

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE LOS
MÉTODOS DE CASAGRANDE Y CONO DE
PENETRACIÓN EN LA OBTENCIÓN DEL LÍMITE
LÍQUIDO DE SUELOS DE BAJA Y ALTA
COMPRESIBILIDAD**

PRESENTADO POR:

JESÚS ALBERTO DE PAZ GUARDADO

ENVER DANILO MONTES FLORES

KEVIN JONATHAN ZALDAÑA FUENTES

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO 2020

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

ING. ANÍBAL RODOLFO ORTÍZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

**DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE LOS
MÉTODOS DE CASAGRANDE Y CONO DE
PENETRACIÓN EN LA OBTENCIÓN DEL LÍMITE
LÍQUIDO DE SUELOS DE BAJA Y ALTA
COMPRESIBILIDAD**

Presentado por:

JESÚS ALBERTO DE PAZ GUARDADO

ENVER DANILO MONTES FLORES

KEVIN JONATHAN ZALDAÑA FUENTES

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesora:

INGRA. SUSAN ELIZABETH CAMPOS DE ORELLANA

SAN SALVADOR, JULIO 2020

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesora:

INGRA. SUSAN ELIZABETH CAMPOS DE ORELLANA

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por ser nuestro guía y permitirnos culminar nuestra carrera de manera satisfactoria.

A nuestras familias por el apoyo incondicional brindado, permitiendo hacer posible la culminación de este proceso académico.

A la Universidad de El Salvador, a los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil, Unidad de Ciencias Básicas y demás personal por permitirnos formarnos como profesionales, contribuyendo con nuestro desarrollo personal y profesional.

A nuestra asesora, Ing. Susan Elizabeth Campos de Orellana por su tiempo, entrega, dedicación y comprensión durante la ejecución del presente trabajo, compartiendo su conocimiento para la ejecución de la investigación.

Al personal del Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”, Ing. Evelio López y al técnico Carlos Morataya por el préstamo de la instalaciones y equipo necesario para la realización de los ensayos de laboratorio.

DEDICATORIA.

A **MIS PADRES, HERMANAS, NOVIA Y GRANDES AMIGOS**, que involucrados en forma directa o indirecta han estado a mi lado a lo largo de todo este largo recorrido y que con su ayuda y la de **DIOS TODOPODEROSO**, he logrado culminar exitosamente esta etapa de mi vida. A ustedes, les dedico estas palabras, extendiendo mis más sinceros agradecimientos por nunca dejar de creer en mí.

“No sólo no hubiéramos sido nada sin ustedes, sino con toda la gente que estuvo a nuestro alrededor desde el comienzo. Algunos siguen hasta hoy...Gracias Totales”. (Gustavo Cerati, 1997).

Jesús Alberto De Paz Guardado

DEDICATORIA.

A Dios Todopoderoso por su infinita gracia, por acompañarme, cuidarme, guiarme a lo largo de toda mi vida y permitirme finalizar mis estudios universitarios de manera satisfactoria.

A nuestra buena madre, Virgen María, por ser mi recurso ordinario y por siempre interceder ante Jesús. (Todo a Jesús por María y todo a María para Jesús).

A mis padres, Margarita y José, por su apoyo incondicional durante toda mi vida y por permitirme realizar mis estudios universitarios sin importar las adversidades. Lo que soy se lo debo a ustedes.

A mis Hermanos, Karen y Gerardo, por acompañarme a lo largo de mi vida, siempre brindándome su apoyo incondicional y animándome a seguir adelante.

A mi prometida, Metzi R., por su cariño, amor, comprensión y apoyo, el cual fue muy importante a lo largo de toda la carrera, siendo mi mejor amiga y compañera de muchas aventuras.

A mi asesora, Ing. Susan Campos, por la confianza, apoyo y ánimo brindado durante una gran parte de mi carrera. Además, por compartir su conocimiento y por siempre tomarme en cuenta en diferentes actividades académicas.

A mi abuela, Ofelia, que desde el cielo me cuida e intercede por mi vida.

A mis compañeros de tesis, por el esfuerzo y sacrificio que cada uno realizó para la finalización del trabajo de manera exitosa.

A mis compañeros, Carlos Hernández y Francisco Duarte por brindarme su apoyo durante la ejecución del trabajo de graduación en diferentes aspectos.

A mi familia y amigos que de una u otra manera siempre estuvieron presentes en mi carrera brindándome su apoyo.

Enver Danilo Montes Flores

DEDICATORIA.

A los compañeros de investigación y asesora, sin su valioso esfuerzo, apoyo y comprensión no hubiese sido posible concluir, mi eterno agradecimiento.

A los catedráticos, por sus enseñanzas y consejos a lo largo de mi carrera universitaria, mi respeto y agradecimiento siempre.

A los compañeros y amigos que estuvieron junto a mí en todas las materias a lo largo de mi carrera universitaria, ayudándome a crecer como persona y profesional, muchas gracias.

A las autoridades de la Escuela de Ingeniería Civil y de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, muchas gracias.

Me despido agradecido con la siguiente frase: “No dejaremos de explorar y al final de nuestra búsqueda llegaremos a donde empezamos conociendo y descubriendo por primera vez el lugar” (T. S. Eliot, 1888 - 1965).

Dedicado especialmente:

A mi mamá, Dorita

Kevin Jonathan Zaldaña Fuentes.

ÍNDICE GENERAL.

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
CAPÍTULO 1 CONSIDERACIONES GENERALES	23
1.1 ANTECEDENTES.....	23
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
1.3 OBJETIVOS.....	27
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	27
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
1.4 ALCANCES.....	29
1.5 LIMITACIONES.....	30
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	31
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	34
2.1 INTRODUCCIÓN.....	34
2.2 GENERALIDADES DE LA MECÁNICA DE SUELOS.....	35
2.2.1 ORIGEN Y FORMACIÓN DE UN SUELO.....	35
2.2.2 TIPOS PRINCIPALES DE SUELOS.....	37
2.2.3 MUESTREO DEL SUELO.....	39
2.2.4 FORMACIÓN Y TIPOS DE SUELOS EN EL SALVADOR.....	41
2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO.....	47
2.3.1 FASES DE UN SUELO.....	47
2.3.2 CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO.....	48
2.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE UN SUELO.....	51
2.3.4 TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO.....	54
2.3.5 PLASTICIDAD DE UN SUELO.....	58
2.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.....	65
2.4.1 RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS.....	65
2.4.2 COMPRESIBILIDAD DE LOS SUELOS.....	67
2.4.3 PERMEABILIDAD Y FILTRACIÓN.....	67
2.5 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	68
2.5.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS).....	68
2.5.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE LA ASOCIACIÓN AMERICANA DE OFICIALES DE CARRETERAS ESTATALES Y TRANSPORTES (AASHTO).....	79
2.5.3 DIFERENCIAS ENTRE LOS SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO.....	81

CAPÍTULO 3 ELABORACIÓN DE INSTRUCTIVOS DE LABORATORIO.....	84
3.1 INTRODUCCIÓN.....	84
3.2 GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD PARA LA COMPETENCIA DE LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN.....	85
3.2.1 LA NORMA ISO/IEC 17025:2017.....	86
3.2.2 ESTRUCTURA Y CONTENIDOS DE LA NORMA ISO/IEC 17025:2017.....	86
3.3 RESUMEN DEL INSTRUCTIVO DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO DEL PICNÓMETRO CON AGUA BASADO EN LA NORMA ASTM D 854 – 03.....	88
3.4 RESUMEN DEL INSTRUCTIVO DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS BASADO EN LA NORMA ASTM D 422 – 03.....	88
3.5 RESUMEN DEL INSTRUCTIVO DETERMINACIÓN DEL LIMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS BASADO EN LA NORMA ASTM D 4318 – 03.....	89
3.6 RESUMEN DEL INSTRUCTIVO DETERMINACIÓN DEL LIMITE LÍQUIDO DE SUELOS POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN BASADO EN LA NORMA BS 1377-2:1990.....	90
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	92
4.1 INTRODUCCIÓN.....	92
4.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	93
4.2.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES.....	93
4.2.2 OBTENCIÓN DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS EN LABORATORIO.....	94
4.2.3 ANÁLISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO.....	99
4.3 CÁLCULOS.....	107
4.3.1 CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216 – 03).....	107
4.3.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (ASTM D 854).....	108
4.3.3 DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS (ANÁLISIS HIDROMÉTRICO, ASTM D 422 – 03).....	110
4.3.4 LÍMITE LÍQUIDO.....	122
4.3.5 LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D 4318 – 03).....	124
4.3.6 ÍNDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D 4318 – 03).....	125
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	126
5.1 INTRODUCCIÓN.....	126
5.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS MUESTRAS DE SUELOS DE TIPO LIMOS DE ALTA Y BAJA COMPRESIBILIDAD.....	127
5.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216 – 03).....	127
5.2.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM D 854 – 03).....	128
5.2.3 DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS (ASTM D 422 – 03).....	129
5.3 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS ENSAYADOS...	132
5.3.1 LÍMITE LÍQUIDO POR EL MÉTODO CASAGRANDE (ASTM D 4318–03).....	132

5.3.2 LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D 4318 – 03).....	136
5.3.3 ÍNDICE DE PLASTICIDAD MÉTODO CASAGRANDE (ASTM D4318-03).....	137
5.4 ANÁLISIS DE LA CLASIFICACIÓN OBTENIDA DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS.....	137
5.4.1 CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO SUCS.....	137
5.4.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO AASHTO.....	139
5.5 DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO ENTRE LOS MÉTODOS DE CASAGRANDE Y CONO DE PENETRACIÓN.....	140
5.5.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS E INTERPRETACIÓN EN SUELOS DE ALTA COMPRESIBILIDAD (MH).....	140
5.5.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS E INTERPRETACIÓN EN SUELOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD (ML).....	143
5.5.3 RESUMEN DE COEFICIENTES CORRELACIÓN DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS.....	146
5.5.4 DETERMINACIÓN DE ECUACIÓN DE CORRELACIÓN PARA LIMOS DE ALTA COMPRESIBILIDAD (MH).....	147
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
6.1 INTRODUCCIÓN.....	148
6.2 CONCLUSIONES.....	148
6.3 RECOMENDACIONES.....	151
BIBLIOGRAFÍA.....	153
ANEXOS.....	158
ANEXO A INSTRUCTIVOS DE LABORATORIO.....	159
ANEXO A1 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO DEL PICNÓMETRO CON AGUA.....	160
ANEXO A2 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS.....	165
ANEXO A3 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS.....	166
ANEXO A4 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN.....	167
ANEXO B PUNTOS DE MUESTREO.....	168
ANEXO C DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	169
ANEXO C1 RESULTADOS DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA.....	170
ANEXO C2 RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	171
ANEXO C3 RESULTADOS DE DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DEL SUELO.....	172
ANEXO C4 RESULTADOS LÍMITES DE CONSISTENCIA.....	173
ANEXO C5 RESULTADOS DE LÍMITE LÍQUIDO POR CONO DE PENETRACIÓN.....	174

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura No. 2.1: Efecto del Agua en las Rocas.....	36
Figura No. 2.2: Tectónica y sismicidad de El Salvador.....	42
Figura No. 2.3: Mapa Geológico de El Salvador.	43
Figura No. 2.4: Mapa Pedológico de El Salvador.	46
Figura No. 2.5: Diagrama de fases típico de un suelo no saturado.....	48
Figura No. 2.6: Definición de los Límites de Consistencia.....	59
Figura No. 2.7: Carta de Plasticidad para suelos de partículas finas.....	72
Figura No. 2.8: Procedimiento para la identificación del Símbolo de Grupo de suelos inorgánicos, Clasificación SUCS.....	74
Figura No. 2.9: Procedimiento de identificación del Nombre de grupo en Gravas, Clasificación SUCS.	75
Figura No. 2.10: Procedimiento de identificación del Nombre de grupo en Arenas, Clasificación S.U.C.S.....	76
Figura No. 2.11: Procedimiento de identificación del Nombre de grupo en Suelos de Partículas Finas parte 1, Clasificación SUCS.	77
Figura No. 2.12: Procedimiento de identificación del Nombre de grupo en Suelos de Partículas Finas parte 2, Clasificación SUCS.	78
Figura No. 2.13: Procedimiento de Clasificación suelos y mezclas de agregados de suelos para fines de construcción de carreteras, Método AASHTO	83
Figura No. 4.1: Análisis hidrométrico con diferentes tipos de muestras.	103
Figura No. 4.2: Muestras ensayadas en la determinación de los ensayos: A) Límite líquido; B) Límite plástico utilizando ala normas ASTM D4318-03.	106
Figura No. 4.3: Curva Granulométrica de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.	122
Figura No. 4.4: Curva de Fluidez para la determinación del Límite Líquido, método Casagrande correspondiente a la muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad (MH).	123
Figura No. 4.5: Gráfico deformación vr Contenido de Humedad para la determinación del Límite Líquido, método Cono de Penetración correspondiente a la muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.	124
Figura No. 5.1: Gráfico de Contenido de humedad natural de las Muestras.....	127
Figura No. 5.2: Gráfico de Gravedad Específica de los sólidos del suelo.....	128
Figura No. 5.3: Gráfico de distribución granulométrica de las muestras de Limos de Alta Compresibilidad (MH)	131

Figura No. 5.4: Distribución granulométrica de las muestras de Limos de Baja Compresibilidad (ML).....	131
Figura No. 5.5: Gráfico de Resultados del Límite Líquido (ASTM D4318-03)	132
Figura No. 5.6: Gráfico de Resultados de Límite Líquido (BS 13377:90)	133
Figura No. 5.7: Gráfico de Resultados de Límite Plástico (ASTM D4318-03)	136
Figura No. 5.8: Resultados Obtenidos de Límite Líquido en Limos de Alta Compresibilidad (MH).....	141
Figura No. 5.9: Gráfico de Diferencia de Límite Líquido entre los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración de Limos de Alta Compresibilidad (MH).	141
Figura No. 5.10: Rango de Diferencia de Límite Líquido entre los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración de Limos de Alta Compresibilidad (MH).	142
Figura No. 5.11: Resultados Obtenidos de Límite Líquido en Limos de Baja Compresibilidad (ML).	144
Figura No. 5.12: Gráfico Diferencia de Límite Líquido entre los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración de Limos de Baja Compresibilidad (ML).	144
Figura No. 5.13: Rango de Diferencia de Límite Líquido entre los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración de Limos de Baja Compresibilidad (ML).	145
Figura No. 5.14: Recta de Ajuste para el total de Muestras de Limos de Alta Compresibilidad.....	147

