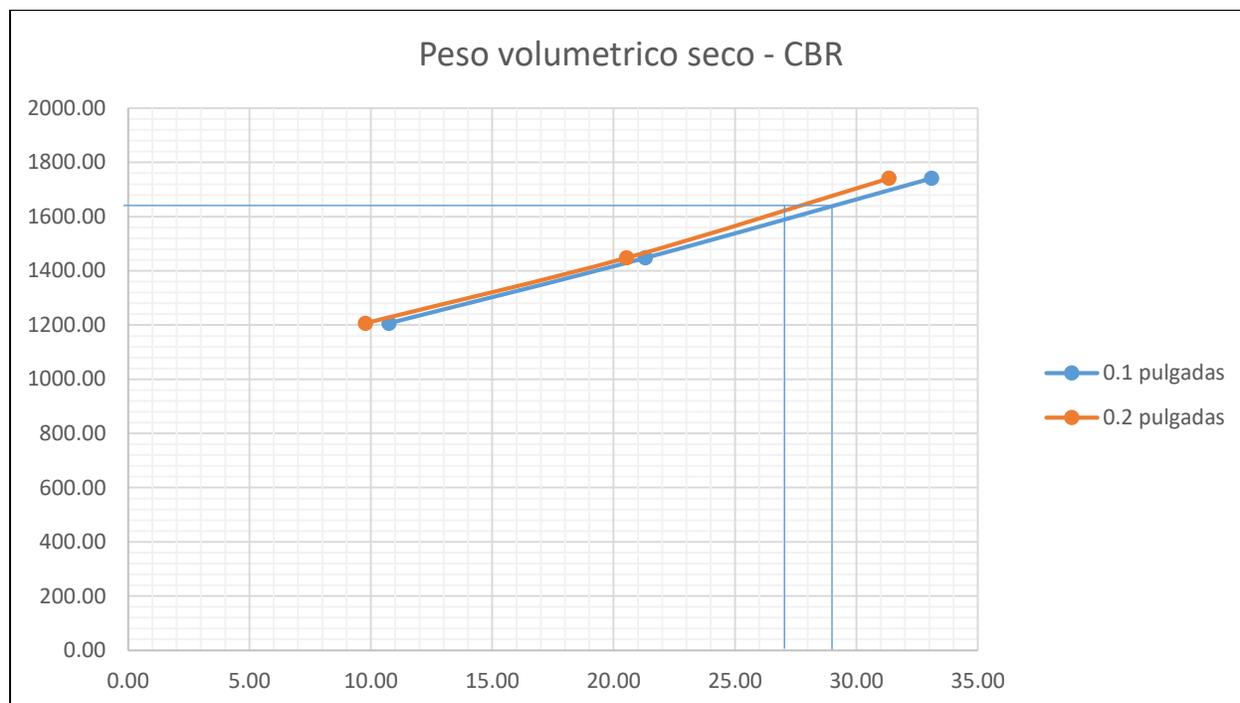


Carga estandar	molde No.	1	CBR	molde No.	1	CBR	molde No.	1	CBR
	No de golpes	56		No de golpes	25.00		No de golpes	10	
	lect. (0.001'')	Lb /pulg2		lect. (0.001'')	Lb /pulg2		lect. (0.001'')	Lb /pulg2	
	0.000	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
	0.025	105.45		0.025	61.12		0.025	40.62	
	0.050	178.84		0.050	116.31		0.050	56.93	
	0.075	249.84		0.075	158.43		0.075	81.23	
1000.00	0.100	330.94	33.0942	0.100	213.10	21.3104	0.100	107.50	10.7495
	0.150	394.81		0.150	267.74		0.150	124.16	
1500.00	0.200	470.09	31.3396	0.200	307.96	20.5306	0.200	146.73	9.7823
	0.250	544.93		0.250	389.40		0.250	159.50	
	0.300	611.84		0.300	436.98		0.300	184.92	
	0.400	668.28		0.400	513.01		0.400	199.80	
	0.500	708.21		0.500	562.87		0.500	216.85	

<b>Numero de golpes</b>	<b>CBR (1000)</b>	<b>Densidad seca</b>
56 golpes	33.09	1741.23
25 golpes	21.31	1447.88
10 golpes	10.75	1206.82

<b>Numero de golpes</b>	<b>CBR (1500)</b>	<b>Densidad seca</b>
56 golpes	31.34	1741.23
25 golpes	20.53	1447.88
10 golpes	9.78	1206.82

<b>Densidad Máxima Proctor (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.7
<b>Densidad Máxima Proctor (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1700
<b>Densidad al 95%</b>	1615



**CBR (0.1'') 27.9**

**CBR (0.2'') 26.5**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACION EN LABORATORIO DE PRUEBA DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA**  
**(CBR, BASADA EN ASTM T 1883)**

**LABORATORIO:** MZ CONSULTORES S.A. DE S.V.

**UBICACIÓN DEL LABORATORIO:** 20ª CALLE ORIENTE NO 13, COLONIA LA ESPERANZA, SAN MIGUEL

**PROYECTO:** ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES CON LA ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

**FECHA:** 7 SEPTIEMBRE 2020

**Tabla 4.18.** Cuadro resumen valor de soporte de california

N° de muestra	N° de golpes						Hinchamiento total (pulg)			γd Máxima Proctor (Kg/m <sup>3</sup> )	C.B.R al 95% densidad máxima Proctor
	56		25		10		56 Golpes	25 Golpes	10 Golpes		
	CBR %	γd (Kg/m <sup>3</sup> )	CBR %	γd (Kg/m <sup>3</sup> )	CBR %	γd (Kg/m <sup>3</sup> )					
1	2.71	1483.88	1.48	1187.11	0.81	979.36	0.481	0.489	0.65	1480	2.37
2	15.74	1612.82	11.53	1330.71	5.82	1096.34	0.278	0.295	0.39	1520	13.3
3	19.52	1662.66	12.47	1380.02	6.29	1136.24	0.266	0.285	0.378	1540	14.6
4	18.89	1681.06	13.84	1395.07	6.98	1144.31	0.260	0.279	0.368	1670	17.1
5	33.09	1741.23	21.31	1447.88	10.75	1206.82	0.255	0.270	0.358	1700	27.9

Para el estudio de la capacidad de soporte se realizó el ensayo de CBR tomando el suelo que presenta el mayor índice de plasticidad, de acuerdo a los ensayos de límites de consistencia realizados se observa que la muestras del pozo 3 presentan valores más elevados para el Índice de Plasticidad y es el suelo con características menos favorables para su uso. Se realizó el ensayo de CBR en cinco muestras con diferentes condiciones, la muestra 1 corresponde al suelo en su estado natural (0% Yeso y 0% Grava), la muestra 2 corresponde al suelo con yeso, se utilizó el 8% de yeso para estabilizar el suelo debido a que en los resultados de límites de consistencia se observa una disminución más significativa en el 8% de yeso, se utilizara yeso para mejorar las condiciones de plasticidad en las mediciones de CBR del suelo con diferentes proporciones de

material granular, para la muestra 3, 4 y 5 se realizó el ensayo para el suelo con yeso y grava, 10%, 20% y 30% respectivamente

<b>Nº de muestra</b>	<b>Descripción</b>
1	Suelo en estado natural
2	Suelo Estabilizado sin grava
3	Suelo Estabilizado + 10% grava
4	Suelo Estabilizado + 20% grava
5	Suelo Estabilizado + 30% grava

Se observa que con la adición de yeso mejora el CBR de 2.37% a 13.3%, esto indica que paso de ser un suelo clasificado como “subrasante muy mala” a una “subrasante regular a buena” aumentando 10.93% de CBR. Para la muestra 3 se agregó 10% de grava no. 2 a la mezcla de suelo con 8% de yeso aumentando de 13.3% a 14.6% manteniendo su clasificación de “subrasante regular a buena” al adicionar 10% de grava no hubo una mejora importante sin embargo aumento 1.3%, para la muestra 4 se agregó 20% de grava no. 2 a la mezcla de suelo con 8% de yeso aumentando el CBR de 14.6% a 17.1% manteniendo su clasificación de “subrasante regular a buena” al adicionar 20% aumenta en mayor medida con respecto a la muestra anterior aumentando 2.5%, para la muestra 5 se agregó 30% de grava no. 2 a la mezcla de suelo con 8% de yeso aumentando el CBR de 17.1% a 27.9% mejorando su clasificación de “subrasante regular a buena” a “subrasante muy buena” aumento 10.8%, se concluye que la adición de grava mejora la capacidad de soporte aumentando la resistencia, se estima que a mayores proporciones de grava no. 2 se obtendrá una mejora gradual.

Para la clasificación del suelo con respecto al CBR se tomó como referencia la literatura de “Problemas Resueltos de Mecanica de Suelos y de Cimentaciones” de Carlos Crespo Villalaz que establece la relación entre el CBR y la calidad del material para usarse en terracería con la siguiente tabla:

**Tabla 4.19.** Clasificación de suelos según CBR

<b>CBR (%)</b>	<b>Clasificación</b>
<b>0 – 5</b>	Subrasante muy mala
<b>5 – 10</b>	Subrasante mala
<b>10 – 20</b>	Subrasante regular a buena
<b>20 – 30</b>	Subrasante muy buena
<b>30 – 50</b>	Sub-base buena
<b>50 – 80</b>	Base buena
<b>80 – 100</b>	Base muy buena

## 4.8 Análisis Estadístico

### 4.8.1 Prueba de Hipótesis

Se realizó un análisis de varianza de un solo factor, donde el factor en estudio es el porcentaje de yeso adicionado a las muestras de suelo y un grupo testigo sin presencia de yeso. La ANOVA estadística consiste en un estudio de medias entre niveles de manipulación de variables, cada nivel nivel de manipulación está asociado a un porcentaje de yeso, este porcentaje es la variable independiente y las observaciones o mediciones son la variable dependiente.

El objetivo del estudio de medias entre niveles es cuantificar a través de un estadístico de prueba la diferencia entre medias y concluir si esta diferencia se debe a la manipulación de la variable independiente.

Los resultados obtenidos en las mediciones del índice de plasticidad se muestran en la siguiente tabla junto al total y promedio de cada nivel:

Tratamiento (% yeso)	Observaciones (IP)						Total	Promedio
<b>0</b>	49.24	47.75	51.30	33.60	53.44	49.30	284.62	47.44
<b>2</b>	30.54	33.18	47.23	46.48	47.65	32.90	237.97	39.66
<b>4</b>	45.80	43.62	44.01	30.78	45.58	46.01	255.81	42.64
<b>6</b>	27.74	29.27	40.45	31.97	29.29	38.60	197.31	32.89
<b>8</b>	24.27	34.30	42.44	25.86	36.58	35.57	199.02	33.17
<b>10</b>	34.38	33.88	35.84	34.13	21.30	27.00	186.53	31.09
<b>TOTAL</b>							<b>1361.27</b>	<b>37.81</b>

Se trabajó con 6 porcentajes de Yeso (6 niveles de manipulación de la V.I) y 6 réplicas u observaciones en cada nivel, el número de réplicas se obtuvieron de un estudio preliminar y se calculó con el coeficiente correlación de Pearson.

**Tabla 4.20.** Análisis de varianza del experimento

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo
Entre los tratamientos	1262.23	5	252.45	5.80
Error dentro de los tratamientos	1304.82	30	43.49	
<b>Total</b>	<b>2567.05</b>	<b>35</b>		

Se compara el estadístico de prueba con el correspondiente punto porcentual de la distribución de Fisher:

$$F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a}$$

Se estableció trabajar con un nivel de confianza del 95% lo que indica aceptar un  $\alpha$  igual al 5% de probabilidad de rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) cuando es verdadera, es decir cometer un error tipo I.

Se calculó el tamaño de la muestra o número de réplicas con un poder estadístico del 80% lo indica aceptar un  $\beta$  igual al 20% de probabilidad de aceptar la hipótesis nula ( $H_0$ ) cuando es falsa, es decir cometer un error tipo II

$$5.80 > F_{5\%, 5, 30}$$

$$5.80 > F_{5\%, 5, 30}$$

Se lee la columna correspondiente a 5 grados de libertad y la fila para 30 grados de libertad en la distribución de Fisher (ver Anexo F-1) y se compara con el estadístico de prueba:

$$5.80 > 2.534$$

El estadístico de prueba es mayor que el punto porcentual de la distribución de Fisher, esto indica que no es posible que las medias de los tratamientos sean iguales, difieren debido a la manipulación de los niveles del experimento con diferentes porcentajes de yeso, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) “El yeso en diferentes dosificaciones no es capaz de modificar el índice de plasticidad en los suelos finos plásticos” y se concluye que las medias de los tratamientos difieren, es decir el porcentaje de yeso afecta de manera significativa el índice de plasticidad del suelo

## **4.9 Interpretación de los Resultados**

### **4.9.1 Discusión de los Resultados**

En los proyectos de carreteras se requiere de materiales con propiedades físicas y mecánicas adecuadas para el uso que están destinados y los agentes ambientales que los afectan. El uso de suelos finos plásticos requiere de un tratamiento especial por medio de los diferentes métodos de estabilización que ofrecen la ventaja de aprovechar el material existente al mejorarlo, evitando recurrir a su reemplazo del material.

El uso del yeso calcinado como agente estabilizante mostro ser capaz de reducir el índice de plasticidad y aumentar la capacidad de soporte medida con el CBR. Para una muestra de suelo fino con un índice de plasticidad de 33.60 se logró reducir con la adición del 8% de yeso hasta 25.06, lo que indica una disminución del 25.42%, para una muestra con índice de plasticidad de 48.76 se logró reducir hasta 36.43 lo que indica una disminución del 25.29%, para una muestra con un índice de plasticidad de 52.37 se logró reducir hasta 34.30 lo que indica una disminución del 34.50%. para las tres muestras se obtuvo una disminución similar.

Estos valores indican que el yeso como agente estabilizante es una propuesta competitiva para su uso en el mejoramiento de suelos finos plásticos tomando en cuenta los porcentajes de disminución y considerando el índice de plasticidad del suelo a mejorar y los valores requeridos para su uso en campo.

Asimismo, la adición del 8% de yeso en suelos con un CBR de 2.37% fue capaz de aumentarlo hasta 13.3% logrando un aumento del 10.93%.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los índices de plasticidad y capacidad de soporte en suelos finos se alcanza una mejora importante sin embargo el valor obtenido para el CBR con

la adición del 8% de yeso en algunas situaciones no será suficiente para el tránsito vehicular estimado, la adición de grava numero 2 aporta una mejora importante a la capacidad de soporte, con el 30% de la adición de grava y 8% de la adición de yeso se logró aumentar el CBR de la muestra de suelo desde 2.37% hasta 27.9%.