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla No. 2.1: Clasificación de suelos según su modo de transporte y deposición.....	38
Tabla No. 2.2: Clasificación de suelos según el tamaño de partícula.....	38
Tabla No. 2.3: Límites de tamaño de partículas de un suelo.....	39
Tabla No. 2.4: Tipos de Muestreo.....	40
Tabla No. 2.5: Métodos para determinar el contenido de Humedad de un Suelo.....	49
Tabla No. 2.5: Métodos para determinar el contenido de Humedad de un Suelo. (Cont.) .	50
Tabla No. 2.6: Rango de Humedades en diferentes zonas de El Salvador.....	51
Tabla No. 2.7: Valores de Gravedad Especifica en diferentes zonas de El Salvador.....	53
Tabla No. 2.8: Dimensiones de Tamices normados por ASTM D 422 para la determinación del tamaño de las partículas de un suelo.....	55
Tabla No. 2.9: Resumen de Análisis Granulométrico en diferentes zonas de El Salvador.	56
Tabla No. 2.9: Resumen de Análisis Granulométrico en diferentes zonas de El Salvador. (Cont.).....	57
Tabla No. 2.9: Resumen de Análisis Granulométrico en diferentes zonas de El Salvador. (Cont.).....	58
Tabla No. 2.10: Plasticidad de los suelos en diferentes Zonas de El Salvador.....	63
Tabla No. 2.10: Plasticidad de los suelos en diferentes Zonas de El Salvador. (Cont.)	¡Error!
Marcador no definido.	
Tabla No. 2.11: Diferencias entre los Sistemas de Clasificación Estudiados.....	82
Tabla No. 2.11: Diferencias entre los Sistemas de Clasificación Estudiados. (Cont.) .	¡Error!
Marcador no definido.	
Tabla No. 3.1: Contenido de la Norma ISO/IEC 17025:2017.....	87
Tabla No. 4.1: Muestras obtenidas para la investigación en la determinación de la correlación entre los métodos de Casagrande y Cono de Penetración, Marzo-Julio 2019.....	93
Tabla No. 4.1: Muestras obtenidas para la investigación en la determinación de la correlación entre los métodos de Casagrande y Cono de Penetración, Marzo-Julio 2019. (Cont.).....	94
Tabla No. 4.2: Muestras seleccionadas para el desarrollo de la investigación de acuerdo a la compresibilidad del suelo (alta y baja).....	96
Tabla No. 4.3: Información Geológica y Litológica de los puntos de muestreo seleccionados.....	97
Tabla No. 4.4: Ficha de campo para identificación de muestra (Muestra ID 23).....	98
Tabla No. 4.5: Información de ubicación de muestras proporcionadas por laboratorios.....	99

Tabla No. 4.6: Lista de ensayos realizados a muestras seleccionas.	100
Tabla No. 4.7: Datos Obtenidos en laboratorio para la determinación del contenido de humedad natural de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.	107
Tabla No. 4.8: Datos Obtenidos en laboratorio para la determinación de la gravedad específica de los sólidos de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.	108
Tabla No. 4.9: Datos Obtenidos en laboratorio para la distribución del tamaño de partículas (Hidrometría) de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.	111
Tabla No. 4.10: Resultados de la corrección por humedad higroscópica de muestra húmeda utilizada para Hidrometría.	112
Tabla No. 4.11: Correcciones por menisco de la lectura (Rr) tomado del Hidrómetro.	113
Tabla No. 4.12: Factores obtenidos para la corrección por temperatura de ensayo hidrométrico.	114
Tabla No. 4.13: Resultados de la corrección por temperatura y defloculante de la lectura tomada del Hidrómetro.	115
Tabla No. 4.14: Porcentajes de suelo en suspensión (referido a muestra de hidrometría).	116
Tabla No. 4.15: Porcentajes de suelo que permanecen en suspensión referido a la muestra total.	117
Tabla No. 4.16: Valores obtenidos de distancia de caída de partículas para el ensayo hidrométrico.	117
Tabla No. 4.17: Constantes K determinadas por interpolación de datos de temperatura registrada y gravedad específica de la muestra en ensayo.	118
Tabla No. 4.18: Diámetros de las partículas del suelo según intervalo de tiempo del ensayo.	119
Tabla No. 4.19: Masa Retenida en cada malla utilizada en el proceso de tamizado del ensayo granulométrico	120
Tabla No. 4.20: Análisis por tamizado de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.	121
Tabla No. 4.21: Datos Obtenidos en laboratorio para la determinación del límite líquido por el método Casagrande (ASTM D-4318) de muestra #1 de Limos de Alta Compresibilidad.	122
Tabla No. 4.22: Datos obtenidos en laboratorio para la determinación del límite líquido por el método Cono de Penetración (BS 1377-2:1990) de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.	123

Tabla No. 4.23: Datos obtenidos en laboratorio para la determinación del límite plástico de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad ASTM D 4318-03.	124
Tabla No. 5.1: Diferencias entre Método de Casagrande y Cono de Penetración.	135
Tabla No. 5.2: Clasificación SUCS de Muestras de Alta Compresibilidad.	138
Tabla No. 5.3: Clasificación SUCS de Muestras de Baja Compresibilidad.	138
Tabla No. 5.4: Clasificación AASHTO de Muestras de Alta Compresibilidad (MH).....	139
Tabla No. 5.5: Clasificación AASHTO de Muestras de Baja Compresibilidad (ML).	139
Tabla No. 5.6: Diferencia en los resultados obtenidos de Límite Líquido por los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración en Limos de Alta Compresibilidad (MH).	140
Tabla No. 5.7: Criterios de correlación lineal.	142
Tabla No. 5.8: Coeficientes Estadísticos obtenidos de la Correlación.	143
Tabla No. 5.9: Diferencia en los resultados obtenidos de Límite Líquido por los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración en Limos de Baja Compresibilidad (MH).	143
Tabla No. 5.10: Coeficientes Estadísticos obtenidos de la Correlación.	146

INTRODUCCIÓN.

La estructura de esta investigación está constituida en un orden preciso de manera que guíen al lector hacia una comprensión clara de la temática abordada. Dando inicio desde las generalidades de la Mecánica de Suelos, sus propiedades físicas y mecánicas, comparaciones entre los sistemas de clasificación hasta valores promedio de algunas propiedades físicas en nuestro país. Para reforzar los temas anteriores, se hace ver la importancia de los sistemas de calidad y su relación estrecha con los ensayos de laboratorio, dejando como evidencia la elaboración de instructivos de laboratorio a ser utilizados próximamente por el sistema de gestión de calidad que ha de ser implementado dentro del laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil.

Por otra parte, la realización de este trabajo conllevaba la determinación de parámetros físicos en muestras de alta y baja compresibilidad. Para esto, era necesario contar con un número considerable de muestras a las cuales habría que caracterizar y clasificar. Una parte de su obtención fue gracias a donaciones de parte de laboratorios, mientras el resto fue mediante el muestreo en diferentes zonas del departamento de La Libertad. La metodología utilizada para este proceso, así como para la reducción y preparación de muestras a tamaño de ensayo, así como la realización de estos ha sido recabada en el Capítulo IV donde puede apreciarse los procedimientos y normas sobre los cuales se basó el desarrollo de esta etapa.

Al tener un consolidado de resultados favorables que cumplieran con los requisitos planteados al inicio de la investigación, se dio inicio al desarrollo de la correlación entre los métodos de Casagrande y Cono de Penetración en la determinación del Límite Líquido, teniendo como resultado, una ecuación de correlación entre ambas metodologías.

Posteriormente, se establecieron conclusiones y recomendaciones, las cuales son producto principalmente del proceso que involucro toda la etapa de ensayos de laboratorio, recomendaciones precisas y concisas que han de ser tomadas en cuenta en posibles investigaciones relacionadas a esta temática.

CAPÍTULO 1 CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 ANTECEDENTES.

La utilización de los Límites de Consistencia en el campo de la Mecánica de Suelos permite caracterizar el comportamiento de los suelos plásticos a diferentes contenidos de humedad. Su historia, se remonta a principios del siglo XX, cuando estos fueron definidos por el ingeniero químico sueco Albert Mauritz Atterberg (1846 - 1932); quien se dedicó al estudio de las propiedades del suelo. Atterberg, realizó una serie de experimentos con suelos de grano fino, con el objetivo de encontrar la relación que existe entre el contenido de humedad y la consistencia del suelo, logrando así definir tres límites de consistencia: Límite de Contracción (límite entre los estados sólido y semisólido), Límite Plástico (límite entre los estados semisólido y plástico) y el Límite Líquido (límite entre los estados plástico y semilíquido). Además, Atterberg desarrolló una técnica de laboratorio que empleaba para determinar el Límite Líquido, dicha técnica consistía en colocar una muestra de suelo en una cápsula de porcelana (diámetro 10-12 cm), formando luego una ranura en dicha muestra, para finalmente golpear la cápsula contra una superficie (palma de la mano). El Límite Líquido del suelo correspondía entonces, al contenido de humedad en el cual la ranura se cerraba al golpear la cápsula 25 veces.

En 1927, Karl Terzaghi sugirió a Arthur Casagrande la idea de crear un equipo mecánico que eliminara en gran medida los errores del operador que se pudieran originar en la técnica descrita anteriormente. Y es así como en el año de 1932,

Casagrande estandarizó el método, el cual, consiste en colocar una muestra de suelo en una copa de bronce, para posteriormente realizar una ranura sobre la muestra utilizando un acanalador estandarizado, y golpeando finalmente la copa dejándola caer desde una altura de 10 mm sobre una base dura. En este método, el Límite Líquido se define como el contenido de humedad al cual la ranura realizada al inicio de la ejecución se cierra una distancia de 13 mm en la parte central, al ser golpeada 25 veces.

Posteriormente, el método de Casagrande fue regulado por la Asociación Americana de Ensayos y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés), Sección 4, Volumen 04.08 (Suelos y Rocas), específicamente en la norma ASTM D 4318 “Método de Ensayo Estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos”, permitiendo esta estandarización, utilizar los resultados del método para propósitos de clasificación de suelos en ingeniería; tanto en el Sistema de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO por sus siglas en inglés) como en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), entre otros usos, para establecer la correlación entre el Límite Líquido y los Índices de Compresión y Expansión en el tema de la consolidación de los suelos.

Es importante tomar en cuenta, que en el método de Casagrande existen errores y ambigüedades que pueden cometerse tales como: velocidad de golpeteo, incorrecta calibración de la altura de caída, cantidad de muestra colocada en la

copa, forma de realizar la ranura, entre otros; afectando en mayor o menor medida la veracidad de los resultados.

En contraste, en Europa y Asia existe el método del Cono de Penetración, que se encuentra definido por la norma británica BS 1377-2:1990, el cual es un método para la determinación del Límite Líquido, definido como el contenido de humedad en la que un cono estándar de ángulo de vértice 30° y un peso de 0.785 N penetra una distancia de 20 mm en 5 segundos cuando se deja caer desde una posición de punto de contacto con la superficie del suelo. En este método algunos de los errores cometidos por el operador disminuyen.

Cabe destacar, que existen trabajos previos de investigación que se han llevado a cabo para la validación de los resultados obtenidos por el Cono de Penetración, dentro de los que podemos mencionar, el realizado en España, en el que se determinó la aplicabilidad del Cono de Penetración y se estableció una comparación con el Método de Casagrande, determinando el grado de confiabilidad de dicho método en suelos de baja y media plasticidad a través de los resultados obtenidos por ambos procedimientos¹.

En América Latina, específicamente en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en el año 2012 se llevó a cabo un trabajo de investigación en el que se estableció la facilidad y los beneficios del uso del Cono de Penetración en la obtención del Límite Líquido de los suelos. Además, se identificó la problemática

¹ Blázquez, A. (2016). *Aplicabilidad del Penetrómetro Cónico en la Determinación del Límite Líquido en Suelos de Baja y Media Plasticidad*. (Trabajo de maestría). Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig, Alicante, España.

que se produce en el ensayo tradicional debido a los errores que pueden ser atribuibles al operador en el desarrollo de éste².

Es importante destacar, que en el país no existen investigaciones realizadas a la fecha que den a conocer la aplicabilidad del método del Cono de Penetración en nuestros suelos, por lo que no ha sido posible establecer una correlación entre ambos métodos (Casagrande y Cono de Penetración) y definir una propuesta para utilizar el método como una alternativa en la determinación del Límite Líquido del suelo.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la Mecánica de Suelos, la determinación de los Límites de Consistencia (Límite Líquido y Plástico) de una muestra de suelo, ha estado vinculada a lo largo de los años, únicamente a los métodos de ensayo establecidos en el estándar ASTM D 4318 y su equivalente en AASHTO T 89. El procedimiento descrito en ambos métodos involucra factores que pueden provocar errores de carácter humano principalmente para determinar el Límite Líquido, tales como: velocidad de golpe, distancia de cierre de ranura, cantidad de muestra, entre otros, que alteran los resultados en mayor o menor medida. Tomando en consideración dichos factores que pueden incidir en los resultados obtenidos tanto por el método de la Asociación Americana de Ensayos y Materiales (ASTM), como de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y

² Cevallos Luna, A. (2012). *"Determinación del Límite Líquido y Plástico de los Suelos mediante el uso del Penetrómetro Cónico"*. (Trabajo de grado). Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Quito, Ecuador.

Transportes (AASHTO), se hace conveniente contar con otro método de ensayo que ofrezca ser una alternativa para su determinación y a la vez que minimice dichos factores en la determinación del Límite Líquido, como es el caso del método Cono de Penetración, el cual es utilizado ampliamente en Europa y se encuentra descrito en la norma británica BS 1377-2, ya que este método permite, disminuir los errores que pueden cometerse en el método tradicional, debido a que su funcionamiento es estrictamente mecanizado.

A pesar de que el método del Cono de Penetración podría ser una alternativa para la determinación del Límite Líquido en nuestro país, el conocimiento de la existencia tanto del método como del equipo es prácticamente nulo, por lo que se hace necesario realizar una primera investigación para establecer si los resultados obtenidos con este método y el tradicionalmente aceptado, se correlacionan de manera favorable, así como como para validar su posible uso y aceptación en la determinación del Límite Líquido para los suelos prevaecientes en nuestra región.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

- Determinar la correlación entre los métodos de Casagrande y Cono de Penetración en la obtención del Límite Líquido de suelos de baja y alta compresibilidad.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar muestreo en campo de suelos de grano fino para determinar en laboratorio sus características físicas de contenido de humedad, gravedad específica y granulometría.
- Efectuar ensayos en laboratorio a muestras de suelo de grano fino en base a los métodos de Casagrande ASTM D 4318 – 03 y Cono de Penetración BS 1377-2:1990 para la determinación del Límite Líquido.
- Aplicar el procedimiento de la norma ASTM D 2487 – 03 “Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)” a cada una de las muestras de suelo para determinar el tipo de suelo al que pertenecen.
- Elaborar instructivos de ensayo de las pruebas de laboratorio a realizarse en la caracterización geotécnica de las muestras de suelo recolectadas (Gravedad Específica, Distribución del Tamaño de Partículas y Límites de Consistencia), como insumo en el proyecto “Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio de Suelos y Materiales” de la Escuela de Ingeniería Civil.
- Elaborar un documento Guía Procedimental de Ensayo de laboratorio con base al método Cono de Penetración BS 1377-2:1990 para la determinación del Límite Líquido del Suelo, a implementarse en la cátedra de Mecánica de Suelos de la Escuela de Ingeniería Civil.

- Producir un video del ensayo para la determinación del Límite Líquido con base al método Cono de Penetración BS 1377-2:1990, que servirá como material educativo audiovisual a utilizarse en la asignatura de Mecánica de Suelos de la Escuela de Ingeniería Civil.

1.4 ALCANCES.

En esta investigación se pretende determinar la correlación entre los métodos de Casagrande y Cono de Penetración en la obtención del Límite Líquido de suelos de baja y alta compresibilidad por medio de:

- La recolección e identificación de muestras de suelos de grano fino de baja y alta compresibilidad a través de visitas de campo a diferentes puntos del país, los cuales serán clasificados según la norma ASTM D 2487 – 03 “Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)”.
- La realización de ensayos de laboratorio para la determinación del Límite Líquido siguiendo los procedimientos establecidos en las normas: ASTM D 4318 – 03 “Método de Ensayo Estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de plasticidad de suelos” (para determinar Límite Líquido y Límite Plástico) y BS 1377-2:1990 “Métodos de ensayo de suelos para Ingeniería Civil”.
- La comparación de los resultados obtenidos entre los métodos Cono de Penetración y Casagrande en la determinación del Límite Líquido de las muestras de suelo recolectadas, para validar el posible uso y

consideración en los resultados que se obtienen con el Método Cono de Penetración.

- Finalmente, se elaborarán instructivos de ensayos de laboratorio de las prácticas a realizar en la caracterización geotécnica de las muestras, para utilizarse en el Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”, así como también una Guía procedimental del método Cono de Penetración y video (recurso audiovisual) a utilizarse en la asignatura de Mecánica de Suelos de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador.

1.5 LIMITACIONES.

- Este trabajo de investigación se limita al estudio de suelos de grano fino clasificados por medio de la carta de plasticidad como suelos de baja y alta compresibilidad.
- El tiempo de ejecución del ensayo Cono de Penetración, está limitado a la existencia de un solo equipo en el Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”, de la Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, de la Universidad de El Salvador.
- Los detalles técnicos de uso y operación del equipo (Cono de Penetración) se basan únicamente en el manual y norma proporcionados por el Laboratorio, ya que no se cuenta con personal capacitado en la ejecución del ensayo.

1.6 JUSTIFICACIÓN.

Alrededor del mundo se ha mostrado el interés por mejorar los métodos de ensayo convencionales aplicados a la Mecánica de Suelos, de forma que la interacción del operador con el equipo, manipulación y lectura de resultados afecte cada vez en menor medida los datos obtenidos haciendo uso de la tecnología y otros métodos que nos ayuden a disminuir errores humanos.

El método más utilizado en nuestro país para la determinación del Límite Líquido es el procedimiento que se establece en el estándar de la norma D4318 “Métodos de Ensayo Estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de plasticidad de suelos” de la Asociación Americana de Ensayos y Materiales (ASTM), que se ha convertido en uno de los más grandes sistemas de desarrollo de normas en el mundo y con ello ha conseguido ser el Instituto referente en el continente americano. Por otra parte, en Europa se ha desarrollado otro método para la determinación del Límite Líquido denominado “Cono de Penetración”, el cual se auxilia de un cono de 30° con peso de 0.785 N, un recipiente de diámetro 55 mm con una altura de 40 mm y un equipo electrónico. La implementación de este nuevo equipo cumple con el objetivo de disminuir de forma gradual los errores de tipo humano, en este caso, se dejan de realizar lecturas de manera análoga y se leen datos más precisos en una presentación digital; así como el hecho de que la manipulación del aparato es casi nula, pues solo se requiere la calibración del cono. Por las ventajas que el anterior equipo ofrece con relación al método de ASTM, fue que en el año 2007, el Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario

Ángel Guzmán Urbina”, de la Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, de la Universidad de El Salvador decide adquirir el Cono de Penetración, con el objetivo de incorporar nuevos métodos en la formación académica de los estudiantes, pero, a pesar del esfuerzo realizado para la obtención del equipo, a la fecha no ha sido posible utilizarlo para los fines por los cuales fue adquirido ni tomado en cuenta como una herramienta en el desarrollo de investigaciones.

Por lo anterior, es válido y justificable, iniciar un estudio en el que se implemente el uso del equipo a través de la comparación de los resultados obtenidos tanto por el método de la ASTM D 4318 y BS 1377-2, con el objetivo de proporcionar información útil para la validez y veracidad de los resultados, abriendo una brecha para su implementación tanto en el ámbito académico, así como de investigación y comercial.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN.

El marco teórico presentado a continuación tiene como propósito definir los conceptos básicos necesarios, que facilitaran la comprensión de los capítulos a desarrollarse más adelante.

Inicialmente, se abordan las generalidades de la Mecánica de Suelos, el origen de un suelo, los diferentes factores involucrados en su formación y los tipos de suelos en El Salvador.

Posteriormente, se describen las propiedades físicas de los suelos, tales como: contenido de humedad natural, gravedad específica de las partículas sólidas, tamaño de las partículas y plasticidad. Cada una de estas propiedades han sido definidas en base a los procedimientos indicados en las normas ASTM, resaltando además el uso e importancia que tienen en el campo de la Ingeniería Civil, así como algunos valores promedio de parámetros geotécnicos en los suelos del país.

Al final del capítulo, se exponen los sistemas de clasificación de suelos utilizados en esta investigación, haciéndose una comparación entre el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el Sistema de Clasificación de Suelos de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO).

2.2 GENERALIDADES DE LA MECÁNICA DE SUELOS.

Es de especial interés en la Mecánica de Suelos abordar y definir el término “suelo”; ya que el significado dependerá del profesional que lo estudie (Agrónomo, Geólogo, Ingeniero, etc.). Para propósito de Ingeniería y para el de esta investigación, suelo se define como el conjunto no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas³.

2.2.1 ORIGEN Y FORMACIÓN DE UN SUELO.

El origen del suelo es producto de la desintegración física (mecánica) y/o química de las rocas⁴, entendiéndose el término de desintegración física como la intemperización de las rocas por agentes físicos, tales como⁵:

- **El sol**, el cual calienta más el exterior que el interior de las rocas, lo que provoca diferencias de temperatura que generan esfuerzos muy fuertes, dando como resultado el rompimiento de la capa superficial y el desprendimiento de ésta.
- **El agua**, se considera un elemento importante de erosión, al arrastrar fragmentos angulosos de rocas, provocan fricción de unas con otras, dando lugar a los cantos rodados de los ríos. Además, afecta a las rocas cuando en forma de lluvia llena sus cavidades, abre grietas y llena los

³ Das, Braja M., (2014). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. (p.). México: Cengage Learning.

⁴ Crespo, C., (2007). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. (p.). México: Limusa.

⁵ Juárez Badillo, E. y Rico, A., (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. (p.). México: Limusa.

espacios vacíos de esta. Al congelarse, ejerce fuerte poder de fracturación en la roca, dando lugar a la desintegración de la misma⁶. **Ver Figura No. 2.1.**

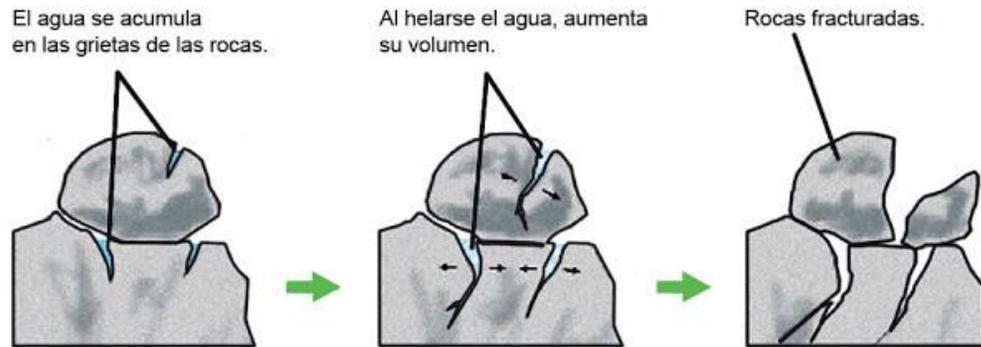


Figura No.2.1: Efecto del Agua en las Rocas.

Fuente: La meteorización: Fuentes modificadoras del relieve, Meteorización física. Disponible en: <https://lageografia.com/geografia-fisica/meteorizacion-fuerzas-modificadoras-relieve>.

Además, la descomposición química juega un papel importante en la creación del suelo, definiendo a esta como la acción de agentes que atacan las rocas modificando la constitución mineralógica o química de la roca. Donde, el principal agente es el agua⁷ dando lugar principalmente a los siguientes procesos⁸:

- **La oxidación**, la cual ocurre cuando el oxígeno del aire, en presencia de humedad reacciona, principalmente si las rocas contienen hierro, como se puede observar por el color pardo rojizo de algunos afloramientos.

^{6 y 8} Crespo, C., (2007). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. (p.). México: Limusa.

Baver, L., Gardner, W. y Gardner, W., (1973). *Física del Suelo*. (p.). México: Unión Tipográfica Editorial Hispano - Americana (U.T.E.H.A).

⁷ Juárez Badillo, E. & Rico, A., (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. (p.). México: Limusa.

- **La carbonatación**, es el ataque que el ácido carbónico efectúa sobre las rocas que contienen hierro, calcio, magnesio, sodio o potasio. Así, las rocas ígneas pueden ser descompuestas de esta manera por contener en su mayoría estos elementos. Además, las rocas sedimentarias como las calizas son de igual manera muy atacables por dicho ácido, debido a su alto contenido de calcio.
- **La hidratación**, es el efecto de combinar un cuerpo con agua para formar hidratos. El agua se absorbe y se combina químicamente formando nuevos minerales.
- **La hidrólisis**, es la descomposición química de una sustancia cuando se combina con agua. En las rocas vemos dicha reacción química al combinarse los minerales de la misma con el agua lluvia.

2.2.2 TIPOS PRINCIPALES DE SUELOS.

En esta investigación se abordará la clasificación tanto por su modo de transporte y deposición como por el tamaño de las partículas que componen el suelo. Ambas se detallan en las **Tablas No. 2.1 y 2.2.**

Tabla No.2.1: Clasificación de suelos según su modo de transporte y deposición.

Tipo de Suelo	Deposición	Transporte
Suelos glaciales	Deposición en los glaciales, compuestos por suelos heterogéneos.	Hielo y Agua
Suelos aluviales	A lo largo de los arroyos.	Corrientes de agua
Suelos lacustres	Deposición en los lagos de grano muy fino, a causa de la pequeña velocidad con que las aguas fluyen en los lagos.	Agua
Suelos marinos	Deposición en los mares, suelen ser estratificado.	Corrientes de agua
Suelos eólicos	Depositados por el viento, el cual arrastra partículas desde limo hasta arenas gruesas.	Viento

Fuente: Das, Braja M., (2014). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. (p.). México: Cengage Learning.

Tabla No. 2.2: Clasificación de suelos según el tamaño de partícula.

Tipo de Suelo	Características	Tamaño de Partícula
Gravas	Fragmentos de rocas que suelen encontrarse en los márgenes de los ríos, siendo muy permeables.	Mayores a 4.75 mm
Arena	Suelos moderadamente permeables en los cuales predomina el cuarzo y el feldespato.	De 4.75 a 0.075 mm
Limos	Son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico u orgánico (presenta características plásticas).	De 0.075 a 0.002 mm
Arcillas.	Partículas en forma de láminas microscópicas de mica, arcilla y otros minerales que tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.	Menores a 0.002 mm

Fuente: ASTM D 2487, (2003). *Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)*. ASTM International.

Organizaciones Internacionales que estudian aspectos relacionados con el suelo, han elaborado sistemas de clasificación para identificar el tamaño de las partículas y por ende el tipo de suelo. Los sistemas más conocidos empleados por dichas organizaciones se muestran en la **Tabla No. 2.3**.

Tabla No.2.3: Límites de tamaño de partículas de un suelo.

Nombre de la Organización	Tamaño de Partículas (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.003
American Association of State Highway and Transportation (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.004
Unified Soil Classification System (US)	75 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos <0.075	

Fuente: Das, Braja M., (2014). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. (p.28). México: Cengage Learning.

2.2.3 MUESTREO DEL SUELO.

Es importante llevar a cabo un muestreo adecuado y representativo de un suelo, ya que nos permite determinar, con mayor veracidad en el laboratorio las diferentes propiedades que éste posee.

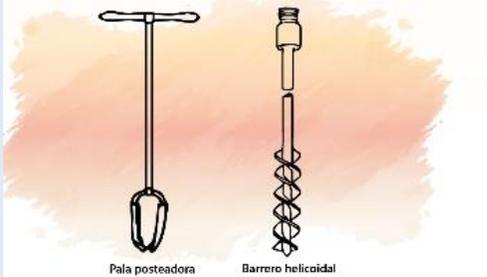
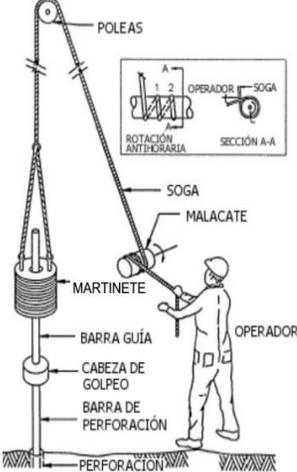
Las muestras que son extraídas pueden ser alteradas o inalteradas, entendiéndose como muestra alterada de suelo aquella que no guarda las mismas condiciones que poseía en el terreno de procedencia y una muestra inalterada es aquella que si guarda las mismas condiciones del terreno de donde se extrajo⁹.

2.2.3.1 TIPOS DE MUESTREO.

Los principales tipos de muestreos que se realizan en nuestro país son los que se describen a continuación en la **Tabla No. 2.4**.

⁹ Crespo, C., (2007). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. (p.). México: Limusa.