La dosificación de 8% de yeso más 30% de grava en suelos finos plásticos es una alternativa para su aplicación en calles que requieran valores del índice de plasticidad y CBR como los descritos anteriormente.

#### **4.9.2 Comparativo del Yeso con otros agentes estabilizantes**

Al finalizar el análisis estadístico y concluir que existe una disminución de los Índices de Plasticidad de los suelos finos plásticos con la adición del Sulfato de Calcio se realizó un comparativo, entre diferentes agentes estabilizantes utilizados en suelos clasificados según la norma AASHTO M 145 como Arcilla de Alta Plasticidad, A-7. Tomando como referencia las siguientes tesis: “Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador” del año 2011, donde realizan estabilización de subrasante empleando la cal (Oxido de Calcio), en el mismo tramo de estudio que nuestra investigación y de la tesis “Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)”, de la Universidad Tecnica de Ambato, ECUADOR, del año 2016, en la cual realizaron estabilizaciones con cloruro de sodio (sal) en un suelo con un Índice de Plasticidad en estado natural de 19.33

**Tabla 4.21:** comparación del sulfato de calcio (yeso) con otros agentes estabilizantes

<b>Agente</b>	<b>% empleado</b>	<b>IP suelo natural</b>	<b>IP suelo estabilizado</b>	<b>% de disminución</b>
<b>Yeso</b>	8	52.37	34.30	34.50
<b>Cal</b>	5	45	1	99
<b>Cloruro de sodio</b>	12.5	19.33	6.54	66.17

Se observa en la tabla anterior que, de acuerdo a los estudios mencionados, que el agente estabilizante Cal es el mejor aditivo para suelos de muy alta plasticidad, empleando solamente un 5% de Cal respecto al peso seco del suelo logra disipar el efecto de plasticidad de dicho tramo

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFERENCIA**  
**CONSULTADA**

## 5.1 Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos y analizados anteriormente se concluye lo siguiente:

- El límite plástico no sufre incremento o disminución significativa con la adición de yeso en ninguna de las observaciones de todos los niveles del análisis de varianza.
- El límite líquido disminuye gradualmente con la adición de yeso, presentando los valores más bajos en las mediciones del 8% y 10%, al mantenerse constante el límite plástico y disminuyendo el límite líquido existe una reducción del índice de plasticidad al agregar yeso al suelo fino plástico.
- Los resultados obtenidos presentan una reducción del índice de plasticidad considerable sin embargo el suelo en estudio está clasificado como A-7-6 (39) y MH (limo arcilloso con alta plasticidad) de acuerdo a la metodología de clasificación de suelos AASHTO y SUCS respectivamente por lo tanto el suelo que se utilizó para el estudio no es recomendable para su uso en la terracería de calles o carreteras debido a su alta plasticidad, sin embargo el yeso redujo en promedio para la muestra más plástica el índice de plasticidad de 52.37 a 34.99 lo que significa una reducción del 33.18% con respecto a su valor inicial y pueden extrapolarse estos resultados para suelos con menor plasticidad y utilizarse en la terracería de proyectos viales.
- El yeso mejora la capacidad de soporte de suelos finos plásticos aumentando el CBR, sin embargo el uso del yeso como agente estabilizante está sujeto a las propiedades iniciales del suelo y a su uso, el suelo que se utilizó tiene un CBR de 2.37% y aumento con la adición del 8% de yeso hasta 13.3%, no es un suelo recomendable para su uso en la terracería de proyectos viales, sin embargo esta mejora puede utilizarse en suelos mejor clasificados y dependiendo su uso tanto para subrasantes como para bases o sub bases.

- La adición de grava aumenta proporcionalmente la capacidad de soporte, se obtuvo el CBR para una dosificación de hasta el 30% de grava no. 2 y aumento de 13.3% (suelo mejorado con yeso y 0% grava) hasta 27.9% por lo tanto puede utilizarse como subrasante en proyectos viales.

## 5.2 Recomendaciones

Con base a los resultados obtenidos y analizados anteriormente se recomienda lo siguiente:

- Los resultados obtenidos de la prueba límites de consistencia para cada observación (0%, 2%, 4%, 8%, 10%) de yeso reflejan una reducción del índice de plasticidad mayor en los porcentajes 8% y 10% de yeso, en consecuencia, se recomienda realizar estudios con mayor dosificación para estudiar el comportamiento del yeso como agente estabilizante.
- De acuerdo con algunos autores los suelos se clasifican de media plasticidad cuando el índice de plasticidad oscila entre valores de 10 a 20, para medir la relación del yeso con el índice de plasticidad de suelos finos plásticos se tomaron tres muestras cuyos índices de plasticidad toman valores entre 30 y 50 en su estado natural logrando reducirse con la adición de yeso hasta valores de 34 y 21, para este rango de valores los suelos se clasifican de alta plasticidad, aunque se redujo apreciablemente el índice de plasticidad se recomienda el uso del yeso como estabilizante químico en suelos que naturalmente se clasifican de mediana plasticidad.
- Se recomienda realizar futuros ensayos de suelos con la adición de yeso para medir otras propiedades de interés para su uso (permeabilidad, asentamiento, expansión volumétrica, etc.)
- Se observó que la adición de yeso aumenta la capacidad de soporte, sin embargo, la mejoría no es suficiente para su uso en terracerías, se recomienda complementar la mejora con la adición de grava o material granular en porcentajes de acuerdo a la capacidad de soporte requerida y al uso del suelo.

- La investigación se limita al estudio del comportamiento de la plasticidad de suelos finos plásticos con la adición de yeso, se recomienda evaluar el costo de su uso a gran escala para proyectos de terracería.
- Se recomienda hacer un análisis comparativo de las características de plasticidad en los suelos expansivos usando el yeso y otro agente estabilizante

### 5.3 Referencias consultadas

- Braja m. Das, “fundamentos de ingeniería geotécnica” 4ta edición editorial thomson learning, mexico 2001
- Garcia trejo, ramirez lopez tesis: “propuesta de un manual de laboratorio de mecánica de suelos conforme a la norma astm 2003”, universidad de el salvador, 2006.
- Hernandez lara, majia ramirez, zelaya amaya: “propuesta de estabilización de suelos expansivos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la universidad de el salvador” universidad de el salvador 2016
- Karl terzaghi, ralph b. Peck. (1973). Mecánica de suelos en la ingeniería práctica (segunda edición). Barcelona, España: el ateneo.
- Begliardo, h. U. G. O., panigatti, d., & cecilia, m. (2015). Reutilización y valorización del yeso residual de construcciones (doctoral dissertation, tesis, universidad tecnológica nacional, ing. Civil, santa fe, argentina.
- Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal, pértegas díaz, pita fernández, volumen 9, 2002
- Montgomery, d. C. (2003). Diseño y análisis de experimentos. Limusa-wiley.

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**PRUEBA PILOTO**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE**  
**PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**PARA PRUEBA PILOTO (BASADA EN ASTM D 4318-00)**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDICIPLINARIA ORIENTAL**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**

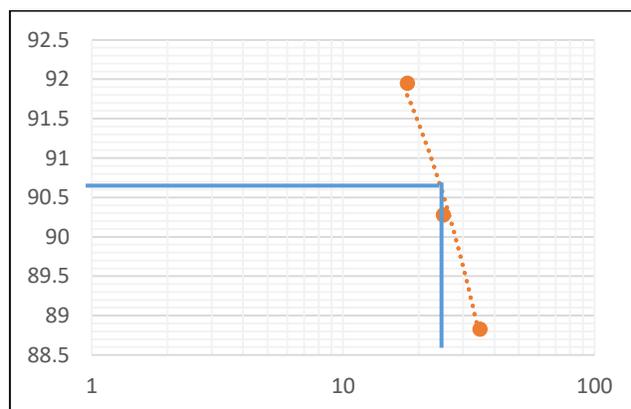
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 15-08-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	PILOTO 0%				
N° de golpes	35	25	18		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	12.76	12.79	10.25	4.15	4.15
Masa de suelo húmedo + recipiente	22.73	23.75	19.31	10.93	11.15
Masa de suelo seco + recipiente (g)	18.04	18.55	14.97	9.02	9.10
Masa de agua (g)	4.69	5.20	4.34	1.91	2.05
Masa de suelo seco (g)	5.28	5.76	4.72	4.87	4.95
Contenido de agua (%)	88.82	90.27	91.95	39.22	41.41

Limite liquido (LL)	90.6
Limite plástico (LP)	40.31
Índice de plasticidad (IP)	<b>50.29</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

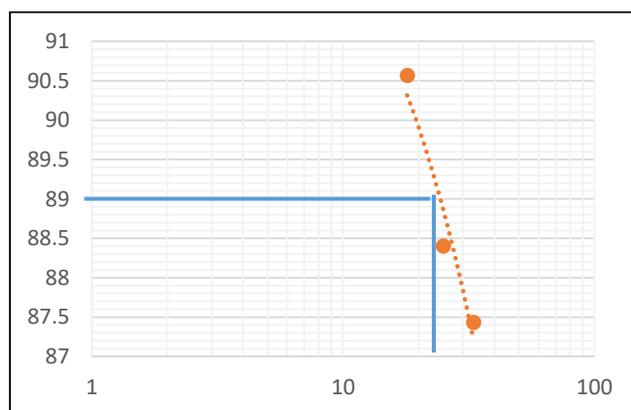
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 15-08-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	PILOTO 2%				
N° de golpes	33	25	18		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.24	4.26	4.26	4.25	4.25
Masa de suelo húmedo + recipiente	14.83	15.47	15.37	11.23	11.49
Masa de suelo seco + recipiente (g)	9.89	10.21	10.09	9.39	9.29
Masa de agua (g)	4.94	5.26	5.28	1.84	2.20
Masa de suelo seco (g)	5.65	5.95	5.83	5.14	5.04
Contenido de agua (%)	87.43	88.40	90.56	35.80	43.65

Limite liquido (LL)	89
Limite plástico (LP)	39.72
Índice de plasticidad (IP)	<b>49.28</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

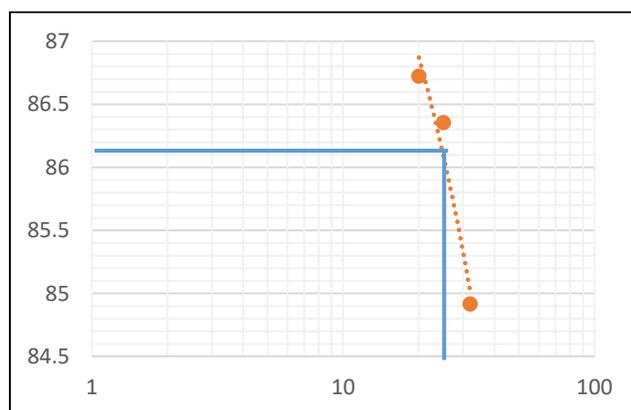
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 19-08-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	PILOTO 4%				
N° de golpes	32	25	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.23	12.66	4.23	4.24	4.26
Masa de suelo húmedo + recipiente	15.51	23.86	14.8	12.77	11.07
Masa de suelo seco + recipiente (g)	10.33	18.67	9.90	10.39	9.12
Masa de agua (g)	5.18	5.19	4.90	2.38	1.95
Masa de suelo seco (g)	6.10	6.01	5.65	6.15	4.86
Contenido de agua (%)	84.91	86.35	86.73	38.69	40.12

Limite liquido (LL)	86.19
Limite plástico (LP)	39.41
Índice de plasticidad (IP)	<b>46.78</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

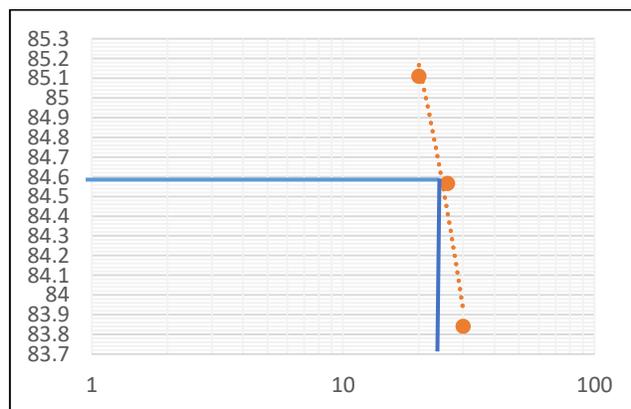
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 19-08-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	PILOTO 6%				
N° de golpes	30	26	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.24	4.26	4.26	4.26	4.26
Masa de suelo húmedo + recipiente	12.09	12.75	16.07	10.79	10.84
Masa de suelo seco + recipiente (g)	8.51	8.86	10.64	8.95	8.95
Masa de agua (g)	3.58	3.89	5.43	1.84	1.89
Masa de suelo seco (g)	4.27	4.60	6.38	4.69	4.69
Contenido de agua (%)	83.84	84.56	85.11	39.23	40.30

Limite liquido (LL)	84.6
Limite plástico (LP)	39.77
Índice de plasticidad (IP)	<b>44.83</b>



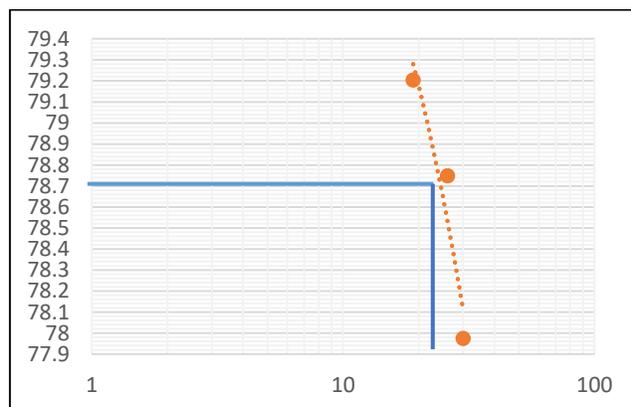
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 1-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	PILOTO 8%				
N° de golpes	30	26	19		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	12.82	12.56	12.66	26.13	12.58
Masa de suelo húmedo + recipiente	23.89	24.84	24.81	33.24	19.73
Masa de suelo seco + recipiente (g)	19.04	19.43	19.44	30.83	17.85
Masa de agua (g)	4.85	5.41	5.37	2.41	1.88
Masa de suelo seco (g)	6.22	6.87	6.78	4.70	5.27
Contenido de agua (%)	77.97	78.75	79.20	51.27	35.67

Limite liquido (LL)	78.7
Limite plástico (LP)	43.47
Índice de plasticidad (IP)	<b>35.23</b>