Tabla No. 2.4: Tipos de Muestreo.

Método	Descripción	Figura
<p>Pozos a cielo abierto</p>	<p>Consiste en excavar un pozo con suficiente espacio para que un técnico pueda bajar y examinar los diferentes estratos del suelo en su estado natural. No puede llevarse a cabo a grandes profundidades.</p>	 <p>Muestreo en pozo a cielo abierto. Fuente: https://docplayer.es/60456181-En-san-lucas-chiapas.html</p>
<p>Perforaciones con barreno</p>	<p>Existen dos tipos de barrenos: posteadora y helicoidal; ambos se utilizan para excavaciones de 3 a 5 m.</p>	 <p>Muestreo con Barreno. Fuente: http://virtual.umng.edu.co/</p>
<p>Método de penetración estándar</p>	<p>Consiste en contar el número de golpes que se requieren para hincar 30 cm una cuchara muestreadora en el terreno, con la caída de un peso determinado desde una altura fija.</p>	 <p>Muestreo con SPT. Fuente: http://estudiosgeotecnicos.info/imagenes/sodeo-percusión.png</p>

Fuente: García, S. y Ramírez, M., (2006). *Propuesta de un Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos Conforme a la Norma ASTM 2003*. (p.17). (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

2.2.4 FORMACIÓN Y TIPOS DE SUELOS EN EL SALVADOR.

El Salvador se encuentra en el sector nor-poniente de Centroamérica, en el margen activo del noroeste de la placa del Caribe, enmarcado en el límite entre las placas de Coco y del Caribe (**Ver Figura No. 2.2**). Estas placas se caracterizan por la subducción de la primera bajo la segunda a una velocidad que supera los 70 mm/a, es uno de los países centroamericanos con el régimen tectónico más complejo, condicionado por una combinación entre la tasa de subducción elevada y una intensa actividad sísmica volcánica. Debido a esta alta actividad volcánica, el territorio salvadoreño está formado en su mayoría por rocas ígneas, y en menor medida de rocas sedimentarias.

Las rocas ígneas cubren más del 90 % del país. Por su formación (**Ver Figura No. 2.3**) y composición química - mineralógica, estas rocas se clasifican en efusivas riolíticas, dacíticas, andesíticas y basálticas, así como de materiales piroclásticos. También se encuentran rocas ígneas de carácter intrusivo, clasificadas como: granitos, granodioritas, monzonitas y dioritas.

En cuanto a las rocas sedimentarias, estas son de origen marino y orgánico, las primeras se localizan en el extremo noroeste del país, al norte de los departamentos de Santa Ana y Chalatenango y se clasifican, en su mayoría, como calizas, conglomerados de cuarzo y areniscas. Las rocas sedimentarias orgánicas se sitúan en diferentes partes del país, formando generalmente pequeños depósitos de diatomita y lignitos.

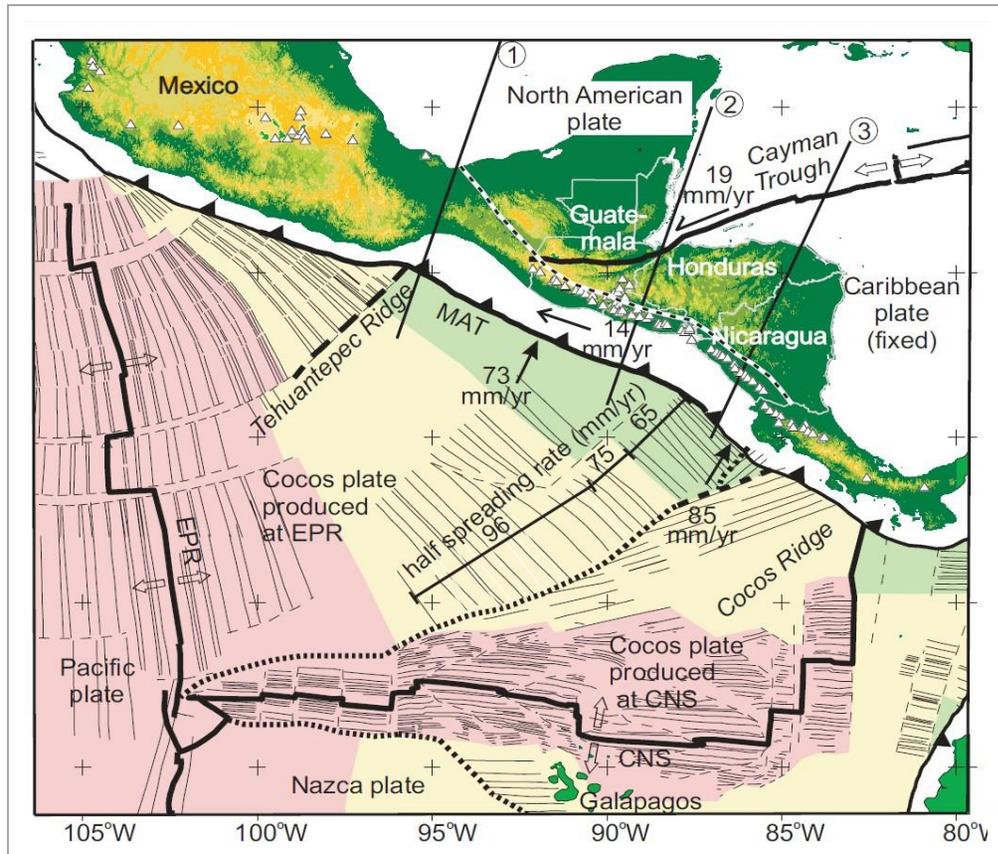


Figura No. 2.2: Tectónica y sismicidad de El Salvador.

Fuente: Gutiérrez, E. (2014). *Peligrosidad Volcánica Asociada a Erupciones Provenientes del Cráter Central del Volcán de San Salvador, El Salvador*. (p.2). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), San Salvador, El Salvador.

En cuanto a la edad, la mayoría de las rocas ígneas se formaron en los períodos Terciario (65 Ma. a 1.7 Ma.) y Cuaternario (1.7 Ma. a la actualidad). Las más antiguas son las rocas sedimentarias marinas, la cuales se formaron en el Cretácico Superior, es decir, que su edad puede oscilar entre 65 y 145 millones de años¹⁰. Todas estas rocas hacen de El Salvador un país de edad geológica relativamente joven.

¹⁰ Kattan, et al., (2017). *Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades*. (p.29). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), San Salvador, El Salvador.

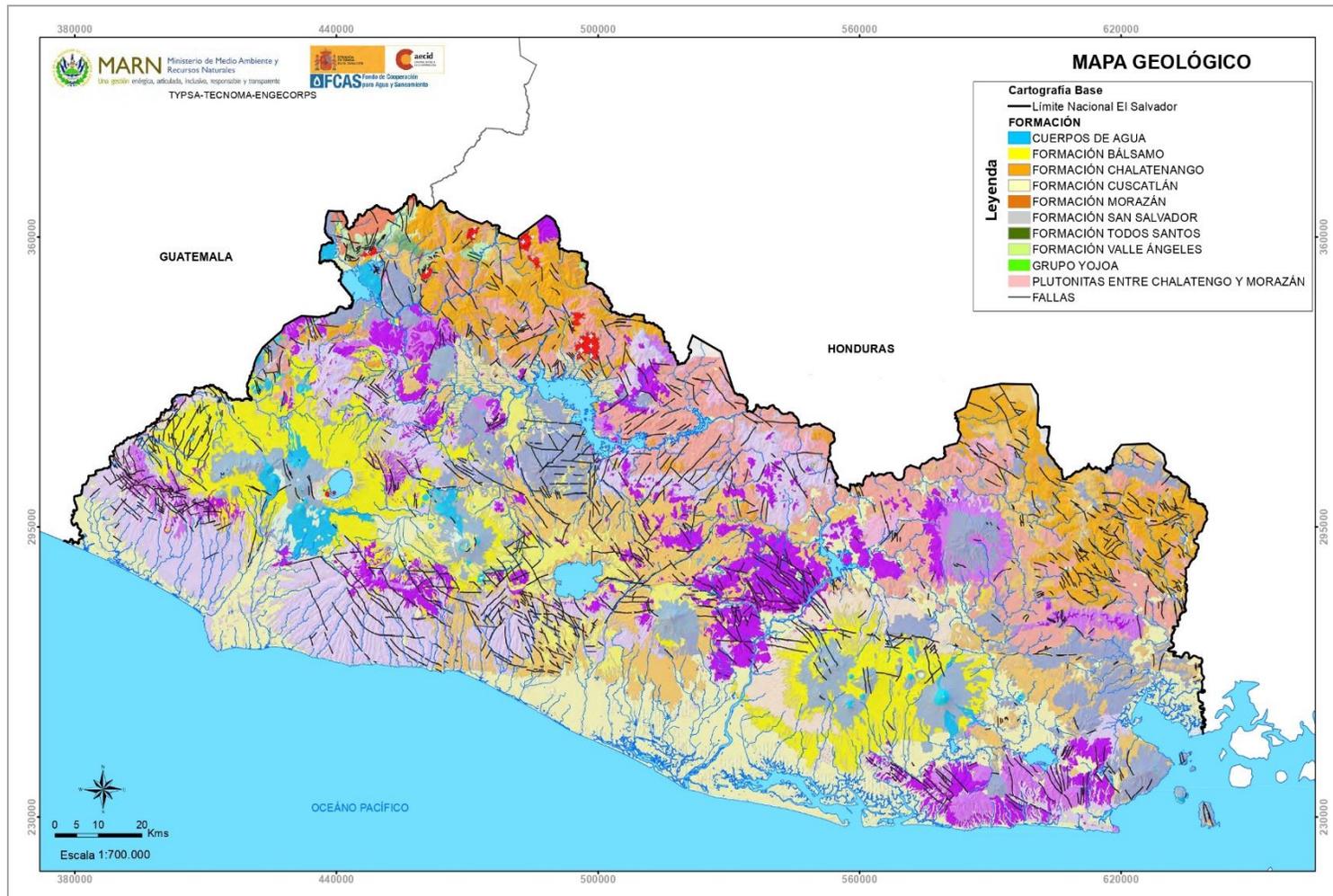


Figura No. 2.3: Mapa Geológico de El Salvador.

Fuente: Mapa geológico de la Republica de El Salvador, escala 1:700,000. Disponible en: <http://pngirh.marn.gob.sv/geoportal/sistema/contenido.php>

Producto de la meteorización química y mecánica de las rocas ígneas de El Salvador, encontramos diferentes tipos de suelos, a continuación, se hace una descripción desde el punto de vista agronómico¹¹:

- Aluviales. Son suelos recientes o de reciente deposición, que carecen de alteraciones por agentes externos (agua, clima, etc.) y que se ubican en áreas ligeramente inclinadas o casi a nivel en las planicies costeras.
- Andisoles. Suelos originados por cenizas volcánicas, de distintas épocas y en distintas partes del país, tienen por lo general un horizonte superficial entre 20 y 40 cm de espesor, de color oscuro, textura franca y estructura granular.
- Grumosoles. Suelos muy arcillosos de color gris a negro, son muy profundos y poco permeables.
- Halomórficos. Suelos salinos de los manglares de colores grises. Su textura es variable (limos, arenas y arcillas).
- Latosoles Arcillosos ácidos. Suelos similares a los Latosoles Arcillo Rojizos, pero más profundos, antiguos y de mayor acidez. Se localizan en la zona norte y en tierras altas y montañas.
- Latosoles Arcillo Rojizos. Suelos arcillosos de color rojizo y en algunas ocasiones amarillentos o marrones, se encuentran en lomas y montañas.

¹¹ Romero, B, (2012). *Clasificación de suelos por división política de El Salvador, C.A.* (pp. 2-3). Ministerio de Agricultura y Ganadería. (MAG), San Salvador, El Salvador.

- Litosoles. Suelos de muy poca profundidad sobre roca pura, son suelos Latosoles, pero muy superficiales. La textura varía de gruesa (arenas y gravas) hasta muy pedregosa sobre roca pura.
- Regosoles: Suelos profundos, jóvenes de material suelto o no consolidado. El horizonte superficial es único y evidente a la vista, suele ser de unos 10 a 20 centímetros de espesor, con alto contenido de materia orgánica. En El Salvador se encuentra siempre en material arenoso fino de color gris, suelto

En la **Figura No. 2.4**, se muestra el mapa pedológico de El Salvador donde se puede observar la distribución de los suelos descritos anteriormente en el territorio nacional.

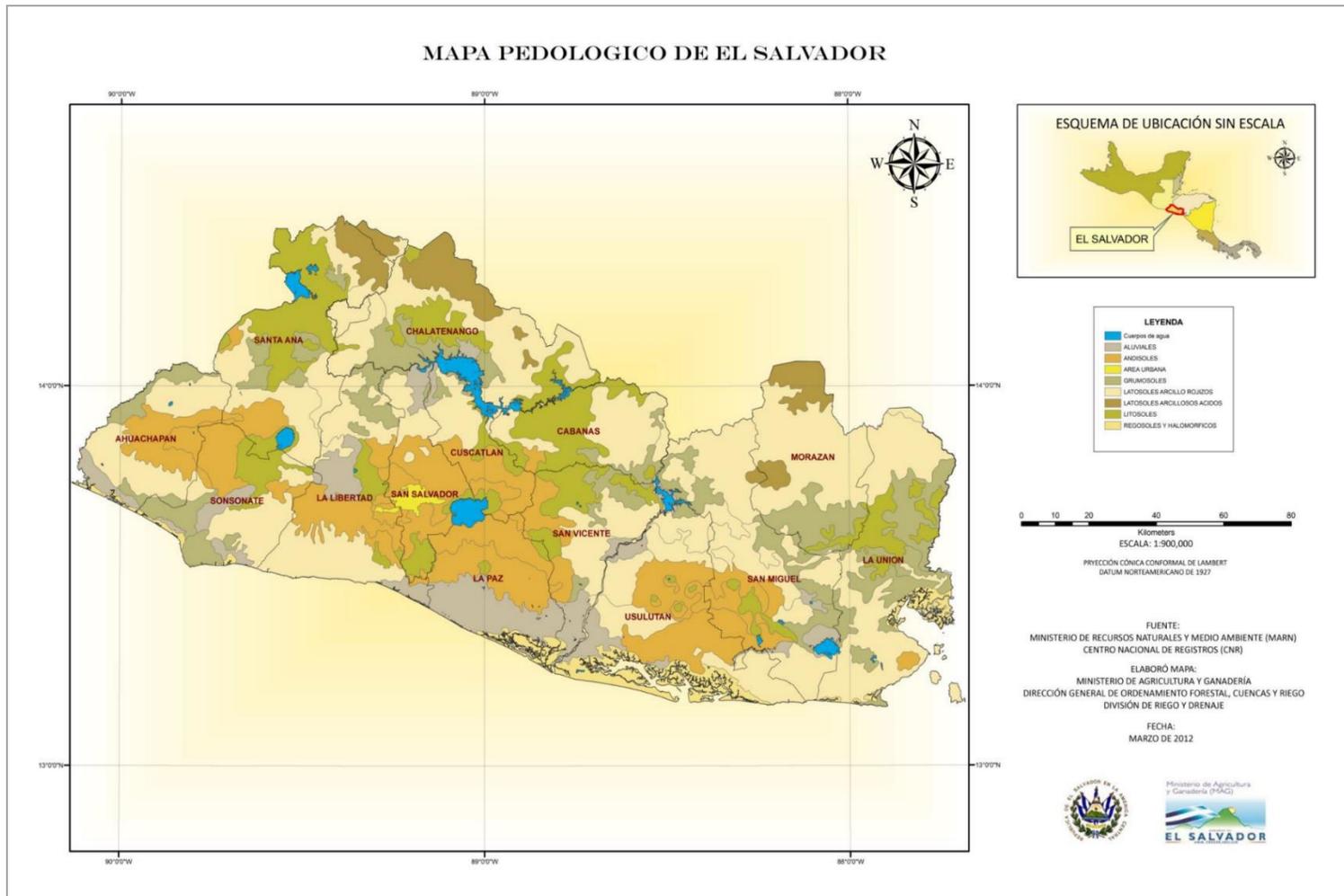


Figura No. 2.4: Mapa Pedológico de El Salvador.

Fuente: Romero, B, (2012). *Clasificación de suelos por división política de El Salvador*, C.A. (p. 4). Ministerio de Agricultura y Ganadería. (MAG), San Salvador, El Salvador.

2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO.

Las propiedades físicas nos permiten diferenciar e identificar los distintos comportamientos de los suelos que se estudian, ya que proporcionan criterios para distinguirlos y describirlos en forma adecuada.

Algunas de las propiedades físicas de los suelos son¹²:

- Contenido de humedad
- Gravedad específica de las partículas sólidas del suelo
- Tamaño de las partículas del suelo
- Límites de Consistencia (Límites de Atterberg).

2.3.1 FASES DE UN SUELO.

Un suelo es un sistema discontinuo de partículas, razón por la cual se considera intrínsecamente como un sistema de fases. En el caso general (no saturado), se diferencia¹³:

- Una Fase Sólida: Formada por partículas minerales u orgánicas o ambas.
- Una Fase Líquida: Llena parcial o totalmente los vacíos del suelo.
- Y una Fase Gaseosa: Llena parcial o totalmente los vacíos que deja la fase líquida. (**Ver Figura No. 2.5**).

Las fases líquida y gaseosa del suelo suelen comprenderse en el Volumen de Vacíos (Vv), mientras que la fase sólida constituye el Volumen de los Sólidos (Vs). Se dice que un suelo es totalmente saturado cuando todos sus vacíos están

¹² García, S. y Ramírez, M., (2006). *Propuesta de un Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos Conforme a la Norma ASTM 2003*. (p.19). (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

¹³ Crespo, C., (2007). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. (p.). México: Limusa.

ocupados por agua. Un suelo en tal circunstancia consta, como caso particular, de dos fases, la sólida y la líquida¹⁴.

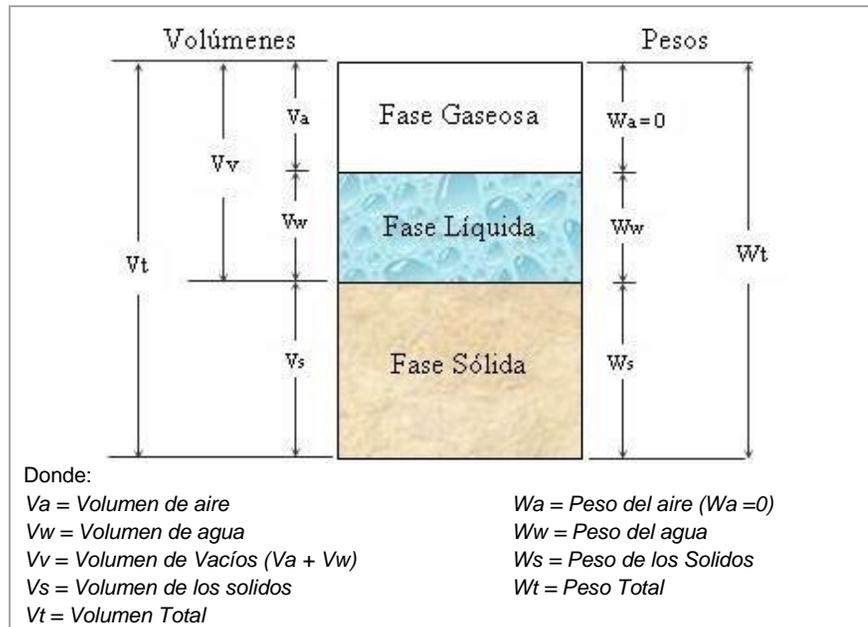


Figura No. 2.5: Diagrama de fases típico de un suelo no saturado.

Fuente: Relaciones volumétricas y gravimétricas. Disponible en: <https://www.docsity.com/es/relaciones-volumetricas-y-granulometricas/2204314/>

2.3.2 CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO.

2.3.2.1 DEFINICIÓN.

El contenido de humedad de un suelo se define como la relación de la masa de agua contenida en los poros del suelo o roca, respecto a la masa de las partículas sólidas, expresada comúnmente como porcentaje¹⁵.

¹⁴ Juárez Badillo, E. & Rico, A., (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. (p.). México: Limusa.

¹⁵ ASTM D 2216, (2003). *Método de Prueba Estándar para la Determinación de Laboratorio del Contenido de Agua (Humedad) de Suelos y Rocas*. ASTM International.

2.3.2.2 USO E IMPORTANCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL.

- Esta propiedad física permite, por ser una de las más significativas, establecer una correlación entre el comportamiento del suelo y sus propiedades índices.
- Es utilizada para expresar las relaciones entre las fases sólida, líquida y gaseosa en un volumen dado de material.
- También, en suelos de grano fino (cohesivos) es empleada para expresar la consistencia relativa o índice de liquidez de un suelo dado¹⁶.

2.3.2.3 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE UN SUELO.

La determinación del contenido de humedad de una muestra de suelo puede ser realizada por diferentes métodos de ensayo los cuales se describen brevemente en la **Tabla No. 2.5**, además del caso en el cual es aplicable cada uno de ellos.

Tabla No. 2.5: Métodos para determinar el contenido de Humedad de un Suelo.

Método de Ensayo	Aplicación del Método
<p>Método de laboratorio (ASTM D 2216 – 03).</p> <p>Un espécimen de ensayo es colocado en un recipiente y secado en un horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta obtener una masa constante. La pérdida de masa debido al secado se considera que es el agua. El contenido de agua (humedad) es calculado, dividiendo la masa de agua entre la masa del espécimen seco y multiplicada esta relación por 100.</p>	<p>Se lleva a cabo cuando se requiere una precisión mayor en los resultados obtenidos. Pero se necesita un tiempo aproximado de 24 horas para llevarlo a cabo.</p>

¹⁶ ASTM D 2216, (2003). *Método de Prueba Estándar para la Determinación de Laboratorio del Contenido de Agua (Humedad) de Suelos y Rocas*. ASTM International.

Tabla No. 2.5: Métodos para determinar el contenido de Humedad de un Suelo. (Cont.)

<p>Método calentamiento directo (ASTM D 4959 – 03).</p> <p>Un espécimen húmedo de suelo se coloca en un recipiente apropiado y se le determina su masa, luego se somete al secado por la aplicación directa hasta que tenga una apariencia seca. Posteriormente se retira de la fuente de calor y su nueva masa es determinada, este procedimiento es repetido hasta que la masa del espécimen sea constante dentro de los límites especificados. La diferencia entre las masas del espécimen húmedo y el espécimen seco es la masa de agua contenida en el espécimen, determinando el contenido de agua (expresado en porcentaje) dividiendo la masa de agua por la masa seca del suelo, multiplicada por 100.</p>	<p>Utilizado cuando se requiere obtener resultados en menor tiempo y con una menor precisión (comparado a los resultados del método de laboratorio).</p>
<p>Método de presión a gas de carburo de calcio (ASTM D 4944 – 03).</p> <p>Se coloca en el aparato de ensayo una cantidad de carburo de calcio, en exceso de la necesaria para reaccionar con el agua, junto con dos bolas de acero y un espécimen representativo de suelo con partículas que pasen la malla No. 4 y con una masa según lo especificado por el fabricante del instrumento o equipo. El aparato es agitado vigorosamente con un movimiento rotativo de manera que al entrar en contacto toda el agua disponible en el suelo con el reactivo, se produzca gas acetileno de forma proporcional a la cantidad de agua presente.</p> <p>El contenido de agua aparente se lee desde un indicador de presión en el aparato calibrado, leyendo el contenido de agua en porcentaje para la masa de suelo especificado.</p>	<p>Aplicado en trabajos de campo, donde se requiera obtener resultados en corto tiempo o donde no es práctico realizar los métodos anteriores.</p>
<p>Método de calentamiento con horno microonda (ASTM D 4643 – 03).</p> <p>Un espécimen de suelo húmedo es colocado en un recipiente adecuado y se determina su masa, luego se introduce el conjunto en un horno microonda sujeto a un intervalo de tiempo de secado, posteriormente es retirado determinando su nueva masa. Este procedimiento se repite hasta que la masa llegue a ser constante. El contenido de agua es determinado dividiendo la masa de agua, que es la diferencia entre la masa del espécimen húmedo y la del espécimen seco, dividido entre la masa del suelo seco, multiplicado por 100.</p>	<p>Se utiliza cuando se requieren resultados con mayor rapidez, pero con menor precisión, siendo una alternativa al método de laboratorio (descrito anteriormente).</p>

Fuente: García, S. y Ramírez, M., (2006). *Propuesta de un Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos Conforme a la Norma ASTM 2003*. (pp. 20-21). (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

2.3.2.4 CONTENIDOS DE HUMEDAD DE SUELOS EN EL SALVADOR.

El contenido de humedad de los suelos puede variar según la zona en la que se encuentren, la profundidad del estrato, la época en la que se realizó el estudio, entre otros. En la **Tabla No. 2.6**, se muestra un ejemplo de rango de valores que podemos encontrar por zona geográfica, según algunas investigaciones realizadas.

Tabla No. 2.6: Rango de Humedades en diferentes zonas de El Salvador.

Zona	Época de Muestreo	Rango de Humedades	Tipo de Suelo
Oriental	Invierno	36-42%	Limo de Baja y Alta Plasticidad (ML y MH).
Central	No proporcionada	18-48%	Arena Limosa, Limo Arenoso y Arcilla.
Occidental	Invierno	25-19%	Arcilla y Limo de Alta Plasticidad (CH y MH).

Fuente: Rodríguez, E., y Rosales, I., (2014). "Evaluación de Estabilidad de Talud en Carretera de Cacaopera - Corinto, Tramos 1+450 y 1+690". (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador.

Calero, V., Rivera, M. y Valdez, M., (2016). "Determinación del Comportamiento al Hinchamiento y Retracción de Suelos que Tienen Plasticidad, en Algunos Puntos de la Carretera Longitudinal del Norte, en el Tramo Comprendido entre Metapán (Dpto. Santa Ana) y Sensuntepeque (Dpto. Cabañas)". (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

2.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE UN SUELO.

2.3.3.1 DEFINICIÓN.

La gravedad específica de un suelo se define¹⁷ como la relación de la masa de un volumen unitario de sólidos de suelo entre la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas a 20°C de temperatura.

¹⁷ ASTM D 854, (2003). *Método de Prueba Estándar para Gravedad Específica de los Sólidos del Suelo por Picnómetro de Agua*. ASTM International.

2.3.3.2 USO E IMPORTANCIA DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE UN SUELO EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL.

- Es usada para el cálculo de las relaciones de las fases del suelo, tales como la relación de vacíos y el grado de saturación.
- Esta propiedad es utilizada para calcular la densidad de los sólidos del suelo, multiplicando la gravedad específica por la densidad del agua (a una temperatura adecuada).
- Sirve como insumo para determinar la ley de resistencia al esfuerzo cortante, que es utilizada para el estudio de estabilidad de taludes.
- Se utiliza para el cálculo de permeabilidad de un estrato de suelo.

2.3.3.3 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE UN SUELO.

Esta propiedad se puede determinar con precisión en el laboratorio¹⁸, a través de la norma ASTM D 854 – 03 “Método de Prueba Estándar para la Gravedad Específica de los Sólidos del Suelo por Picnómetro con Agua”. En la cual un picnómetro limpio y seco previamente calibrado, se le determina su masa, luego se introduce en él una muestra de suelo húmedo (Método A) o seco (Método B). Posteriormente se agrega agua hasta formar una lechada, se extrae el aire atrapado, ya sea hirviendo (baño de maría), succionando o combinando ambos procesos. Se completa el llenado del picnómetro con agua desairada y se coloca en el recipiente de baño María durante la noche para alcanzar un equilibrio

¹⁸ García, S. y Ramírez, M., (2006). *Propuesta de un Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos Conforme a la Norma ASTM 2003*. (p.21). (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

térmico. Se determina y registra la masa del picnómetro, suelo y agua, se mide la temperatura de la mezcla suelo - agua y dicha mezcla es colocada posteriormente en un horno hasta obtener masa constante; es decir, la masa seca de los sólidos del suelo. La gravedad específica de los sólidos del suelo a 20°C es la relación de la densidad de los sólidos del suelo entre la densidad del agua a la temperatura de ensayo, multiplicada por un coeficiente de temperatura.

2.3.3.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS EN EL SALVADOR.

En El Salvador podemos encontrar diferentes valores de gravedad específica del suelo, los cuales dependerán principalmente de su composición mineralógica.

En la **Tabla No. 2.7**, se muestra una estimación por zona geográfica del rango de valores de gravedad específica determinadas en distintas investigaciones realizadas.

Tabla No. 2.7: Valores de Gravedad Especifica en diferentes zonas de El Salvador.