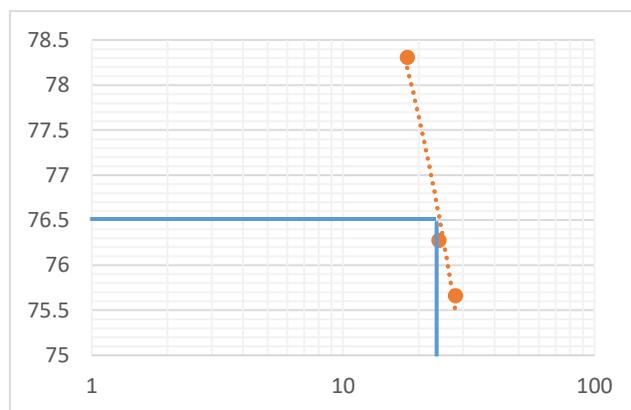
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 1-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	PILOTO 10%				
N° de golpes	28	24	18		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	15.46	12.62	12.75	26.38	12.69
Masa de suelo húmedo + recipiente	28.09	23.69	22.45	31.76	19.75
Masa de suelo seco + recipiente (g)	22.65	18.90	18.19	30.24	17.58
Masa de agua (g)	5.44	4.79	4.26	1.52	2.17
Masa de suelo seco (g)	7.19	6.28	5.44	3.86	4.89
Contenido de agua (%)	75.66	76.27	78.30	39.38	44.37

Limite liquido (LL)	76.5
Limite plástico (LP)	41.88
Índice de plasticidad (IP)	<b>34.62</b>



**ANEXO B**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA**  
**(BASADA EN ASTM 854-02)**

Tabla B-1 Densidades a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coficiente de Temperatura (K)
15.0	0.99910	1.00090	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039
0.1	0.99909	1.00088	0.1	0.99893	1.00072	0.1	0.99876	1.00055	0.1	0.99858	1.00037
0.2	0.99907	1.00087	0.2	0.99891	1.00071	0.2	0.99874	1.00054	0.2	0.99856	1.00035
0.3	0.99906	1.00085	0.3	0.99890	1.00069	0.3	0.99872	1.00052	0.3	0.99854	1.00034
0.4	0.99904	1.00084	0.4	0.99888	1.00067	0.4	0.99871	1.00050	0.4	0.99852	1.00032
0.5	0.99902	1.00082	0.5	0.99886	1.00066	0.5	0.99869	1.00048	0.5	0.99850	1.00030
0.6	0.99901	1.00080	0.6	0.99885	1.00064	0.6	0.99867	1.00047	0.6	0.99848	1.00028
0.7	0.99899	1.00079	0.7	0.99883	1.00062	0.7	0.99865	1.00045	0.7	0.99847	1.00026
0.8	0.99898	1.00077	0.8	0.99881	1.00061	0.8	0.99863	1.00043	0.8	0.99845	1.00024
0.9	0.99896	1.00076	0.9	0.99879	1.00059	0.9	0.99862	1.00041	0.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99841	1.00020	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
0.1	0.99839	1.00018	0.1	0.99819	0.99998	0.1	0.99797	0.99977	0.1	0.99775	0.99954
0.2	0.99837	1.00016	0.2	0.99816	0.99996	0.2	0.99795	0.99974	0.2	0.99773	0.99952
0.3	0.99835	1.00014	0.3	0.99814	0.99994	0.3	0.99793	0.99972	0.3	0.99770	0.99950
0.4	0.99833	1.00012	0.4	0.99812	0.99992	0.4	0.99791	0.99970	0.4	0.99768	0.99947
0.5	0.99831	1.00010	0.5	0.99810	0.99990	0.5	0.99789	0.99968	0.5	0.99766	0.99945
0.6	0.99829	1.00008	0.6	0.99808	0.99987	0.6	0.99786	0.99966	0.6	0.99764	0.99943
0.7	0.99827	1.00006	0.7	0.99806	0.99985	0.7	0.99784	0.99963	0.7	0.99761	0.99940
0.8	0.99825	1.00004	0.8	0.99804	0.99983	0.8	0.99782	0.99961	0.8	0.99759	0.99938
0.9	0.99823	1.00002	0.9	0.99802	0.99981	0.9	0.99780	0.99959	0.9	0.99756	0.99936
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.99730	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
0.1	0.99752	0.99931	0.1	0.99727	0.99907	0.1	0.99702	0.99881	0.1	0.99676	0.99855
0.2	0.99749	0.99929	0.2	0.99725	0.99904	0.2	0.99700	0.99879	0.2	0.99673	0.99852
0.3	0.99747	0.99926	0.3	0.99723	0.99902	0.3	0.99697	0.99876	0.3	0.99671	0.99850
0.4	0.99745	0.99924	0.4	0.99720	0.99899	0.4	0.99694	0.99874	0.4	0.99668	0.99847
0.5	0.99742	0.99921	0.5	0.99717	0.99897	0.5	0.99692	0.99871	0.5	0.99665	0.99844
0.6	0.99740	0.99919	0.6	0.99715	0.99894	0.6	0.99689	0.99868	0.6	0.99663	0.99842
0.7	0.99737	0.99917	0.7	0.99712	0.99892	0.7	0.99687	0.99866	0.7	0.99660	0.99839
0.8	0.99735	0.99914	0.8	0.99710	0.99889	0.8	0.99684	0.99863	0.8	0.99657	0.99836
0.9	0.99732	0.99912	0.9	0.99707	0.99887	0.9	0.99681	0.99860	0.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744
0.1	0.99649	0.99828	0.1	0.99621	0.99800	0.1	0.99592	0.99771	0.1	0.99562	0.99741
0.2	0.99646	0.99825	0.2	0.99618	0.99797	0.2	0.99589	0.99768	0.2	0.99559	0.99738
0.3	0.99643	0.99822	0.3	0.99615	0.99794	0.3	0.99586	0.99765	0.3	0.99556	0.99735
0.4	0.99641	0.99820	0.4	0.99612	0.99791	0.4	0.99583	0.99762	0.4	0.99553	0.99732
0.5	0.99638	0.99817	0.5	0.99609	0.99788	0.5	0.99580	0.99759	0.5	0.99550	0.99729
0.6	0.99635	0.99814	0.6	0.99607	0.99785	0.6	0.99577	0.99756	0.6	0.99547	0.99726
0.7	0.99632	0.99811	0.7	0.99604	0.99783	0.7	0.99574	0.99753	0.7	0.99544	0.99723
0.8	0.99629	0.99808	0.8	0.99601	0.99780	0.8	0.99571	0.99750	0.8	0.99541	0.99720
0.9	0.99627	0.99806	0.9	0.99598	0.99777	0.9	0.99568	0.99747	0.9	0.99538	0.99716

Fuente: Norma ASTM D 854-02, volumen 04.08

**ANEXO C**  
**DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE**  
**SUELO (BASADA EN ASTM D 422)**

**Tabla C-1:** Correcciones por temperatura

Temperatura (°C)	Ct
15	-1.10
16	-0.90
17	-0.70
18	-0.50
19	-0.30
20	0.00
21	+0.20
22	+0.40
23	+0.70
24	+1.00
25	+1.30
26	+1.65
27	+2.00
28	+2.50
29	+3.05
30	+3.80

Fuente: Manual de laboratorio de Joseph E. Bowles

**Tabla C-2:** Valores de factor de corrección, a, para diferentes gravedades específicas del suelo.

Gravedad específica	Factor de corrección
2.95	0.94
2.90	0.95
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.03
2.45	1.04

Fuente: Norma ASTM d422-63, volumen 04.08

**Tabla C-3:** Valores de profundidad efectiva basados en el hidrómetro y la probeta de sedimentación de tamaños especificados

Hidrómetro 152H			
Lectura real del hidrómetro	Profundidad efectiva "L" cm	Lectura real del hidrómetro	Profundidad efectiva "L" cm
0	16.3	31	11.2
1	16.1	32	11.1
2	16.0	33	10.9
3	15.8	34	10.7
4	15.6	35	10.6
5	15.5	36	10.4
6	15.3	37	10.2
7	15.2	38	10.1
8	15.0	39	9.9
9	14.8	40	9.7
10	14.7	41	9.6
11	14.5	42	9.4
12	14.3	43	9.2
13	14.2	44	9.1
14	14.0	45	8.9
15	13.8	46	8.8
16	13.7	47	8.6
17	13.5	48	8.4
18	13.3	49	8.3
19	13.2	50	8.1
20	13.0	51	7.9
21	12.9	52	7.8
22	12.7	53	7.6
23	12.5	54	7.4
24	12.4	55	7.3
25	12.2	56	7.1
26	12.0	57	7.0
27	11.9	58	6.8
28	11.7	59	6.6
29	11.5	60	6.5
30	11.4		

Fuente: Norma ASTM D 422-63, volumen 04.08

**Tabla C-4:** Valores de K para el cálculo del diámetro de la partícula del análisis hidrométrico

Temperatura °C	Gravedad específica de las partículas del suelo								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

Fuente: Norma ASTM D422-63, volumen 04.08

**ANEXO D**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE**  
**PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(BASADA EN ASTM D 4318-00)**

**Tabla D-1:** Formación de Bloques luego de primer sorteo

% yeso	Replica experimental					
	1	2	3	4	5	6
0%	M16	M19	M27	M9	M31	M15
2%	M2	M5	M28	M13	M26	M7
4%	M29	M24	M35	M10	M33	M30
6%	M12	M6	M25	M3	M4	M17
8%	M1	M36	M14	M11	M23	M22
10%	M18	M20	M32	M34	M8	M21

**Tabla D-2:** Índices de plasticidad ordenados según Primer Sorteo

Tratamiento (% yeso)	Observaciones (IP)					
	1	2	3	4	5	6
0	49.24	47.75	51.30	33.60	53.44	49.30
2	30.54	33.18	47.23	46.48	47.65	32.90
4	45.80	43.62	44.01	30.78	45.58	46.01
6	27.74	29.27	40.45	31.97	29.29	38.60
8	24.27	34.30	42.44	25.86	36.58	35.57
10	34.38	33.88	35.84	34.13	21.30	27.00

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

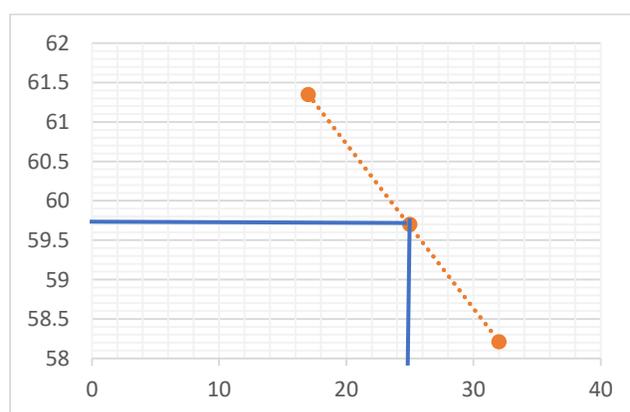
Proyecto :ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha :1-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M1				
N° de golpes	32	25	17		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.51	4.51	4.44	4.46	4.37
Masa de suelo húmedo + recipiente	11.93	11.92	10.91	10.96	11.39
Masa de suelo seco + recipiente (g)	9.2	9.15	8.45	9.4	9.41
Masa de agua (g)	2.73	2.77	2.46	1.56	1.98
Masa de suelo seco (g)	4.69	4.64	4.01	4.94	5.04
Contenido de agua (%)	58.20	59.69	61.34	31.57	39.28

Limite líquido (LL)	59.7
Limite plástico (LP)	35.43
Índice de plasticidad (IP)	24.2



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

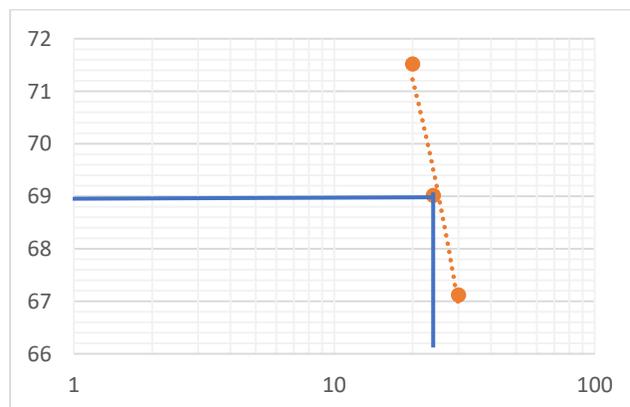
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 1-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M2				
N° de golpes	30	24	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	12.73	12.61	12.66	4.44	4.45
Masa de suelo húmedo + recipiente	17.14	20.03	20.67	12.01	12.05
Masa de suelo seco + recipiente (g)	12.73	17	17.33	10.02	9.83
Masa de agua (g)	2.96	3.03	3.34	1.99	2.22
Masa de suelo seco (g)	4.41	4.39	4.67	5.58	5.38
Contenido de agua (%)	67.12	69.02	71.52	35.66	41.26

Limite liquido (LL)	69
Limite plástico (LP)	38.4
Índice de plasticidad (IP)	<b>30.6</b>



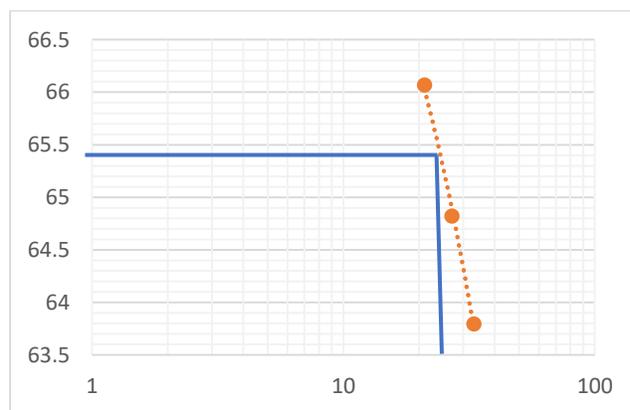
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 1-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M3				
N° de golpes	33	27	21		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.48	4.46	4.47	4.46	4.42
Masa de suelo húmedo + recipiente	13.98	13.69	14.65	13.66	13.58
Masa de suelo seco + recipiente (g)	10.28	10.06	10.6	11.34	11.3
Masa de agua (g)	3.7	3.63	4.05	2.32	2.28
Masa de suelo seco (g)	5.8	5.6	6.13	6.88	6.88
Contenido de agua (%)	63.79	64.82	66.06	33.72	33.13

Limite liquido (LL)	65.4
Limite plástico (LP)	33.43
Índice de plasticidad (IP)	<b>31.96</b>