Zona	Valores de Gs	Tipo de Suelo
Oriental	2.36 - 2.48	Arcilla de Alta Plasticidad (CL) Arcilla de Baja Plasticidad (CH) Limo de Baja Plasticidad (ML)
Central	2.40 - 2.80	Arcilla de Baja Plasticidad (CL) Limo de Alta Plasticidad (MH)
Occidental	2.50 - 2.67	Arcilla de Alta Plasticidad (CL) Arcilla de Baja Plasticidad (CH) Limo de Alta Plasticidad (MH)

Fuente: Calero, V., Rivera, M. y Valdez, M., (2016). "Determinación del Comportamiento al Hinchamiento y Retracción de Suelos que Tienen Plasticidad, en Algunos Puntos de la Carretera Longitudinal del Norte, en el Tramo Comprendido entre Metapán (Dpto. Santa Ana) y Sensuntepeque (Dpto. Cabañas)". (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Hernández, J., Mejía, D. y Zelaya, C. (2016). *Propuesta de Estabilización de Suelos Arcillosos para su Aplicación en Pavimentos Rígidos en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador.* (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador.

Es importante aclarar que estos valores son de referencia y dependerá del tipo de suelo muestreado, pudiendo existir variaciones con respecto a los resultados mostrados.

2.3.4 TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO.

2.3.4.1 DEFINICIÓN.

Se define al análisis por tamizado¹⁹ como la determinación de las proporciones de las partículas que quedan dentro de ciertos rangos de tamaño en un material granular, llevada a cabo por la separación en tamices con abertura de diferentes tamaños.

2.3.4.2 USO E IMPORTANCIA DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL.

- La distribución del tamaño de las partículas que constituyen un suelo es utilizada para agruparlo dentro de un sistema específico de clasificación de suelos.
- Además, permite estimar de manera empírica el coeficiente de permeabilidad de un suelo de forma aproximada.
- Los resultados de la determinación de los tamaños de partículas, también son utilizados en la verificación del cumplimiento de especificaciones de materiales seleccionados para trabajos en vías terrestres²⁰.

¹⁹ ASTM D 422, (2003). *Método de Análisis del Tamaño de las Partículas del Suelo*. ASTM International.

²⁰ García, S. y Ramírez, M., (2006). *Propuesta de un Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos Conforme a la Norma ASTM 2003*. (p.22). (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

2.3.4.3 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO.

El procedimiento para determinar el tamaño de las partículas del suelo se encuentra normado, bajo el estándar ASTM D 422 – 03 “Método de Análisis del Tamaño de las Partículas del Suelo” en el cual, una muestra representativa de suelo es dividida inicialmente en dos porciones, suelos con partículas mayores y menores de 2 mm (malla No 10). Donde las mayores a 2 mm son tamizadas en mallas estandarizadas (**Ver Tabla No. 2.8**), colocadas de manera descendente, de mayor a menor diámetro de abertura y las menores a 2 mm se les realiza el procedimiento hidrométrico, en el cual se coloca una mezcla de suelo, defloculante y agua desmineralizada en una probeta, la cual se deja en absoluto reposo luego de mezclar la lechada y se realizan lecturas a determinados tiempos. Se realizan diferentes cálculos con los datos recolectados, graficando finalmente el % que pasa con respecto a la abertura de las mallas utilizadas.

Tabla No. 2.8: Dimensiones de Tamices normados por ASTM D 422 para la determinación del tamaño de las partículas de un suelo.

Tamices Utilizados ASTM D 422.	
3 in (75.0 mm)	N°4 (4.75 mm)
2 in (50.0 mm)	N°10 (2.00 mm)
1 1/2 in (37.5 mm)	N°20 (0.850 mm)
1 in (25.0 mm)	N°30 (0.600 mm)
3/4 in (19.0 mm)	N°40 (0.425 mm)
1/2 in (12.5 mm)	N°60 (0.250 mm)
3/8 in (9.5 mm)	N°100 (0.150 mm)
1/4 in (6.3 mm)	N°200 (0.075 mm)

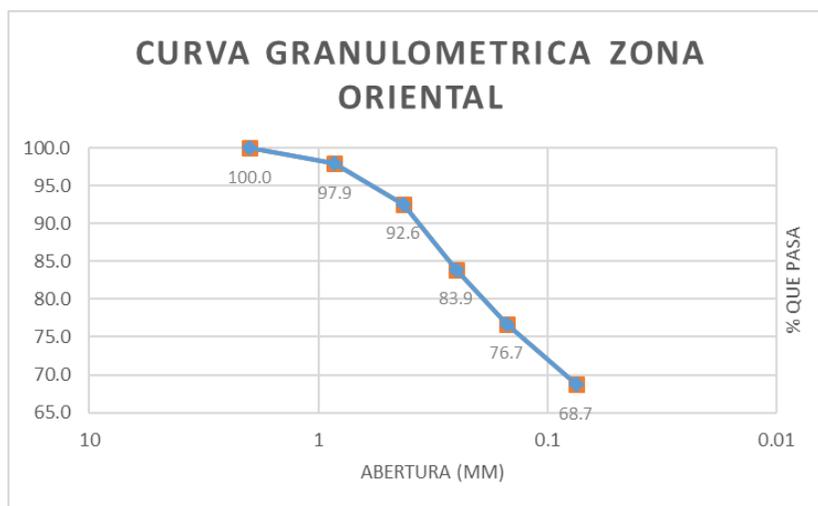
Fuente: ASTM D 422, (2003). *Método de Análisis del Tamaño de las Partículas del Suelo*. ASTM International.

2.3.4.4 TAMAÑOS DE PARTÍCULAS DE SUELOS EN EL SALVADOR.

En la **Tabla No. 2.9**, se presentan diferentes análisis granulométricos realizados en suelos representativos provenientes de la zona oriental, central y occidental, describiendo el tipo de suelo estudiado, así como la cantidad de muestras utilizadas.

Tabla No. 2.9: Resumen de Análisis Granulométrico en diferentes zonas de El Salvador.

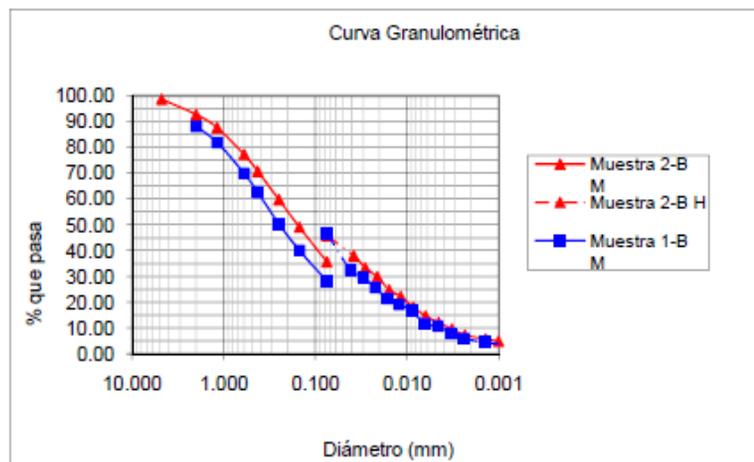
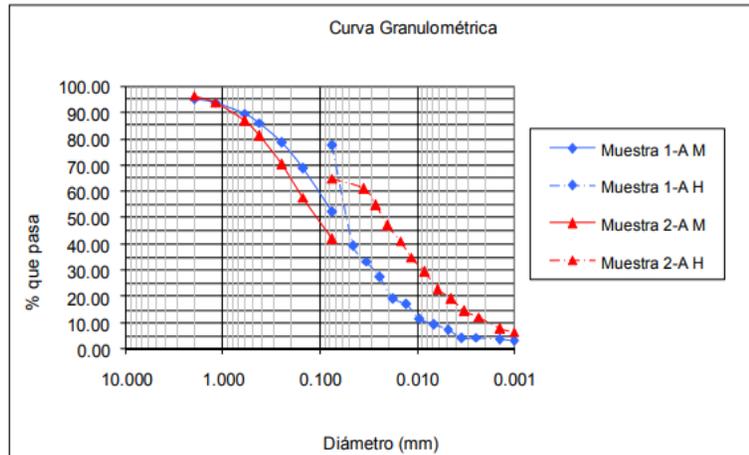
Zona Oriental



- **Tipos de Suelos estudiados:** Arcillas de alta y baja plasticidad (CH y CL) y Limos de baja plasticidad (ML).
- **Curvas Granulométricas utilizadas:** 5
- **Se observan suelos que contienen un alto porcentaje de finos (68.7%) y un porcentaje menor de arenas (31.3%).**

Tabla No. 2.6: Resumen de Análisis Granulométrico en diferentes zonas de El Salvador. (Cont.).

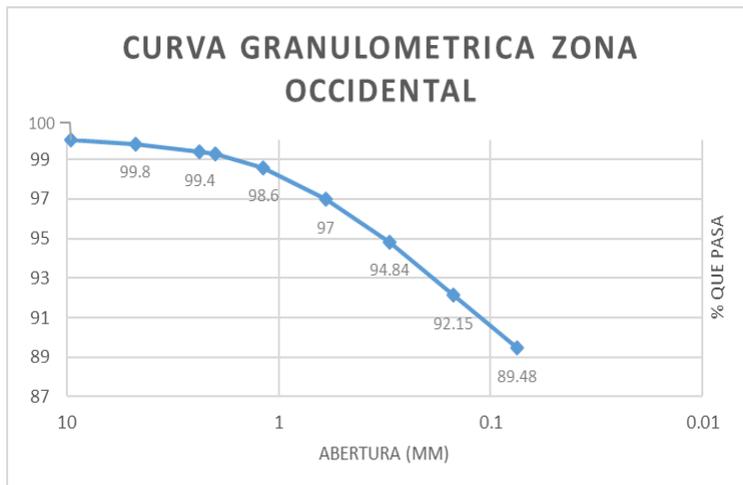
Zona Central



- Tipos de suelos estudiados: Limo Arenoso y Arena Limosa
- Curvas Granulométricas obtenidas: 2
- Suelos que poseen un porcentaje casi nulo de gravas, alto porcentaje de arenas y una cantidad menor de finos.

Tabla No. 2.9: Resumen de Análisis Granulométrico en diferentes zonas de El Salvador. (Cont.)

Zona occidental



- **Tipos de suelos estudiados: Arcillas de alta y baja plasticidad (CH y CL) y Limos de alta plasticidad (MH).**
- **Curvas Granulométricas obtenidas: 4**
- **Suelos que contienen gravas en un 0.2%, arenas 10.32% y finos 89.48%.**

Fuente: Calero, V., Rivera, M. y Valdez, M., (2016). "Determinación del Comportamiento al Hinchamiento y Retracción de Suelos que Tienen Plasticidad, en Algunos Puntos de la Carretera Longitudinal del Norte, en el Tramo Comprendido entre Metapán (Dpto. Santa Ana) y Sensuntepeque (Dpto. Cabañas)". (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Hernández, J., Mejía, D. y Zelaya, C. (2016). *Propuesta de Estabilización de Suelos Arcillosos para su Aplicación en Pavimentos Rígidos en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad De El Salvador.* (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador.

2.3.5 PLASTICIDAD DE UN SUELO.

2.3.5.1 DEFINICIÓN.

La plasticidad está definida como la propiedad de un suelo que permite que se deforme más allá del punto de recuperación sin agrietamiento o cambio de volumen apreciable²¹.

²¹ ASTM D 653. (2003). *Terminología Estándar Relacionada con Suelos, Rocas y Fluidos.* ASTM International.

2.3.5.2 LÍMITES DE CONSISTENCIA (LÍMITES ATTERBERG).

Los Límites de Consistencia son los distintos contenidos de agua que definen las transiciones entre los estados sólido, plástico y líquido de un material de suelo determinado. (Ver Figura No. 2.6).

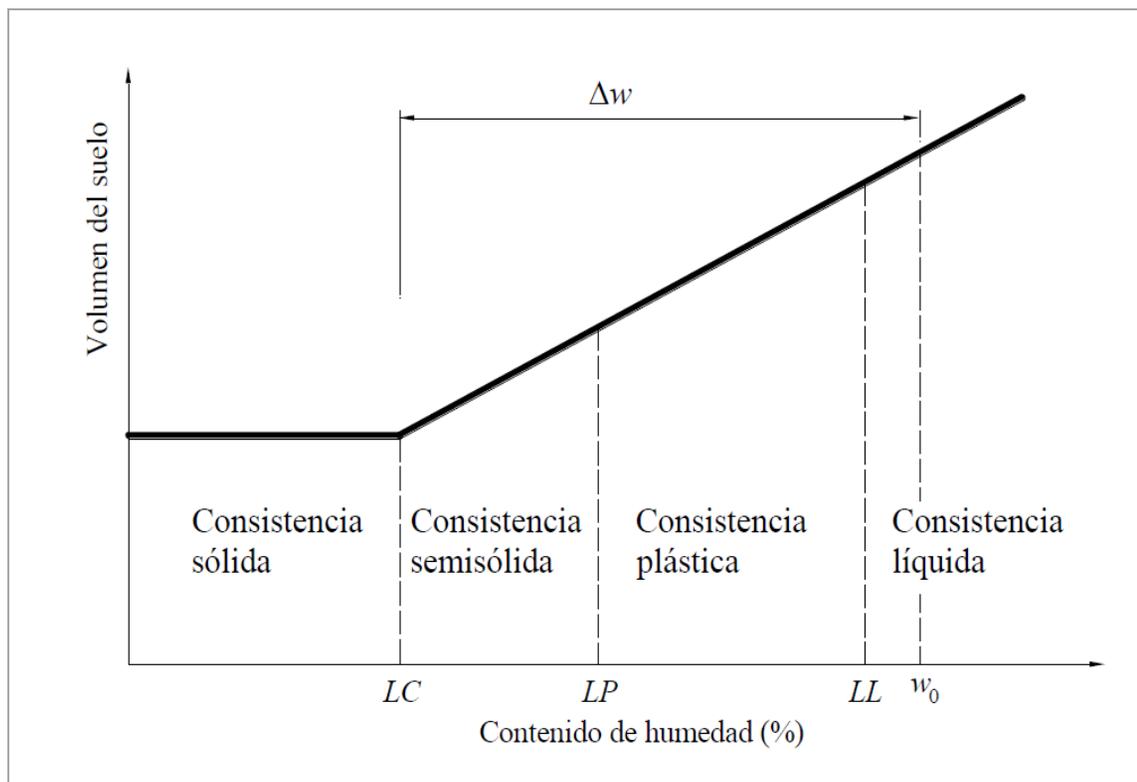


Figura No. 2.6: Definición de los Límites de Consistencia.

Fuente: Das, Braja M., (2011). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. (p.16). México: CENGAGE Learning.