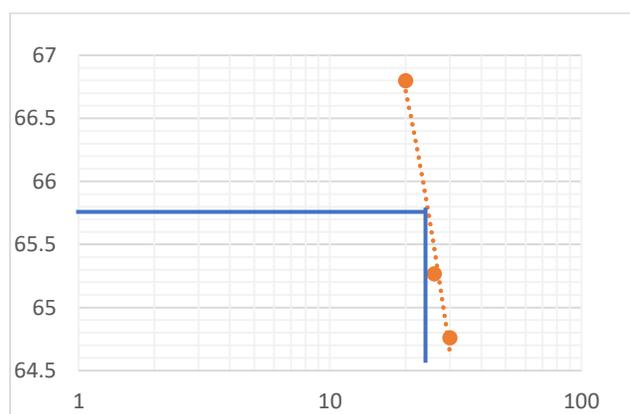
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 1-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M4				
N° de golpes	33	27	21		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	12.51	12.63	12.67	12.7	10.13
Masa de suelo húmedo + recipiente	23.45	21.29	21.11	22.73	19.89
Masa de suelo seco + recipiente (g)	19.15	17.87	17.73	20.12	17.21
Masa de agua (g)	4.3	3.42	3.38	2.61	2.68
Masa de suelo seco (g)	6.64	5.24	5.06	7.42	7.08
Contenido de agua (%)	64.75	65.26	66.79	35.17	37.85

Limite liquido (LL)	65.8
Limite plástico (LP)	36.51
Índice de plasticidad (IP)	<b>29.28</b>



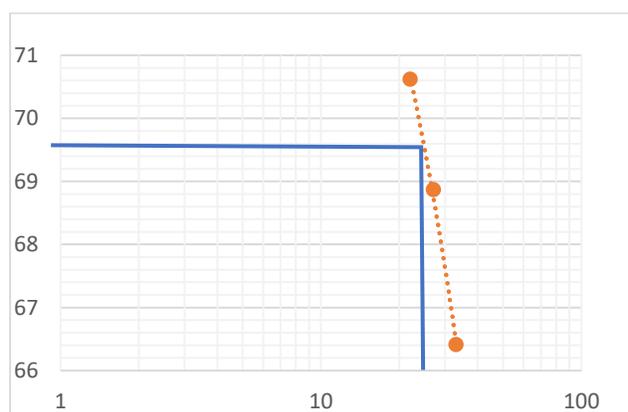
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 1-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M5				
N° de golpes	33	27	22		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	26	12.7	12.58	4.43	4.45
Masa de suelo húmedo + recipiente	32.59	18.83	18.62	11.64	11.64
Masa de suelo seco + recipiente (g)	29.96	16.33	16.12	9.78	9.78
Masa de agua (g)	2.63	2.5	2.5	1.86	2.35
Masa de suelo seco (g)	3.96	3.63	3.54	5.35	6.14
Contenido de agua (%)	66.41	68.87	70.62	34.76	38.27

Limite liquido (LL)	69.7
Limite plástico (LP)	36.51
Índice de plasticidad (IP)	<b>33.18</b>



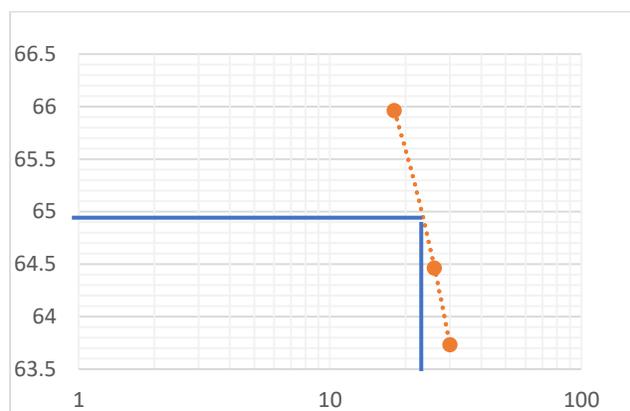
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 1-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M6				
N° de golpes	30	26	18		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.42	4.57	4.47	4.46	26.17
Masa de suelo húmedo + recipiente	10.56	11.79	12.32	12.85	33.9
Masa de suelo seco + recipiente (g)	8.17	8.96	9.2	10.58	31.94
Masa de agua (g)	2.39	2.83	3.12	2.27	1.96
Masa de suelo seco (g)	3.75	4.39	4.73	6.12	5.77
Contenido de agua (%)	63.73	64.46	65.96	37.09	33.96

Limite liquido (LL)	64.8
Limite plástico (LP)	35.53
Índice de plasticidad (IP)	<b>29.26</b>



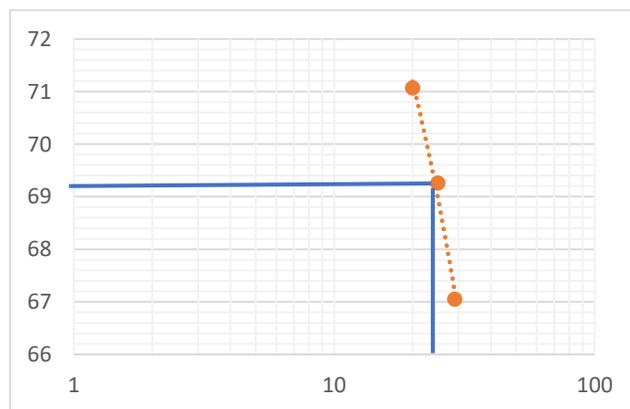
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 4-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M7				
N° de golpes	29	25	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	12.57	12.73	12.61	12.55	12.43
Masa de suelo húmedo + recipiente	22.91	26.22	24.79	20.02	20.88
Masa de suelo seco + recipiente (g)	18.76	20.7	19.73	18.03	18.63
Masa de agua (g)	4.15	5.52	5.06	1.99	2.25
Masa de suelo seco (g)	6.19	7.97	7.12	5.48	6.2
Contenido de agua (%)	67.04	69.25	71.07	36.31	36.29

Limite liquido (LL)	69.2
Limite plástico (LP)	36.30
Índice de plasticidad (IP)	<b>32.89</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

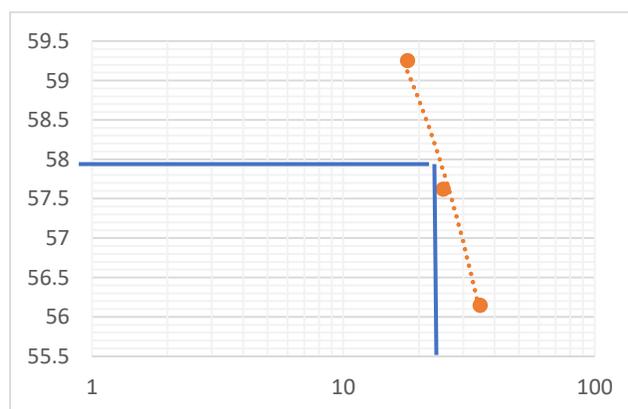
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 4-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M8				
N° de golpes	35	25	18		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.53	4.48	4.45	12.63	12.65
Masa de suelo húmedo + recipiente	11.01	13.48	12.11	19.31	20.34
Masa de suelo seco + recipiente (g)	8.68	10.19	9.26	17.53	18.26
Masa de agua (g)	2.33	3.29	2.85	1.78	2.08
Masa de suelo seco (g)	4.15	5.71	4.81	4.9	5.61
Contenido de agua (%)	56.14	57.61	59.25	36.32	37.07

Limite liquido (LL)	58
Limite plástico (LP)	36.70
Índice de plasticidad (IP)	<b>21.29</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

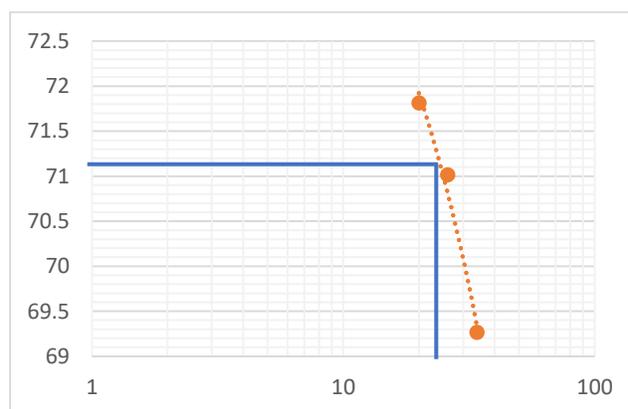
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 4-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M9				
N° de golpes	34	26	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.35	4.39	4.34	12.4	12.52
Masa de suelo húmedo + recipiente	11.95	9.11	10.13	18.6	18.39
Masa de suelo seco + recipiente (g)	8.84	7.15	7.71	16.85	16.84
Masa de agua (g)	3.11	1.96	2.42	1.75	1.55
Masa de suelo seco (g)	4.49	2.76	3.37	4.45	4.32
Contenido de agua (%)	69.26	71.01	71.81	39.32	35.87

Limite liquido (LL)	71.2
Limite plástico (LP)	37.60
Índice de plasticidad (IP)	<b>33.59</b>



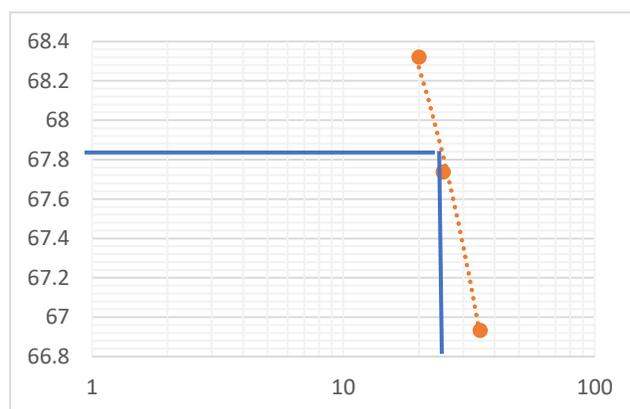
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
(basada en ASTM D 4318-00)

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 4-10-19  
Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M10				
N° de golpes	35	25	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.42	4.57	4.47	4.46	26.17
Masa de suelo húmedo + recipiente	23.16	34.59	23.25	14.35	13.92
Masa de suelo seco + recipiente (g)	18.97	29.74	18.98	11.79	11.23
Masa de agua (g)	4.19	4.85	4.27	2.56	2.69
Masa de suelo seco (g)	6.26	7.16	6.25	7.38	6.83
Contenido de agua (%)	66.93	67.73	68.32	34.68	39.38

Limite liquido (LL)	67.82
Limite plástico (LP)	37.03
Índice de plasticidad (IP)	<b>30.78</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

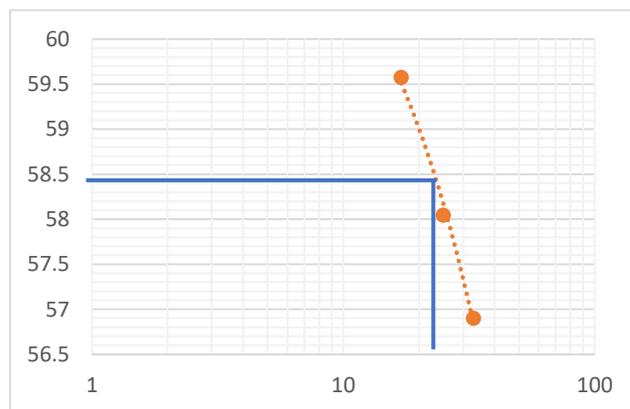
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 4-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M11				
N° de golpes	33	25	17		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	10.15	12.72	12.9	4.39	4.41
Masa de suelo húmedo + recipiente	18.34	20.48	21.15	11.79	11.79
Masa de suelo seco + recipiente (g)	15.37	17.63	18.07	10.05	9.92
Masa de agua (g)	2.97	2.85	3.08	1.74	1.87
Masa de suelo seco (g)	5.22	4.91	5.17	5.66	5.51
Contenido de agua (%)	56.89	58.04	59.57	30.74	33.93

Limite liquido (LL)	58.2
Limite plástico (LP)	32.34
Índice de plasticidad (IP)	<b>25.85</b>



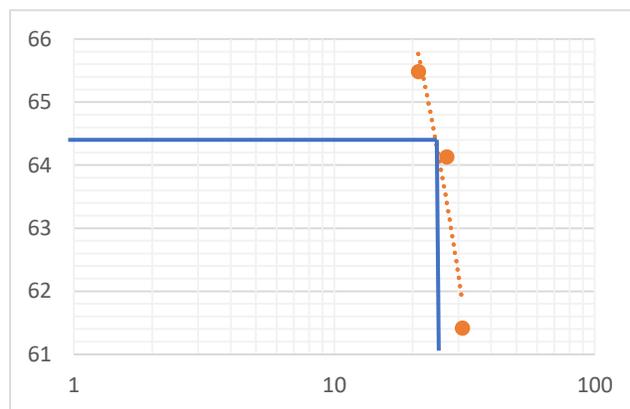
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 4-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M12				
N° de golpes	31	27	21		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.44	26.27	4.28	26.08	26.16
Masa de suelo húmedo + recipiente	14.48	36.84	15.45	33.75	33.02
Masa de suelo seco + recipiente (g)	10.66	32.71	11.03	31.67	31.2
Masa de agua (g)	3.82	4.13	4.42	2.08	1.82
Masa de suelo seco (g)	6.22	6.44	6.75	5.59	5.04
Contenido de agua (%)	61.41	64.13	65.48	37.20	36.11

Limite liquido (LL)	64.4
Limite plástico (LP)	36.66
Índice de plasticidad (IP)	<b>27.73</b>



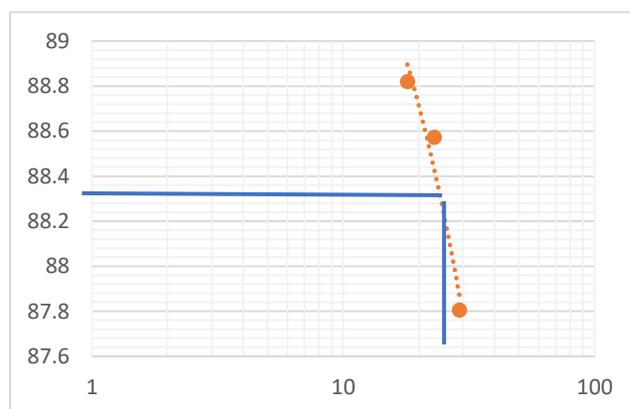
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 8-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M13				
N° de golpes	29	23	18		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	12.61	12.63	10.21	4.45	4.45
Masa de suelo húmedo + recipiente	19.54	19.23	16.29	11.25	12.22
Masa de suelo seco + recipiente (g)	16.3	16.13	13.43	9.32	9.85
Masa de agua (g)	3.24	3.1	2.86	1.93	2.37
Masa de suelo seco (g)	3.69	3.5	3.22	4.87	5.4
Contenido de agua (%)	87.80	88.57	88.81	39.63	43.88