Las pruebas están restringidas a suelos cohesivos con una fracción de limo o arcilla apreciable, y no se pueden realizar fácilmente en arenas o sedimentos con una alta fracción de arena. Los estudios mineralógicos detallados de los suelos cohesivos han demostrado que los Límites de Consistencia están fuertemente relacionados con el contenido de arcilla y las especies minerales de arcilla y, por

lo tanto, en última instancia, con las condiciones climáticas y geológicas que prevalecen en el entorno de deposición y durante el ciclo de meteorización post - deposición²².

LÍMITE LÍQUIDO.

Límite Líquido (LL): es el contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en el límite definido arbitrariamente entre los estados plástico y semilíquido²³. Dicho de otra forma, es el contenido de humedad en el que el suelo cambia de un estado plástico a uno líquido.

LÍMITE PLÁSTICO.

Límite Plástico (LP): es el contenido de humedad de un suelo expresado en porcentaje; definido arbitrariamente como la frontera entre los estados semisólido y plástico²⁴. De otra manera se entiende como el contenido de humedad, en el que un suelo cambia de un estado semisólido a uno plástico.

LÍMITE DE CONTRACCIÓN.

El Límite de Contracción (LC): es el contenido máximo de agua en el cual una reducción en el contenido de agua no causará una disminución en el volumen de la masa del suelo²⁵. Se define también como el contenido de humedad, en el que un suelo cambia de un estado sólido a uno semisólido.

²² Bovis M. (1978). *Avalanche and Rock Fall. In: Sedimentology.* Encyclopedia of Earth Science. Springer, Dordrecht.

²³, ²⁴ Y ²⁵ ASTM D 4318, (2003). *Método de Ensayo Estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos.* ASTM International.

2.3.5.3 USO E IMPORTANCIA DE LA PLASTICIDAD DE UN SUELO EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL.

Los valores de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad, son utilizados de forma individual o conjunta con otras propiedades de los suelos con el propósito de correlacionar el comportamiento ingenieril de éstos, tales como: la compresibilidad, conductividad hidráulica (permeabilidad), compactibilidad, contracción - expansión y resistencia al corte²⁶.

La plasticidad de un suelo es de vital importancia porque representa un valor con el cual se puede tener una visión clara del comportamiento que un material puede tener cuando este sea sometido a diferentes estados de carga o condiciones de intemperismo, con lo cual, los Ingenieros Civiles pueden prever fallas que puedan darse tanto en el suelo como en las superestructuras, evitando de esta manera, importantes daños materiales e incluso, el cobro lamentable de vidas humanas.

2.3.5.4 DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG DE UN SUELO.

El Límite Líquido de un suelo puede ser determinado mediante el empleo de dos métodos, ya sea a través de la copa de Casagrande o con el Penetrómetro Cónico. Ambos ensayos, son propuestos por las normas ASTM D 4318 – 03 y BS 1377-2:1990 respectivamente.

²⁶ García, S. y Ramírez, M., (2006). *Propuesta de un Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos Conforme a la Norma ASTM 2003*. (p.130). (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Para la determinación del Límite Plástico, el ensayo frecuentemente utilizado se encuentra normado bajo la ASTM D 4318 – 03 (de igual manera que el Límite Líquido), dicha prueba, consiste en presionar y enrollar una fracción pequeña de suelo plástico en forma de hilo de un diámetro de 3.2 mm (1/8 pul) hasta que el contenido de agua es reducido a un punto en el cual, éste se desmorona y ya no puede ser alargado por presión y re - enrollado.

2.3.5.5 PLASTICIDAD DE SUELOS EN EL SALVADOR.

En El Salvador existen diferentes formaciones geológicas, demostrando la gran variabilidad existente en cada una de las propiedades (físicas y mecánicas) correspondientes a sus suelos, siendo la plasticidad una de ellas. Diferentes investigaciones se han realizado en el país, en las cuales la determinación de los Límites de Consistencia ha sido un punto clave en su desarrollo, Estas han permitido tener una visión más clara de la plasticidad presente en diferentes zonas de importancia del país. Algunos de esos resultados se presentan en la **Tabla No. 2.10.**

Tabla No. 2.10: Plasticidad de los suelos en diferentes Zonas de El Salvador.

Zona	Ubicación	Clasificación AASHTO/SUCS	Plasticidad
Occidental	Santa Ana (Cantón El Pinalón)	Arcilla arenosa altamente plástica. Subgrupo A-7-6 (20)	ALTA
	Ahuachapán (Hacienda la Labor)	Arcilla orgánica muy altamente plástica con traza de arena. Subgrupo A-7-5 (20).	ALTA
	Metapán	Arcilla limosa	ALTA
Central	Antiguo Cuscatlán, lotes urbanización Cumbres de Esmeralda	Arena limosa (SM) 75% arena fina - media, Ligeramente Plástica, café	BAJA
	Boulevard orden de malta tramo I	Arcilla medianamente plástica, color café oscuro, con un 12 de arena fina.	MEDIA
	Antiguo Cuscatlán	Limo arenoso (ML), café claro, 30% de arena, 70% finos inorgánicos, de media plasticidad	MEDIA
	Zona Metropolitana de San Salvador	Arena arcillosa (SC) color café claro con 38% de finos poco plástico	BAJA
	Zona Metropolitana de San Salvador	Arcilla arenosa (CL) color café oscuro de baja plasticidad, con un 27% de arena	BAJA
	Santa Tecla	Arcilla arenosa (CL), gris café, arenas finas con gravillas, de baja a media plasticidad, 35% de arena	MEDIA
Oriental	Lolotique	Limo de Alta Plasticidad (MH)	ALTA
	Chapeltique	Limo de Alta Plasticidad (MH)	ALTA
	Comacarán	Limo de Alta Plasticidad (MH)	ALTA
	Moncagua	Limo de Baja Plasticidad (ML)	BAJA
	El Delirio	Limo de Baja Plasticidad (ML)	BAJA
	Ciudad Pacifica	Limo de Alta Plasticidad (MH)	ALTA

Fuente: Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Miguel Ángel Guzmán Urbina" de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador.

Cabrera, J., Ramos, L. y Rodríguez, W., (2014). *Estabilización Química de Suelos Cohesivos Mediante la Aplicación de un Aditivo Líquido, En El Salvador*. (p.). (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, Santa Ana, El Salvador.

Baires, S. y Martínez, R., (2013). *Evaluación de Alternativas de Estabilización de Suelos del Departamento de San Miguel*". Universidad Gerardo Barrios, San Salvador, El Salvador.

2.3.5.6 OTRAS PROPIEDADES RELACIONADAS.

ÍNDICE DE PLASTICIDAD.

Se define como el rango de contenido de humedad de un suelo, en el cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico ²⁷.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = Índice de Plasticidad,

LL = Límite Líquido,

LP = Límite Plástico.

ÍNDICE DE LIQUIDEZ.

Es la relación expresada como porcentaje del contenido de humedad de un suelo sin su Límite Plástico entre el Índice de Plasticidad ²⁸.

$$IL = \frac{\omega\% - LP}{IP}$$

NÚMERO DE ACTIVIDAD.

Es la relación del Índice de Plasticidad de un suelo respecto al porcentaje en masa de las partículas que posean un diámetro equivalente o menor a 2 μm ²⁹.

$$A = \frac{\text{Índice de plasticidad}}{\% \text{ de partículas menores que } 0.002 \text{ mm}}$$

^{27 28 29} ASTM D 4318, (2003). *Método de Ensayo Estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos* ASTM International.

2.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.

Las propiedades mecánicas están relacionadas con la habilidad que posee una masa de suelo a resistir deformaciones producidas por la aplicación de fuerzas externas. Estas pueden determinarse a partir de la resistencia al corte, una propiedad de gran importancia en el diseño de cimentaciones para diversas estructuras; tales como edificios, puentes, carreteras, estabilización de taludes, etc. Básicamente, la resistencia al corte está compuesta por tres componentes: la cohesión (c), ángulo de fricción interna (Φ) y el peso volumétrico (γ).

2.4.1 RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS.

La resistencia al corte se refiere al nivel de esfuerzos de corte que una masa de suelo puede soportar sin llegar a la fractura o deslizamiento. Los esfuerzos cortantes, son fuerzas que se aplican a lo largo de un plano, de manera tangencial. La resistencia al esfuerzo cortante se fundamenta en la resistencia friccionante a la translación entre partículas individualmente en sus puntos de contacto y a la resistencia cohesiva por la adhesión existente entre las superficies de las partículas del suelo.

$$\tau_f = c + \sigma Tg(\phi)$$

Donde:

τ_f = Máxima resistencia al corte en el plano de falla.

σ = Esfuerzo normal total en el plano de falla.

Φ = Ángulo de fricción interna del suelo.

c = Cohesión del suelo.

2.4.1.1 COHESIÓN DE LOS SUELOS.

Es la atracción debido a fuerzas moleculares y películas de agua entre partículas del mismo tipo, origen o naturaleza que origina una resistencia al corte. La cohesión se ve aumentada en suelos con un alto porcentaje de granos finos. Mientras que, por otra parte, la fuerza cohesiva es inversamente proporcional al contenido de agua presente. En suelos granulares donde no existe cementante que produzca adherencia entre partículas, la cohesión se supone como igual a cero y los suelos se denominan como no cohesivos o friccionantes ($c=0$).

2.4.1.2 ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA.

Es la resistencia al deslizamiento producida por la fricción existente entre las superficies de contacto de las partículas. El ángulo de fricción interna será alto en suelos granulares donde la superficie de contacto sea mayor y tengan formas angulares que permitan una mayor trabazón. En cambio, los suelos finos tienen fricción interna baja. Aquellos suelos arcillosos con una fricción muy baja o despreciable, se les denomina suelos cohesivos ($\Phi=0$).

Para determinar propiedades mencionadas anteriormente, es necesario realizar diferentes ensayos entre los que se tienen:

- Prueba de Compresión Triaxial
- Ensayo de Corte Directo
- Prueba de Penetración Estándar (SPT).

Los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna de un suelo no son constantes en el material. Por tanto, en la determinación experimental de la

resistencia al corte de los suelos, hay que reproducir tantas veces cuando sea posible, las condiciones a las cuales será sometido en la realidad.

2.4.2 COMPRESIBILIDAD DE LOS SUELOS.

El estudio de la compresibilidad es indispensable para el cálculo de los asentamientos de los suelos. Cuando una carga es aplicada a una capa de terreno compresible, éste experimenta una disminución de volumen (disminuye su índice de huecos) que se manifiesta prácticamente en una disminución de dimensión solamente en el sentido vertical. Este proceso se realiza con el fin de determinar el grado de asentamiento que experimentan los suelos.

2.4.3 PERMEABILIDAD Y FILTRACIÓN.

La permeabilidad se entiende como la facilidad con la que un fluido atraviesa los poros del suelo y la filtración es la velocidad con la que el fluido atraviesa la masa de suelo.

$$K = \frac{m_v H^2}{t} \gamma_w$$

Donde:

K = Permeabilidad expresada en función del coeficiente de deformación volumétrica.

m_v = Coeficiente de deformación volumétrica o módulo edométrico.

t = Tiempo de consolidación.

H = Espesor capa drenante.

2.5 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.

2.5.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS).

El sistema de clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, ASTM D 2487 – 03) originalmente fue desarrollado por Arthur Casagrande en 1948, para la construcción de aeródromos durante la segunda guerra mundial. Este sistema de clasificación fue posteriormente modificado por Casagrande en conjunto con el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos en 1952, quienes hicieron que este sistema fuera más aplicable a los propósitos ingenieriles. Este sistema de clasificación actualmente goza de amplia aceptación y es el preferido por la mayoría de los ingenieros del mundo y presenta las siguientes características³⁰.

1. Clasifica a los suelos en cuatro categorías principales, cada una de estas categorías usa un símbolo que define la naturaleza del suelo.

- **Suelos de grano grueso.** Son de naturaleza tipo grava y arena con menos del 50% pasando por la malla No 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo (G) para la grava o suelo gravoso y (S) para la arena o suelo arenoso.
- **Suelos de grano fino.** Son aquellos que tienen 50% o más pasando por la malla No 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo (M) para limo inorgánico y (C) para arcilla inorgánica.

³⁰ Campos J. y Guardia G. (2005). "Apoyo Didáctico al Aprendizaje de la Asignatura Mecánica de Suelos II CIV - 219". (pp.54-57). (Trabajo de grado). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia

- **Suelos orgánicos.** Son limos y arcillas que contienen materia orgánica importante, a estos se les denomina con el prefijo (O).
- **Turbas.** El símbolo (Pt) se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

2. Presenta definiciones, según el tamaño y naturaleza de las partículas del suelo.

- **Cantos rodados.** Partículas de roca que no pasan la malla con abertura cuadrada de 12" (300 mm).
- **Guijarros.** Partículas de roca que pasan una malla con abertura cuadrada de 12" (300 mm) y quedan retenidas en la malla de 3" (75 mm).
- **Grava.** Partículas de roca que pasan la malla de 3" (75 mm) y quedan retenidas en la malla No 4 (4.75 mm), con las siguientes subdivisiones:
 - **Gruesa.** Partículas que pasan la malla de 3" (75 mm) y quedan retenidas en la malla de $\frac{3}{4}$ " (19 mm).
 - **Fina.** Partículas que pasan la malla de $\frac{3}{4}$ " (19 mm) y quedan retenidas en la malla No 4 (4.75 mm).
- **Arena.** Partículas de roca que pasan la malla No 4 (4.75 mm) y son retenidas en la malla No 200 (0.075 mm), con las siguientes subdivisiones:
 - **Gruesa.** Partículas que pasan la malla No 4 (4.75 mm) y son retenidas en la malla No 10 (2 mm).
 - **Media.** Partículas que pasan la malla No 10 (2 mm) y son retenidas en la malla No 40 (0.425 mm).

- **Fina.** Partículas que pasan la malla No 40 (0.425 mm) y son retenidas en la malla No 200 (0.075 mm).
- **Arcilla.** Suelo que pasa por la malla No 200 (0.075 mm), el cual exhibe plasticidad dentro de un cierto intervalo de humedad, pero que muestra considerable resistencia cuando se seca al aire. Para su clasificación, una arcilla es un suelo de grano fino, o la porción fina de un determinado suelo, con propiedades plásticas.
- **Limo.** Suelo que pasa la malla No 200 (0.075 mm), de naturaleza No -plástica o ligeramente plástica y que exhibe poca o ninguna resistencia cuando se seca al aire. Para su clasificación, un limo es un suelo de grano fino, o la porción fina de un determinado suelo, con ninguna o muy poca plasticidad.
- **Arcilla Orgánica.** Es una arcilla con suficiente contenido de materia orgánica como para influir en las propiedades del suelo. Para su clasificación, una arcilla orgánica es un suelo que es clasificado como arcilla, excepto que el valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75% de este valor antes de ser secado.
- **Limo Orgánico.** Es un limo con suficiente contenido de materia orgánica como para influir en las propiedades del suelo. Para su clasificación, un limo orgánico es un suelo que es clasificado como limo, excepto que el valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75% de este valor antes de ser secado.