Limite liquido (LL)	88.24
Limite plástico (LP)	41.75
Índice de plasticidad (IP)	<b>46.48</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

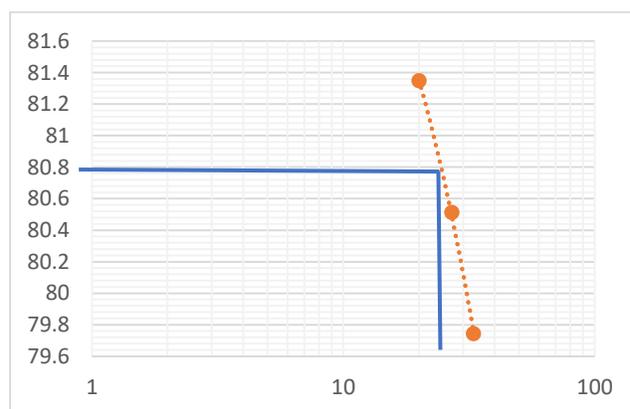
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 8-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M14				
N° de golpes	33	27	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.48	4.47	4.49	4.33	4.32
Masa de suelo húmedo + recipiente	15.66	11.51	11.49	10.66	12.88
Masa de suelo seco + recipiente (g)	10.7	8.37	8.35	8.91	10.5
Masa de agua (g)	4.96	3.14	3.14	1.75	2.38
Masa de suelo seco (g)	6.22	3.9	3.86	4.58	6.18
Contenido de agua (%)	79.74	80.51	81.34	38.20	38.51

Limite liquido (LL)	80.8
Limite plástico (LP)	38.36
Índice de plasticidad (IP)	<b>42.43</b>



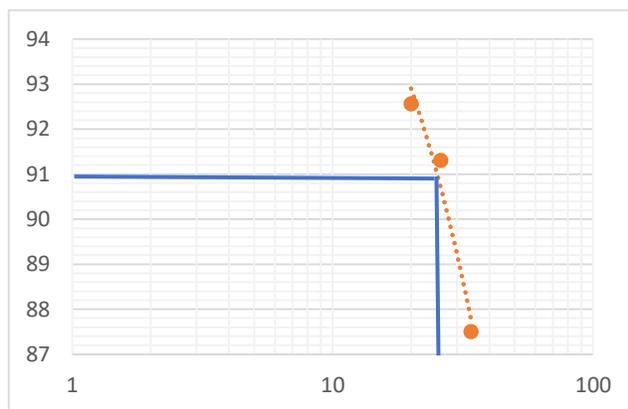
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 8-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M15				
N° de golpes	34	26	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.44	4.46	4.43	12.46	12.61
Masa de suelo húmedo + recipiente	12.84	9.74	10.9	18.86	18.75
Masa de suelo seco + recipiente (g)	8.92	7.22	7.79	16.99	16.93
Masa de agua (g)	3.92	2.52	3.11	1.87	1.82
Masa de suelo seco (g)	4.48	2.76	3.36	4.53	4.32
Contenido de agua (%)	87.5	91.30	92.55	41.28	42.12

Limite liquido (LL)	91
Limite plástico (LP)	41.70
Índice de plasticidad (IP)	<b>49.29</b>



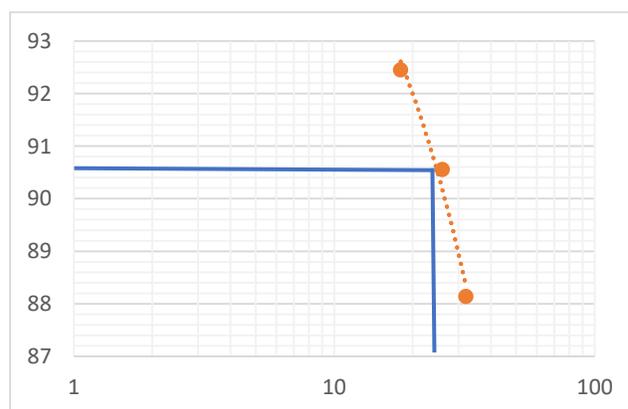
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 8-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M16				
N° de golpes	32	26	18		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.66	4.35	4.46	25.98	25.96
Masa de suelo húmedo + recipiente	12.75	12.62	13.64	33.1	32.26
Masa de suelo seco + recipiente (g)	8.96	8.69	9.23	30.98	30.45
Masa de agua (g)	3.79	3.93	4.41	2.12	1.81
Masa de suelo seco (g)	4.3	4.34	4.77	5	4.49
Contenido de agua (%)	88.13	90.55	92.45	42.4	40.31

Limite liquido (LL)	90.6
Limite plástico (LP)	41.35
Índice de plasticidad (IP)	<b>49.24</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

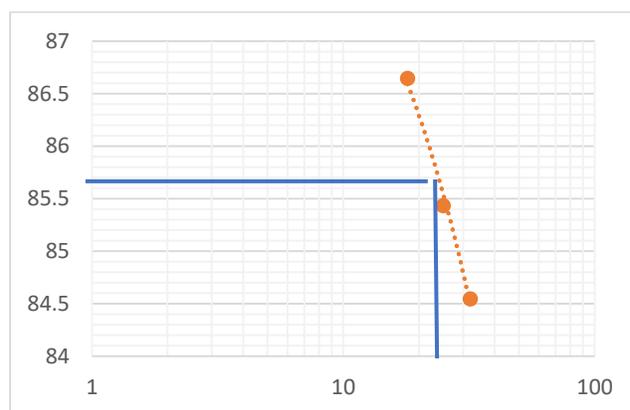
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 8-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M17				
N° de golpes	32	25	18		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	12.48	15.25	15.48	11.52	11.35
Masa de suelo húmedo + recipiente	18.57	21.87	21.49	18.52	18.02
Masa de suelo seco + recipiente (g)	15.78	18.82	18.7	16.3	15.87
Masa de agua (g)	2.79	3.05	2.79	2.22	2.15
Masa de suelo seco (g)	3.3	3.57	3.22	4.78	4.52
Contenido de agua (%)	84.54	85.43	86.64	46.44	47.56

Limite liquido (LL)	85.6
Limite plástico (LP)	47
Índice de plasticidad (IP)	<b>38.59</b>



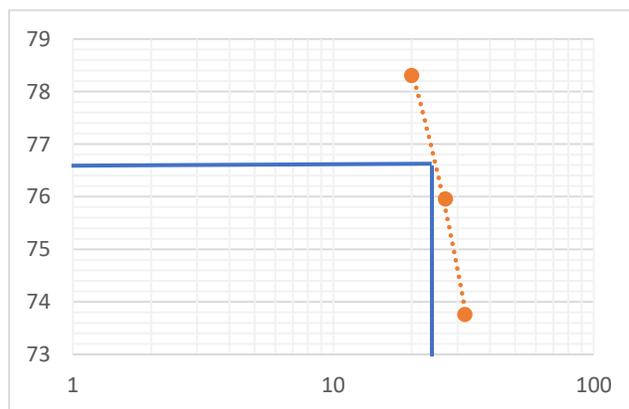
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 8-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M18				
N° de golpes	32	27	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	15.28	12.47	15.23	4.36	4.32
Masa de suelo húmedo + recipiente	22.96	19.86	22.38	10.57	11.46
Masa de suelo seco + recipiente (g)	19.7	16.67	19.24	8.69	9.39
Masa de agua (g)	3.26	3.19	3.14	1.88	2.07
Masa de suelo seco (g)	4.42	4.2	4.01	4.42	4.2
Contenido de agua (%)	73.75	75.95	78.30	43.41	40.82

Limite liquido (LL)	76.5
Limite plástico (LP)	42.12
Índice de plasticidad (IP)	<b>34.37</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

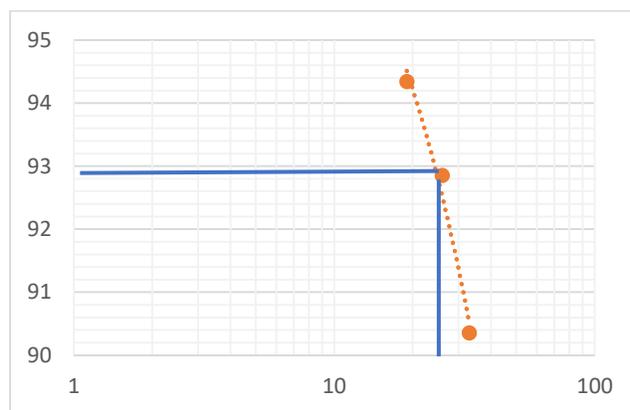
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 11-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M19				
N° de golpes	33	26	19		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.56	4.4	4.71	26	26
Masa de suelo húmedo + recipiente	13.64	12.77	12.27	33.3	32.289
Masa de suelo seco + recipiente (g)	9.33	8.74	8.6	31.01	30.35
Masa de agua (g)	4.31	4.03	3.67	2.29	1.939
Masa de suelo seco (g)	4.77	4.34	3.89	5.01	4.35
Contenido de agua (%)	90.35	92.85	94.34	45.70	44.59

Limite liquido (LL)	92.9
Limite plástico (LP)	45.15
Índice de plasticidad (IP)	<b>47.74</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

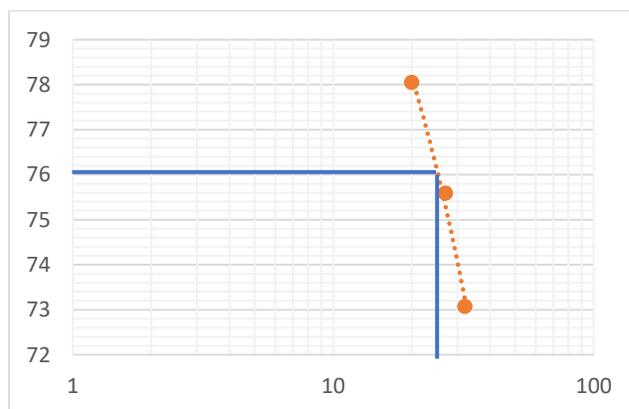
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 11-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M20				
N° de golpes	32	27	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	15.26	12.45	15.21	4.35	4.31
Masa de suelo húmedo + recipiente	22.91	19.86	22.35	10.56	11.45
Masa de suelo seco + recipiente (g)	19.68	16.67	19.22	8.68	9.38
Masa de agua (g)	3.23	3.19	3.13	1.88	2.07
Masa de suelo seco (g)	4.42	4.22	4.01	4.33	5.07
Contenido de agua (%)	73.07	75.59	78.05	43.41	40.52

Limite liquido (LL)	76
Limite plástico (LP)	42.12
Índice de plasticidad (IP)	<b>33.87</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

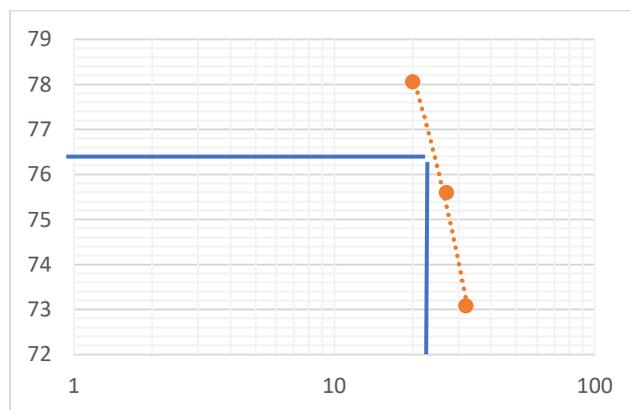
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 11-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M21				
N° de golpes	32	28	18		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.47	4.45	4.46	4.62	4.65
Masa de suelo húmedo + recipiente	12.4	11.04	13.89	12.15	11.17
Masa de suelo seco + recipiente (g)	9	8.19	9.77	9.67	9
Masa de agua (g)	3.4	2.85	4.12	2.48	2.17
Masa de suelo seco (g)	4.53	3.74	5.31	5.05	4.35
Contenido de agua (%)	75.05	76.20	77.58	49.10	49.88

Limite liquido (LL)	76.5
Limite plástico (LP)	49.49
Índice de plasticidad (IP)	<b>27</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

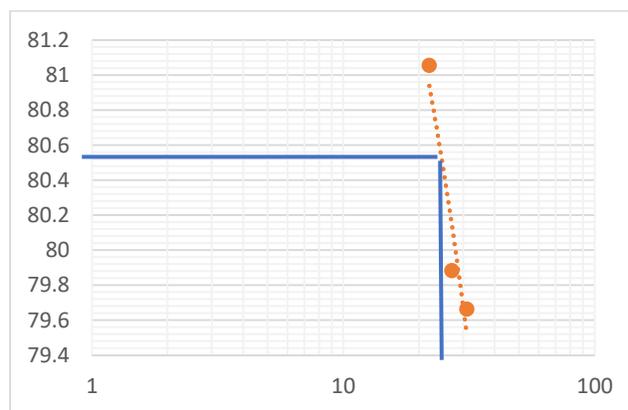
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 11-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M22				
N° de golpes	31	27	22		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.44	4.74	4.43	4.34	26.14
Masa de suelo húmedo + recipiente	29.97	14.04	12.65	11.49	32.4
Masa de suelo seco + recipiente (g)	16.98	9.91	8.97	9.25	30.48
Masa de agua (g)	12.99	4.13	3.68	2.24	1.92
Masa de suelo seco (g)	12.54	5.17	4.54	4.91	4.34
Contenido de agua (%)	79.66	79.88	81.05	45.62	44.23

Limite liquido (LL)	80.5
Limite plástico (LP)	44.93
Índice de plasticidad (IP)	<b>35.56</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

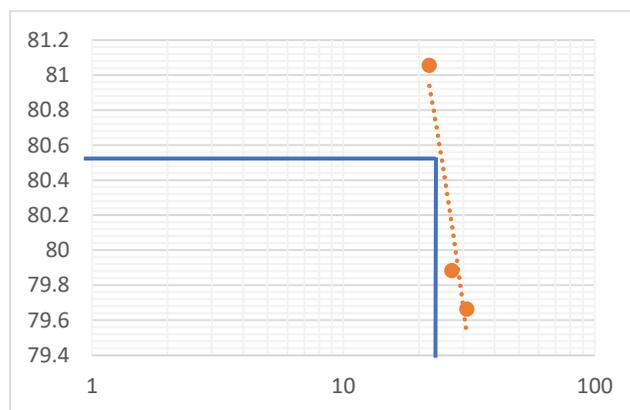
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 11-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M23				
N° de golpes	30	25	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.43	4.44	4.45	4.4	4.4
Masa de suelo húmedo + recipiente	13.65	12.55	12.5	12.3	12.98
Masa de suelo seco + recipiente (g)	9.51	8.93	8.93	9.9	10.35
Masa de agua (g)	4.14	3.62	3.57	2.4	2.63
Masa de suelo seco (g)	5.08	4.49	4.48	5.5	5.95
Contenido de agua (%)	81.496	80.62	79.68	43.63	44.20

Limite liquido (LL)	80.5
Limite plástico (LP)	43.91
Índice de plasticidad (IP)	<b>36.58</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

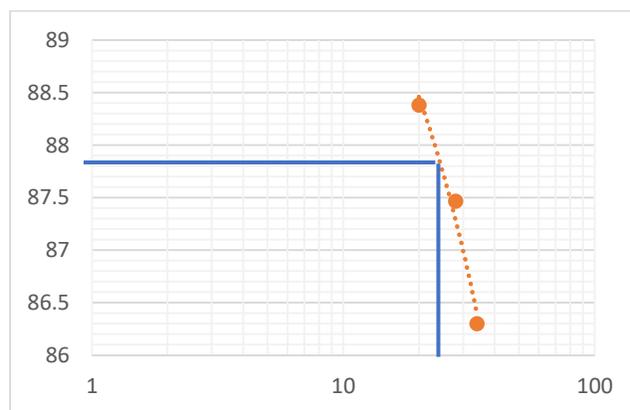
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 11-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M24				
N° de golpes	34	28	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	12.61	12.73	12.61	12.7	4.44
Masa de suelo húmedo + recipiente	19.41	19.91	20.88	21.28	11.84
Masa de suelo seco + recipiente (g)	16.26	16.56	17	18.75	9.49
Masa de agua (g)	3.15	3.35	3.88	2.53	2.35
Masa de suelo seco (g)	3.65	3.83	4.39	6.05	5.05
Contenido de agua (%)	86.30	87.46	88.38	41.81	46.53

Limite liquido (LL)	87.8
Limite plástico (LP)	44.17
Índice de plasticidad (IP)	<b>43.62</b>



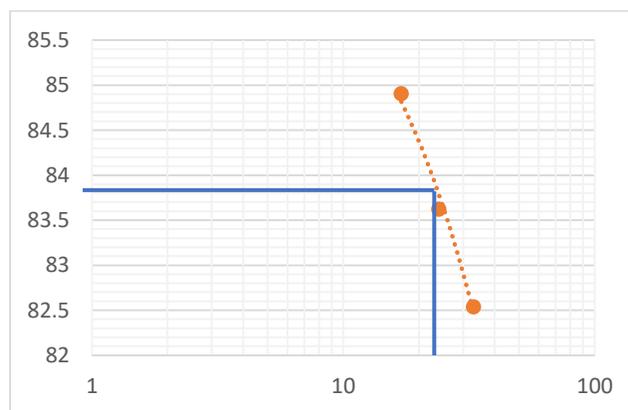
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 15-10-19  
 Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M25				
N° de golpes	33	24	17		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.56	4.72	12.67	26.2	4.35
Masa de suelo húmedo + recipiente	12.61	14.25	25.78	33.53	11.66
Masa de suelo seco + recipiente (g)	8.97	9.91	19.76	31.3	9.47
Masa de agua (g)	3.64	4.34	6.02	2.23	2.19
Masa de suelo seco (g)	4.41	5.19	7.09	5.1	5.12
Contenido de agua (%)	82.53	83.62	84.90	43.72	42.77

Limite liquido (LL)	83.7
Limite plástico (LP)	43.24
Índice de plasticidad (IP)	<b>40.45</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

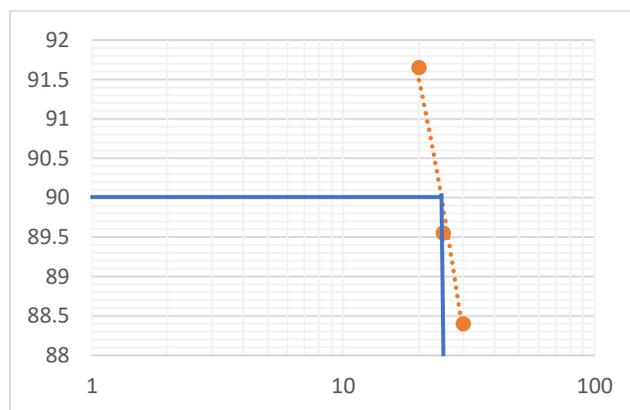
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 15=10=19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M26				
N° de golpes	30	25	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.39	4.42	4.4	12.58	12.74
Masa de suelo húmedo + recipiente	15.6	14.58	14.96	20.76	20.66
Masa de suelo seco + recipiente (g)	10.34	9.78	9.91	18.32	18.31
Masa de agua (g)	5.26	4.8	5.05	2.44	2.35
Masa de suelo seco (g)	5.95	5.36	5.51	5.74	5.57
Contenido de agua (%)	88.40	89.55	91.65	42.50	42.19

Limite liquido (LL)	90
Limite plástico (LP)	42.34
Índice de plasticidad (IP)	<b>47.65</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

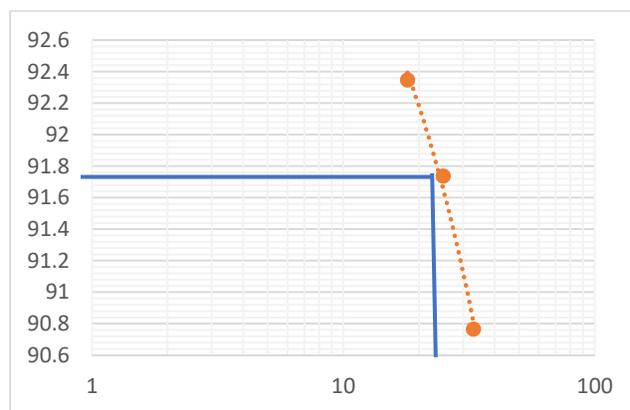
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 15-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M27				
N° de golpes	33	25	18		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	26.34	4.45	4.49	4.45	12.23
Masa de suelo húmedo + recipiente	36.05	13.5	11.78	11.61	18.97
Masa de suelo seco + recipiente (g)	31.43	9.17	8.28	9.55	17.03
Masa de agua (g)	4.62	4.33	3.5	2.06	1.94
Masa de suelo seco (g)	5.09	4.72	3.79	5.1	4.8
Contenido de agua (%)	90.76	91.73	92.34	40.39	40.41

Limite liquido (LL)	91.7
Limite plástico (LP)	40.40
Índice de plasticidad (IP)	<b>51.29</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

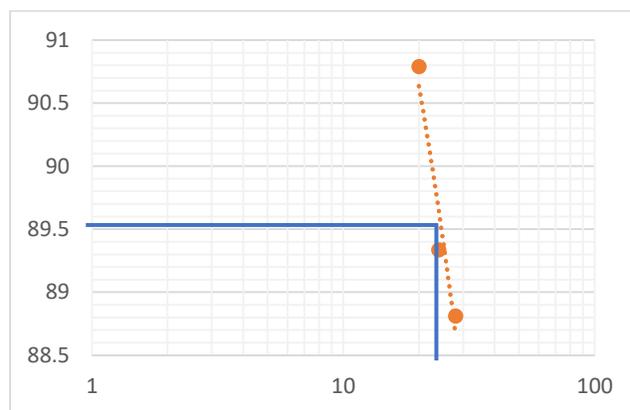
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 15-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M28				
N° de golpes	28	24	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.46	4.45	4.48	12.65	12.72
Masa de suelo húmedo + recipiente	15.43	11.02	11.73	20.47	21.51
Masa de suelo seco + recipiente (g)	10.27	7.92	8.28	18.11	18.94
Masa de agua (g)	5.16	3.1	3.45	2.36	2.57
Masa de suelo seco (g)	5.81	3.47	3.8	5.46	6.22
Contenido de agua (%)	88.81	89.33	90.78	43.22	41.31

Limite liquido (LL)	89.5
Limite plástico (LP)	42.27
Índice de plasticidad (IP)	<b>47.22</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

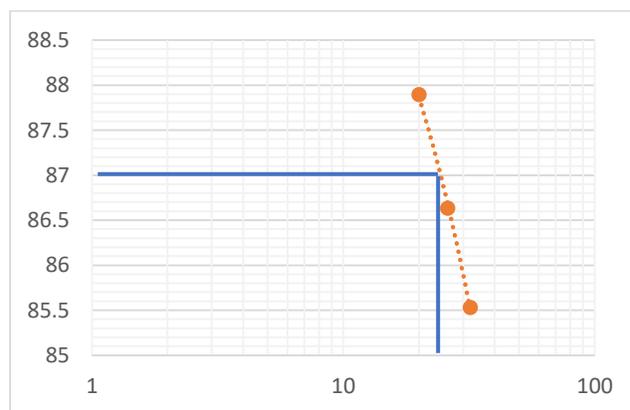
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 15-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M29				
N° de golpes	32	26	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	26.24	26.27	26.07	4.41	4.32
Masa de suelo húmedo + recipiente	33.55	33.81	33.21	10.66	10.64
Masa de suelo seco + recipiente (g)	30.18	30.31	29.87	8.72	8.92
Masa de agua (g)	3.37	3.5	3.34	1.94	1.72
Masa de suelo seco (g)	3.94	4.04	3.8	4.31	4.6
Contenido de agua (%)	85.53	86.63	87.89	45.01	37.39

Limite Liquido (LL)	87
Limite plástico (LP)	41.20
Índice de plasticidad (IP)	<b>45.79</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

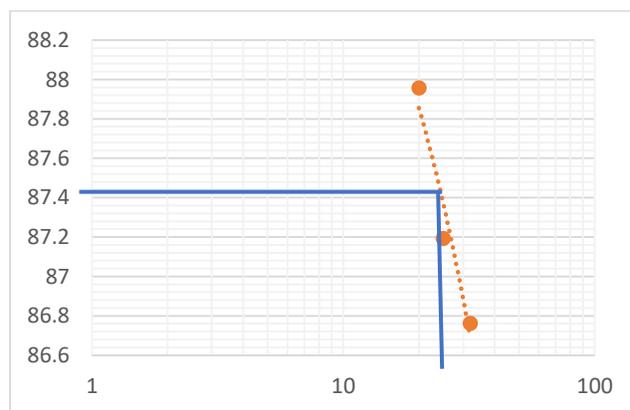
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 15-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M30				
N° de golpes	32	25	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.22	4.25	4.2	4.25	4.27
Masa de suelo húmedo + recipiente	15.93	17.26	14.97	12.92	11.19
Masa de suelo seco + recipiente (g)	10.49	11.2	9.93	10.4	9.15
Masa de agua (g)	5.44	6.06	5.04	2.52	2.04
Masa de suelo seco (g)	6.27	6.95	5.73	6.15	4.88
Contenido de agua (%)	86.76	87.19	87.95	40.97	41.80

Limite liquido (LL)	87.4
Limite plástico (LP)	41.38
Índice de plasticidad (IP)	<b>46.01</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

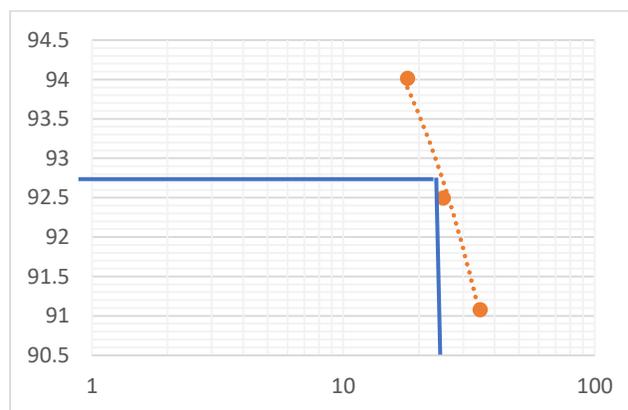
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 18-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M31				
N° de golpes	35	25	18		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	12.75	12.81	10.27	4.14	4.14
Masa de suelo húmedo + recipiente	22.82	23.84	19.35	10.98	10.97
Masa de suelo seco + recipiente (g)	18.02	18.54	14.95	9.01	9.08
Masa de agua (g)	4.8	5.3	4.4	1.97	1.89
Masa de suelo seco (g)	5.27	5.73	4.68	4.87	4.94
Contenido de agua (%)	91.08	92.49	94.01	40.45	38.25

Limite liquido (LL)	92.8
Limite plástico (LP)	39.35
Índice de plasticidad (IP)	<b>53.44</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

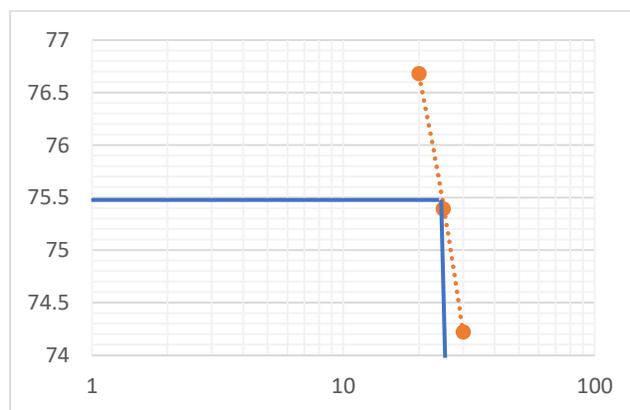
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 18-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M32				
N° de golpes	30	25	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	10.19	12.61	12.67	26.05	4.32
Masa de suelo húmedo + recipiente	18.03	20.38	20.55	33.39	11.74
Masa de suelo seco + recipiente (g)	14.69	17.04	17.13	31.26	9.68
Masa de agua (g)	3.34	3.34	3.42	2.13	2.06
Masa de suelo seco (g)	4.5	4.43	4.46	5.21	5.36
Contenido de agua (%)	74.22	75.39	76.68	40.88	38.43

Limite liquido (LL)	75.5
Limite plástico (LP)	39.65
Índice de plasticidad (IP)	<b>35.84</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

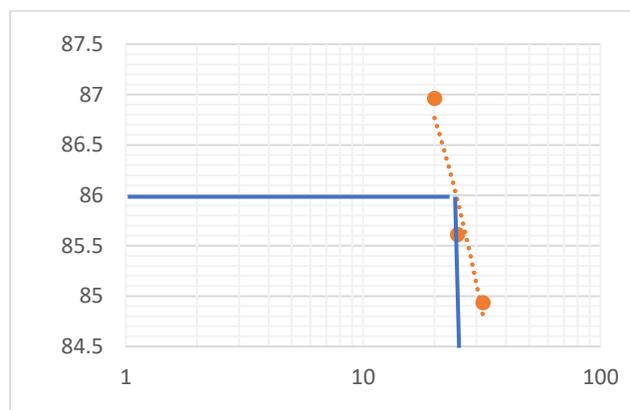
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 18-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M33				
N° de golpes	32	25	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.2	4.23	4.18	4.23	4.24
Masa de suelo húmedo + recipiente	15.74	17.13	15.08	12.71	11.11
Masa de suelo seco + recipiente (g)	10.44	11.18	10.01	10.31	9.1
Masa de agua (g)	3.34	3.34	3.42	2.13	2.06
Masa de suelo seco (g)	4.5	4.43	4.46	5.21	5.36
Contenido de agua (%)	84.93	85.61	86.96	39.47	41.35

Limite liquido (LL)	86
Limite plástico (LP)	40.41
Índice de plasticidad (IP)	<b>45.58</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

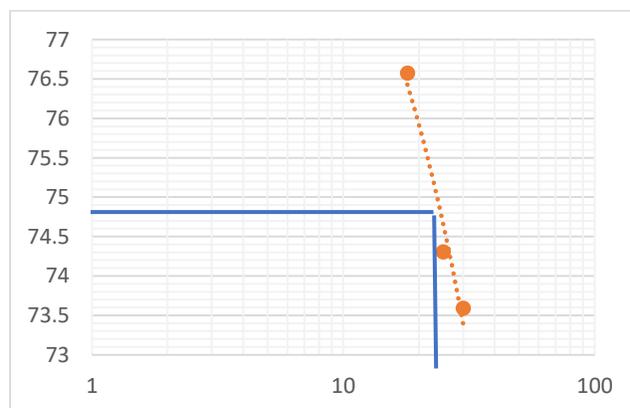
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 18-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M34				
Nº de golpes	30	25	18		
Nº de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.45	4.51	4.45	4.31	4.32
Masa de suelo húmedo + recipiente	13.06	12.65	12.59	11.82	11.54
Masa de suelo seco + recipiente (g)	9.41	9.18	9.06	9.68	9.43
Masa de agua (g)	3.65	3.47	3.53	2.14	2.11
Masa de suelo seco (g)	4.96	4.67	4.61	5.37	5.11
Contenido de agua (%)	73.58	74.30	76.57	39.85	41.29

Limite liquido (LL)	74.7
Limite plástico (LP)	40.57
Índice de plasticidad (IP)	<b>34.12</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

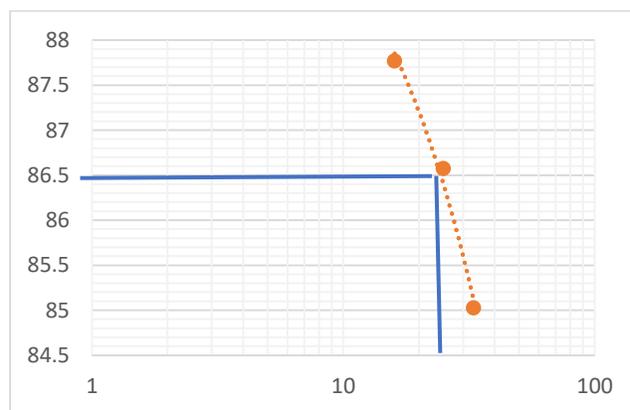
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 18-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M35				
N° de golpes	33	25	16		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.44	4.4	26	15.4	15.26
Masa de suelo húmedo + recipiente	11.36	11.21	33.83	22.93	23.45
Masa de suelo seco + recipiente (g)	8.18	8.05	30.17	20.72	20.97
Masa de agua (g)	3.18	3.16	3.66	2.21	2.48
Masa de suelo seco (g)	3.74	3.65	4.17	5.32	5.71
Contenido de agua (%)	85.02	86.57	87.76	41.54	43.43

Limite liquido (LL)	86.5
Limite plástico (LP)	42.48
Índice de plasticidad (IP)	<b>44.01</b>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE**  
**PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**  
**(basada en ASTM D 4318-00)**

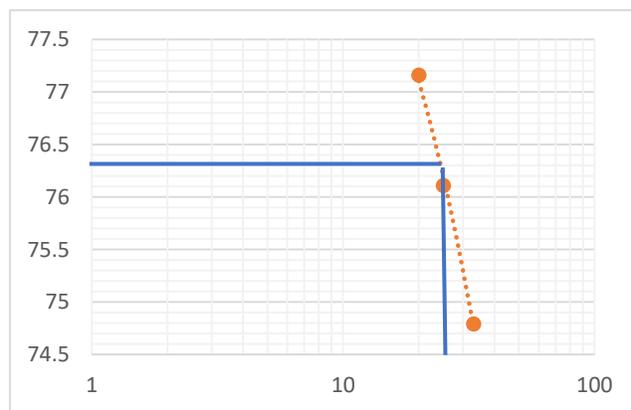
Proyecto : ESTABILIZACION DE CAPA DE RODADURA DE CAMINOS RURALES  
 CON ADICION DE YESO PARA REDUCIR LA PLASTICIDAD Y GRAVA  
 PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Ubicación :UES FMO Fecha : 18-10-19

Método de ensayo utilizado :ASTM D4318-00 Laboratorio :UES FMO

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	M36				
N° de golpes	33	25	20		
N° de recipiente	T1	T2	T3	T4	T5
Masa de recipiente	4.47	4.44	4.44	4.42	4.44
Masa de suelo húmedo + recipiente	12.86	11.59	12.43	10.91	12.43
Masa de suelo seco + recipiente (g)	9.27	8.5	8.95	8.98	10.08
Masa de agua (g)	3.59	3.09	3.48	1.93	2.35
Masa de suelo seco (g)	4.8	4.06	4.51	4.56	5.64
Contenido de agua (%)	74.79	76.10	77.1	42.32	41.66

Limite liquido (LL)	76.3
Limite plástico (LP)	41.99
Índice de plasticidad (IP)	<b>34.30</b>



**ANEXO E**  
**DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LAS**  
**CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACION DE LOS SUELOS**  
**(BASADA EN AASHTO T 180-01)**

**Cálculos para la determinación del ensayo proctor de suelo en estado natural, con base a la norma AASHTO T 180 – 01**

Contenido de humedad inicial

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{497 - 462}{462 - 197} \times 100$$

$$w\% = 13.21\%$$

Cantidad de agua a agregar

$$C_w = k \times \frac{w_2 - w_1}{1 + w_1}$$

Muestra 1

$$C_w = 3000 \times \frac{0.23 - 0.1321}{1 + 0.1321}$$

$$C_w = 259.5 \text{ ml}$$

Muestra 2

$$C_w = 3000 \times \frac{0.27 - 0.1321}{1 + 0.1321}$$

$$C_w = 365.5 \text{ ml}$$

Muestra 3

$$C_w = 3000 \times \frac{0.31 - 0.1321}{1 + 0.1321}$$

$$C_w = 471.5 \text{ ml}$$

Muestra 4

$$C_w = 3000 \times \frac{0.35 - 0.1321}{1 + 0.1321}$$

$$C_w = 577.5 \text{ ml}$$

Muestra 5

$$C_w = 3000 \times \frac{0.39 - 0.1321}{1 + 0.1321}$$

$$C_w = 683.5 \text{ ml}$$

Contenido de humedad de cada espécimen de ensayo

Muestra 1

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{497 - 443}{443 - 197} \times 100$$

$$w\% = 21.95\%$$

Muestra 2

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{497 - 438}{438 - 197} \times 100$$

$$w\% = 24.48\%$$

Muestra 3

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{497 - 431}{431 - 197} \times 100$$

$$w\% = 28.21\%$$

Muestra 4

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{497 - 427}{427 - 197} \times 100$$

$$w\% = 30.43\%$$

Muestra 5

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{497 - 416}{416 - 197} \times 100$$

$$w\% = 36.99\%$$

Peso volumétrico húmedo de cada espécimen

$$\gamma_h = \frac{(M_{h+m} - M_m)}{V_m}$$

Muestra 1

$$\gamma_h = \frac{(5570 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.58 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 2

$$\gamma_h = \frac{(5811 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.83 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 3

$$\gamma_h = \frac{(5837 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.86 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 4

$$\gamma_h = \frac{(5792 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.81 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 5

$$\gamma_h = \frac{(5754 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.77 \frac{gr}{cm^3}$$

Peso unitario seco

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Muestra 1

$$\gamma_d = \frac{1.58}{1 + \frac{21.95}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.29$$

Muestra 2

$$\gamma_d = \frac{1.83}{1 + \frac{24.48}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.47$$

Muestra 3

$$\gamma_d = \frac{1.86}{1 + \frac{28.21}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.45$$

Muestra 4

$$\gamma_d = \frac{1.81}{1 + \frac{30.43}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.39$$

Muestra 5

$$\gamma_d = \frac{1.77}{1 + \frac{36.99}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.29$$

**Cálculos para la determinación del ensayo proctor con mezcla de suelo estabilizado con 8% de yeso respecto a su peso, con base a la norma AASHTO T 180 – 01**

**Nota:** Se utilizarán los mismos moldes de compactación

Molde	Peso (g)	Diámetro sup (mm)	Diámetro inf (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Altura (mm)
1	4086	101.35	101.54	941.01	116.42
2	4086	101.67	101.64	944.58	116.38

Contenido de humedad inicial

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{394.9 - 377.6}{377.6 - 197.2} \times 100$$

$$w\% = 9.59\%$$

Cantidad de agua a agregar

$$C_w = k \times \frac{w_2 - w_1}{1 + w_1}$$

Muestra 1

$$C_w = 3000 \times \frac{0.15 - 0.0959}{1 + 0.0959}$$

$$C_w = 148.10 \text{ ml}$$

Muestra 2

$$C_w = 3000 \times \frac{0.19 - 0.0959}{1 + 0.0959}$$

$$C_w = 257.60 \text{ ml}$$

Muestra 3

$$C_w = 3000 \times \frac{0.23 - 0.0959}{1 + 0.0959}$$

$$C_w = 367.10 \text{ ml}$$

Muestra 4

$$C_w = 3000 \times \frac{0.27 - 0.0959}{1 + 0.0959}$$

$$C_w = 476.60 \text{ ml}$$

Muestra 5

$$C_w = 3000 \times \frac{0.31 - 0.0959}{1 + 0.0959}$$

$$C_w = 586.10 \text{ ml}$$

**Contenido de humedad de cada espécimen de ensayo**

Muestra 1

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{497 - 453}{453 - 197} \times 100$$

$$w\% = 17.19\%$$

Muestra 2

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{496 - 447}{447 - 196} \times 100$$

$$w\% = 19.52\%$$

Muestra 3

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{492 - 439}{439 - 192} \times 100$$

$$w\% = 21.46\%$$

Muestra 4

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{497 - 435}{435 - 197} \times 100$$

$$w\% = 26.05\%$$

Muestra 5

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{496 - 422}{422 - 196} \times 100$$

$$w\% = 32.74\%$$

Peso volumétrico húmedo de cada espécimen

$$\gamma_h = \frac{(M_{h+m} - M_m)}{V_m}$$

Muestra 1

$$\gamma_h = \frac{(5637 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.65 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 2

$$\gamma_h = \frac{(5688 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.70 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 3

$$\gamma_h = \frac{(5633 - 3892)}{944.58}$$

$$\gamma_h = 1.84 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 4

$$\gamma_h = \frac{(5826 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.85 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 5

$$\gamma_h = \frac{(5820 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.84 \frac{gr}{cm^3}$$

Peso unitario seco

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Muestra 1

$$\gamma_d = \frac{1.65}{1 + \frac{17.19}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.41$$

Muestra 2

$$\gamma_d = \frac{1.70}{1 + \frac{19.52}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.42$$

Muestra 3

$$\gamma_d = \frac{1.84}{1 + \frac{21.46}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.52$$

Muestra 4

$$\gamma_d = \frac{1.85}{1 + \frac{26.05}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.47$$

Muestra 5

$$\gamma_d = \frac{1.84}{1 + \frac{32.74}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.39$$

**Cálculos para la determinación del ensayo proctor con mezcla de suelo estabilizado con 8% de yeso y 10% de grava N°2 respecto a su peso, con base a la norma AASHTO T180- 01**

**Nota:** Se utilizarán los mismos moldes de compactación

Molde	Peso (g)	Diámetro sup (mm)	Diámetro inf (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Altura (mm)
1	4086	101.35	101.54	941.01	116.42
2	4086	101.67	101.64	944.58	116.38

Contenido de humedad inicial

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{394.9 - 377.6}{377.6 - 197.2} \times 100$$

$$w\% = 9.59\%$$

$$w_1\% = \frac{492 - 462}{462 - 192} \times 100$$

$$w_1\% = 11.11\%$$

$$w_2\% = \frac{484 - 452}{452 - 184} \times 100$$

$$w_2\% = 11.94\%$$

Cantidad de agua a agregar

$$C_w = k \times \frac{w_2 - w_1}{1 + w_1}$$

Muestra 1

$$C_w = 3000 \times \frac{0.19 - 0.1111}{1 + 0.0959}$$

$$C_w = 429.34 \text{ ml}$$

Muestra 2

$$C_w = 3000 \times \frac{0.23 - 0.0959}{1 + 0.0959}$$

$$C_w = 611.84 \text{ ml}$$

Muestra 3

$$C_w = 3000 \times \frac{0.27 - 0.0959}{1 + 0.0959}$$

$$C_w = 794.33 \text{ ml}$$

Muestra 4

$$C_w = 3000 \times \frac{0.31 - 0.1111}{1 + 0.1111}$$

$$C_w = 895 \text{ ml}$$

Muestra 5

$$C_w = 3000 \times \frac{0.35 - 0.1194}{1 + 0.1194}$$

$$C_w = 1030 \text{ ml}$$

Contenido de humedad de cada espécimen de ensayo

Muestra 1

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{484 - 435}{435 - 184} \times 100$$

$$w\% = 19.52\%$$

Muestra 2

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{492 - 437}{437 - 192} \times 100$$

$$w\% = 22.45\%$$

Muestra 3

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{496 - 435}{435 - 196} \times 100$$

$$w\% = 25.52\%$$

Muestra 4

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{484 - 417}{417 - 184} \times 100$$

$$w\% = 28.76\%$$

Muestra 5

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{492 - 410}{410 - 192} \times 100$$

$$w\% = 37.61\%$$

Peso volumétrico húmedo de cada espécimen

$$\gamma_h = \frac{(M_{h+m} - M_m)}{V_m}$$

Muestra 1

$$\gamma_h = \frac{(5774 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.79 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 2

$$\gamma_h = \frac{(5860 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.89 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 3

$$\gamma_h = \frac{(5893 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.92 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 4

$$\gamma_h = \frac{(5872 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.90 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 5

$$\gamma_h = \frac{(5842 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.87 \frac{gr}{cm^3}$$

Peso unitario seco

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Muestra 1

$$\gamma_d = \frac{1.79}{1 + \frac{19.52}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.50$$

Muestra 2

$$\gamma_d = \frac{1.89}{1 + \frac{22.45}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.54$$

Muestra 3

$$\gamma_d = \frac{1.92}{1 + \frac{25.52}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.53$$

Muestra 4

$$\gamma_d = \frac{1.90}{1 + \frac{28.76}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.47$$

Muestra 5

$$\gamma_d = \frac{1.87}{1 + \frac{37.61}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.36$$

**Cálculos para la determinación del ensayo proctor con mezcla de suelo estabilizado con 8% de yeso y 20% de grava N°2 respecto a su peso, con base a la norma AASHTO T180– 01**

**Nota:** Se utilizarán los mismos moldes de compactación

Molde	Peso (g)	Diámetro sup (mm)	Diámetro inf (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Altura (mm)
1	4086	101.35	101.54	941.01	116.42
2	4086	101.67	101.64	944.58	116.38

Contenido de humedad inicial

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w_1\% = \frac{492 - 466}{466 - 192} \times 100$$

$$w_1\% = 9.49\%$$

$$w_2\% = \frac{496 - 478}{478 - 196} \times 100$$

$$w_2\% = 6.38\%$$

Cantidad de agua a agregar

$$C_w = k \times \frac{w_2 - w_1}{1 + w_1}$$

Muestra 1

$$C_w = 3000 \times \frac{0.15 - 0.0949}{1 + 0.0949}$$

$$C_w = 251.67 \text{ ml}$$

Muestra 2

$$C_w = 3000 \times \frac{0.19 - 0.0638}{1 + 0.0638}$$

$$C_w = 593 \text{ ml}$$

Muestra 3

$$C_w = 3000 \times \frac{0.23 - 0.0949}{1 + 0.0949}$$

$$C_w = 617 \text{ ml}$$

Muestra 4

$$C_w = 3000 \times \frac{0.27 - 0.0949}{1 + 0.0949}$$

$$C_w = 799.67 \text{ ml}$$

Muestra 5

$$C_w = 3000 \times \frac{0.31 - 0.0949}{1 + 0.0949}$$

$$C_w = 982.33 \text{ ml}$$

Contenido de humedad de cada espécimen de ensayo

Muestra 1

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{497 - 457}{457 - 197} \times 100$$

$$w\% = 15.38\%$$

Muestra 2

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{492 - 445}{445 - 192} \times 100$$

$$w\% = 18.58\%$$

Muestra 3

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{484 - 434}{434 - 184} \times 100$$

$$w\% = 20.00\%$$

Muestra 4

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{496 - 435}{435 - 196} \times 100$$

$$w\% = 25.52\%$$

Muestra 5

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{497 - 424}{424 - 197} \times 100$$

$$w\% = 32.16\%$$

Peso volumétrico húmedo de cada espécimen

$$\gamma_h = \frac{(M_{h+m} - M_m)}{V_m}$$

Muestra 1

$$\gamma_h = \frac{(5873 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.90 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 2

$$\gamma_h = \frac{(5951 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.98 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 3

$$\gamma_h = \frac{(5961 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.99 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 4

$$\gamma_h = \frac{(5900 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.93 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 5

$$\gamma_h = \frac{(5858 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.88 \frac{gr}{cm^3}$$

Peso unitario seco

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Muestra 1

$$\gamma_d = \frac{1.90}{1 + \frac{15.38}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.65$$

Muestra 2

$$\gamma_d = \frac{1.98}{1 + \frac{18.58}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.67$$

Muestra 3

$$\gamma_d = \frac{1.99}{1 + \frac{20.00}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.66$$

Muestra 4

$$\gamma_d = \frac{1.93}{1 + \frac{25.52}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.54$$

Muestra 5

$$\gamma_d = \frac{1.88}{1 + \frac{32.16}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.42$$

**Cálculos para la determinación del ensayo proctor con mezcla de suelo estabilizado con 8% de yeso y 30% de grava N°2 respecto a su peso, con base a la norma AASHTO**

**T180– 01**

**Nota:** Se utilizarán los mismos moldes de compactación

Molde	Peso (g)	Diámetro sup (mm)	Diámetro inf (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Altura (mm)
1	4086	101.35	101.54	941.01	116.42
2	4086	101.67	101.64	944.58	116.38

Contenido de humedad inicial

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w_1\% = \frac{492 - 466}{466 - 192} \times 100$$

$$w_1\% = 9.49\%$$

$$w_2\% = \frac{496 - 478}{478 - 196} \times 100$$

$$w_2\% = 6.38\%$$

Cantidad de agua a agregar

$$C_w = k \times \frac{w_2 - w_1}{1 + w_1}$$

Muestra 1

$$C_w = 3000 \times \frac{0.15 - 0.0638}{1 + 0.0638}$$

$$C_w = 405 \text{ ml}$$

Muestra 2

$$C_w = 3000 \times \frac{0.19 - 0.0638}{1 + 0.0638}$$

$$C_w = 593 \text{ ml}$$

Muestra 3

$$C_w = 3000 \times \frac{0.23 - 0.0949}{1 + 0.0949}$$

$$C_w = 617 \text{ ml}$$

Muestra 4

$$C_w = 3000 \times \frac{0.27 - 0.0949}{1 + 0.0949}$$

$$C_w = 799.67 \text{ ml}$$

Muestra 5

$$C_w = 3000 \times \frac{0.31 - 0.0949}{1 + 0.0949}$$

$$C_w = 982.33 \text{ ml}$$

Contenido de humedad de cada espécimen de ensayo

Muestra 1

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{492 - 455}{455 - 192} \times 100$$

$$w\% = 14.07\%$$

Muestra 2

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{484 - 437}{437 - 184} \times 100$$

$$w\% = 18.58\%$$

Muestra 3

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{496 - 440}{440 - 196} \times 100$$

$$w\% = 22.95\%$$

Muestra 4

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{498 - 437}{437 - 198} \times 100$$

$$w\% = 25.52\%$$

Muestra 5

$$w\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$$

$$w\% = \frac{497 - 426}{426 - 197} \times 100$$

$$w\% = 31.00\%$$

Peso volumétrico húmedo de cada espécimen

$$\gamma_h = \frac{(M_{h+m} - M_m)}{V_m}$$

Muestra 1

$$\gamma_h = \frac{(5825 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.85 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 2

$$\gamma_h = \frac{(5986 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 2.02 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 3

$$\gamma_h = \frac{(5988 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 2.02 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 4

$$\gamma_h = \frac{(5930 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.96 \frac{gr}{cm^3}$$

Muestra 5

$$\gamma_h = \frac{(5913 - 4086)}{941.01}$$

$$\gamma_h = 1.94 \frac{gr}{cm^3}$$

Peso unitario seco

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Muestra 1

$$\gamma_d = \frac{1.85}{1 + \frac{14.07}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.62$$

Muestra 2

$$\gamma_d = \frac{2.02}{1 + \frac{18.58}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.70$$

Muestra 3

$$\gamma_d = \frac{2.02}{1 + \frac{22.95}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.64$$

Muestra 4

$$\gamma_d = \frac{1.96}{1 + \frac{25.52}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.56$$

Muestra 5

$$\gamma_d = \frac{1.94}{1 + \frac{31.00}{100}}$$

$$\gamma_d = 1.48$$

**ANEXO F**  
**PRUEBA DE HIPOTES**

## ANEXO F-1: COEFICIENTE DE FISHER PARA UNA CONFIABILIDAD DEL 95%

w1 w2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161.446	199.499	215.707	224.583	230.16	233.988	236.767	238.884	240.543	241.882	242.981	243.905	244.69	245.363	245.949
2	18.513	19	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.405	19.412	19.419	19.424	19.429
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.936	5.912	5.891	5.873	5.858
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.05	4.95	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704	4.678	4.655	4.636	4.619
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.06	4.027	4	3.976	3.956	3.938
7	5.591	4.737	4.347	4.12	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.55	3.529	3.511
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.5	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.237	3.218
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.23	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.02	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.739	2.719
12	4.747	3.885	3.49	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.66	2.637	2.617
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533
14	4.6	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.79	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.81	2.699	2.614	2.548	2.494	2.45	2.413	2.381	2.353	2.329	2.308
18	4.414	3.555	3.16	2.928	2.773	2.661	2.577	2.51	2.456	2.412	2.374	2.342	2.314	2.29	2.269
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.74	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.34	2.308	2.28	2.256	2.234
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.31	2.278	2.25	2.225	2.203
21	4.325	3.467	3.072	2.84	2.685	2.573	2.488	2.42	2.366	2.321	2.283	2.25	2.222	2.197	2.176
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.226	2.198	2.173	2.151
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.64	2.528	2.442	2.375	2.32	2.275	2.236	2.204	2.175	2.15	2.128
24	4.26	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.3	2.255	2.216	2.183	2.155	2.13	2.108
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.49	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198	2.165	2.136	2.111	2.089

26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.22	2.181	2.148	2.119	2.094	2.072
27	4.21	3.354	2.96	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.25	2.204	2.166	2.132	2.103	2.078	2.056
28	4.196	3.34	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.19	2.151	2.118	2.089	2.064	2.041
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.075	2.05	2.027
30	4.171	3.316	2.922	2.69	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.063	2.037	2.015

$w_1 = \text{grados de libertad del numerador}$

$w_2 = \text{grados de libertad del denominador}$



$$\begin{aligned}
SS_T = & [(49.24 - 37.81)^2 + (47.75 - 37.81)^2 + (51.30 - 37.81)^2 + (33.60 - 37.81)^2 + \\
& (53.44 - 37.81)^2 + (49.30 - 37.81)^2 + (30.54 - 37.81)^2 + (33.18 - 37.81)^2 + (47.23 - \\
& 37.81)^2 + (46.48 - 37.81)^2 + (47.65 - 37.81)^2 + (32.90 - 37.81)^2 + (45.80 - 37.81)^2 + \\
& (43.62 - 37.81)^2 + (44.01 - 37.81)^2 + (30.78 - 37.81)^2 + (45.58 - 37.81)^2 + \\
& (46.01 - 37.81)^2 + (27.74 - 37.81)^2 + (29.27 - 37.81)^2 + (40.45 - 37.81)^2 + \\
& (31.97 - 37.81)^2 + (29.29 - 37.81)^2 + (38.60 - 37.81)^2 + (24.27 - 37.81)^2 + \\
& (34.30 - 37.81)^2 + (42.44 - 37.81)^2 + (25.86 - 37.81)^2 + (36.58 - 37.81)^2 + \\
& (35.57 - 37.81)^2 + (34.38 - 37.81)^2 + (33.88 - 37.81)^2 + (35.84 - 37.81)^2 + \\
& (34.13 - 37.81)^2 + (21.30 - 37.81)^2 + (27.00 - 37.81)^2]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_T = & [130.67 + 98.68 + 181.78 + 17.77 + 244.34 + 131.84 + 52.95 + 21.46 + 88.66 \\
& + 75.12 + 96.78 + 24.16 + 63.77 + 33.76 + 38.44 + 49.42 + 60.39 + 67.20 \\
& + 101.47 + 72.99 + 6.96 + 34.14 + 72.71 + 0.61 + 183.48 + 12.31 + 21.40 \\
& + 142.88 + 1.52 + 5.03 + 11.81 + 15.49 + 3.88 + 13.57 + 272.73 + 116.86]
\end{aligned}$$

$$SS_T = 2567.05$$

$$SS_T = SS_{Tratamientos} + SS_E$$

$$SS_T - SS_{Tratamientos} = SS_E$$

$$SS_E = 2567.05 - 1262.23$$

$$SS_E = 1304.82$$

$$MS_{Tratamientos} = \frac{SS_{Tratamientos}}{a - 1}$$

$$MS_{Tratamientos} = \frac{1262.23}{6 - 1}$$

$$MS_{Tratamientos} = 252.45$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{N - a}$$

$$MS_E = \frac{1304.82}{36 - 6}$$

$$MS_E = 43.49$$

$$F_0 = \frac{MS_{Tratamientos}}{MS_E}$$

$$F_0 = \frac{252.45}{43.49}$$

$$F_0 = 5.80$$

**ANEXO G**  
**GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS**

- AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials
- %W: Contenido de agua
- A: números de niveles del factor o variable independiente o factor de corrección por gravedad específica
- ASTM: American Society for Testing and Materials
- C: Cohesión
- Ca: Calcio
- CaCO<sub>3</sub>: Carbonato de calcio
- CaSO<sub>4</sub>: Sulfato de calcio
- CBR: Californian Bearing Ratio
- CC: Coeficiente de consolidación
- Cd: Corrección por defloculante
- CD Corrección por defloculante
- CM Corrección del menisco
- Cm: Corrección por menisco
- CT: Corrección por temperatura
- Ct: Corrección por temperatura
- Cw: Cantidad de agua a agregar en proctor
- Fo: Estadístico de prueba
- Gs: Gravedad Específica
- IG: Índice de Grupo en la clasificación AASHTO
- IP: Índice de Plasticidad

- K: Coeficiente de permeabilidad, masa de la muestra en proctor, constante de temperatura y gravedad específica
- K: Potasio
- LL: Límite Líquido
- LP: Límite Plástico
- Mg: Magnesio
- MSE: Cuadrado medio del error dentro de los tratamientos
- MS: Tratamientos cuadrado medio de las observaciones entre los tratamientos
- N: Muestra total
- N: Número de réplicas por nivel
- Na: Sodio
- PCA: Pozo Cielo Abierto
- SC: Arena Arcillosa
- SL: Límite de contracción
- SM: Arena Limosa
- SP: Arena Pobrementemente Graduada
- SPT: Ensayo de Penetración Estándar
- SSE: Suma de cuadrados entre los errores
- SST: Suma de cuadrados totales
- SS: Tratamientos suma de cuadrados de los tratamientos
- SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelo
- Te: Temperatura de ensayo

- $Y_d$ : Peso específico seco
- $Y_h$ : Peso específico húmedo
- $\alpha$ : Probabilidad de Rechazar la hipótesis nula cuando esta es verdadera
- $\beta$ : Probabilidad de Aceptar la hipótesis nula cuando esta es falsa