- **Turba.** Es un suelo compuesto principalmente de materia vegetal en diferentes estados de descomposición, usualmente con olor orgánico, color entre marrón oscuro a negro, consistencia esponjosa, y contextura que varía de fibrosa hasta amorfa.

3. Para este sistema de clasificación son también usados sufijos que identifican algunas características particulares del suelo.

- **W.** Bien graduado.
- **P.** Pobrementemente graduado.
- **L.** Baja compresibilidad, límite líquido menor a 50%
- **H.** Alta compresibilidad, límite líquido mayor a 50%

Con los prefijos y sufijos anteriormente mencionados se pueden hacer combinaciones que ayudan a describir de mejor manera el suelo en cuestión, por ejemplo, a una arena (S), si tuviera la característica de estar bien gradada será (SW), de la misma manera un limo (M), con una alta compresibilidad se simbolizara (MH).

4. Casos Particulares de Clasificación.

- **Un símbolo doble.** Corresponde a dos símbolos separados por un guion, (GP-GM), (SW-SC), (CL-ML), los cuales se usan para indicar que el suelo tiene propiedades de dos grupos. Estos se obtienen cuando el suelo tiene finos entre 5 y 12% o cuando las coordenadas del límite líquido y el índice de plasticidad caen en el área sombreada (**CL-ML**) de la carta de plasticidad (**Ver Figura No. 2.7**).

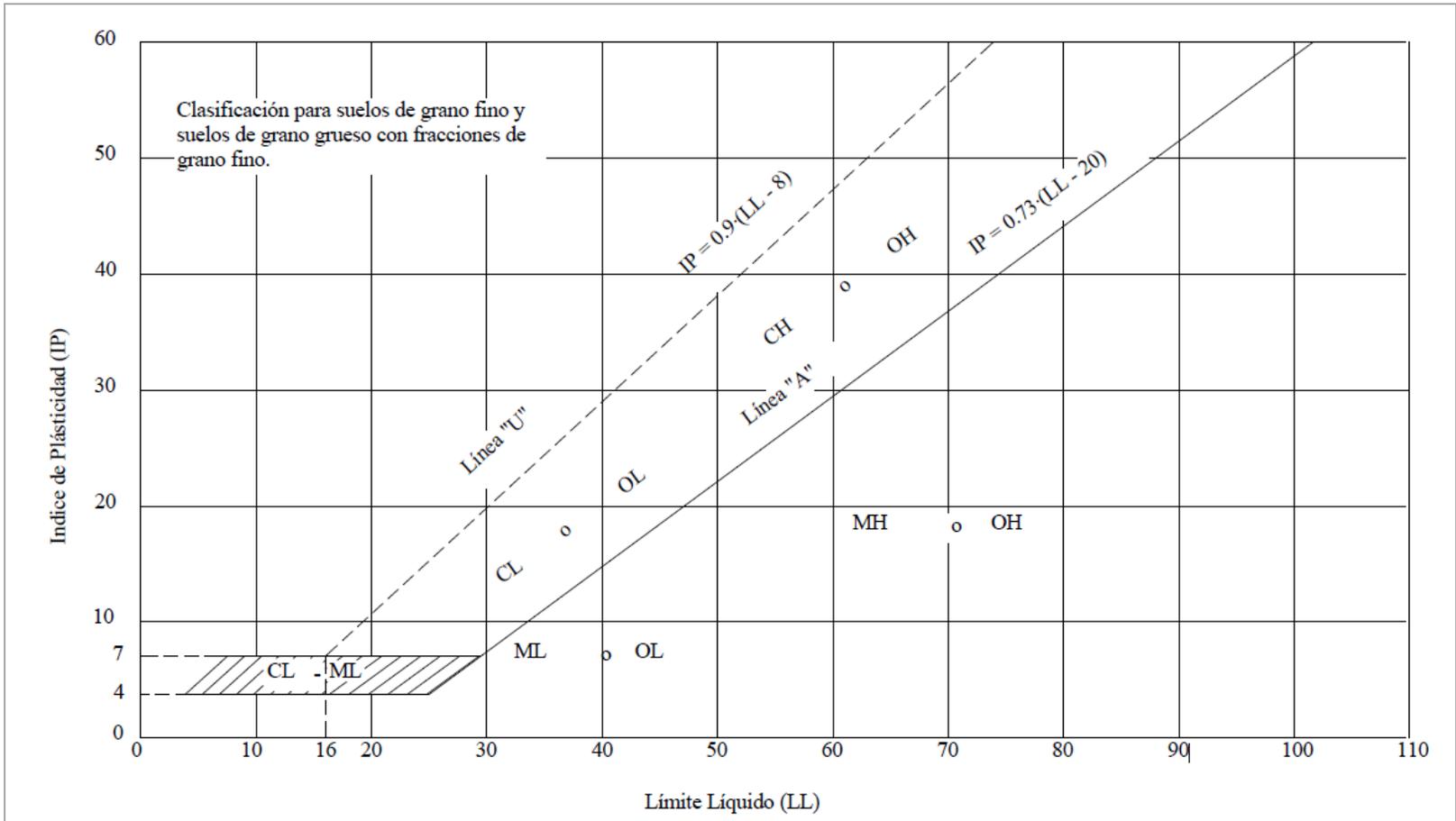


Figura No. 2.7: Carta de Plasticidad para suelos de partículas finas.

Fuente: ASTM D 2487, (2003). Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos). ASTM International.

La primera parte del doble símbolo indica si la fracción gruesa es pobremente o bien gradada. La segunda parte describe la naturaleza de los finos. Por ejemplo, un suelo clasificado como un (SP-SM) significa que se trata de una arena pobremente gradada con finos limosos entre 5 y 12%. Similarmente un (GW-GC) es una grava bien gradada con algo de finos arcillosos que caen encima la línea A.

- **Un símbolo de frontera.** Corresponde a dos símbolos separados por el símbolo divisorio “/” y deberá usarse para indicar que el suelo cae muy cerca de la línea de división entre dos símbolos de grupo. En estos casos es aceptable el uso de ambos símbolos en la clasificación, con el símbolo de grupo “correcto” por delante seguido del símbolo de grupo “casi correcto”. Por ejemplo, una combinación de arena – arcilla con ligeramente un poco menos del 50% de arcilla podría ser identificada como (SC/CL), de la misma manera pasa con otros tipos de suelos como por ejemplo (CL/CH), (GM/SM).

En las **Figuras No. 2.8 a 2.12**, se describe el proceso de clasificación de los suelos inorgánicos conforme a la Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), ASTM D 2487 – 03.

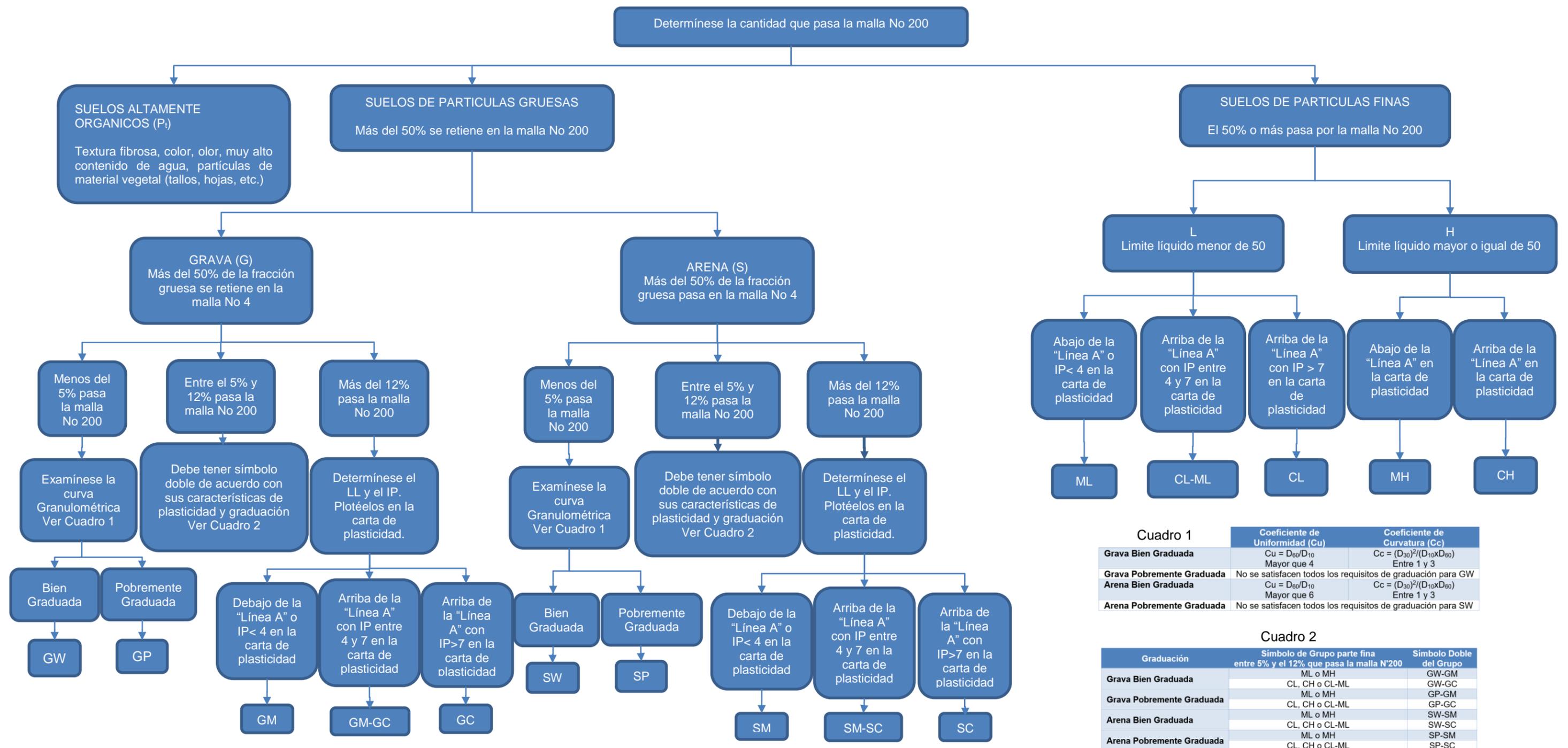


Figura No. 2.8: Procedimiento para la identificación del Símbolo de Grupo de suelos inorgánicos, Clasificación SUCS.

Fuente: ASTM D 2487, (2003). *Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)*. ASTM International.

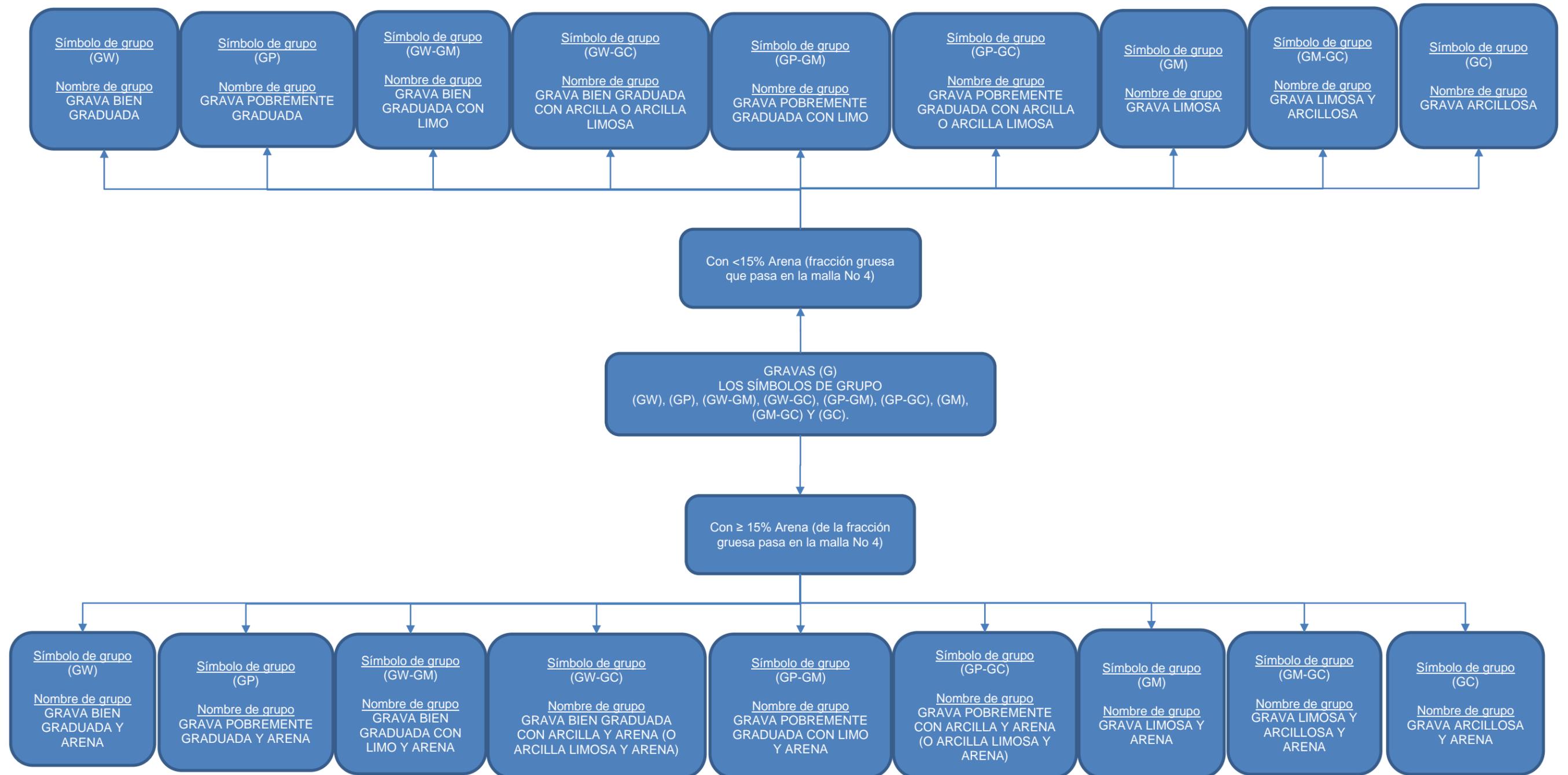


Figura No. 2.9: Procedimiento de identificación del Nombre de grupo en Gravas, Clasificación SUCS.

Fuente: ASTM D 2487, (2003). *Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)*. ASTM International

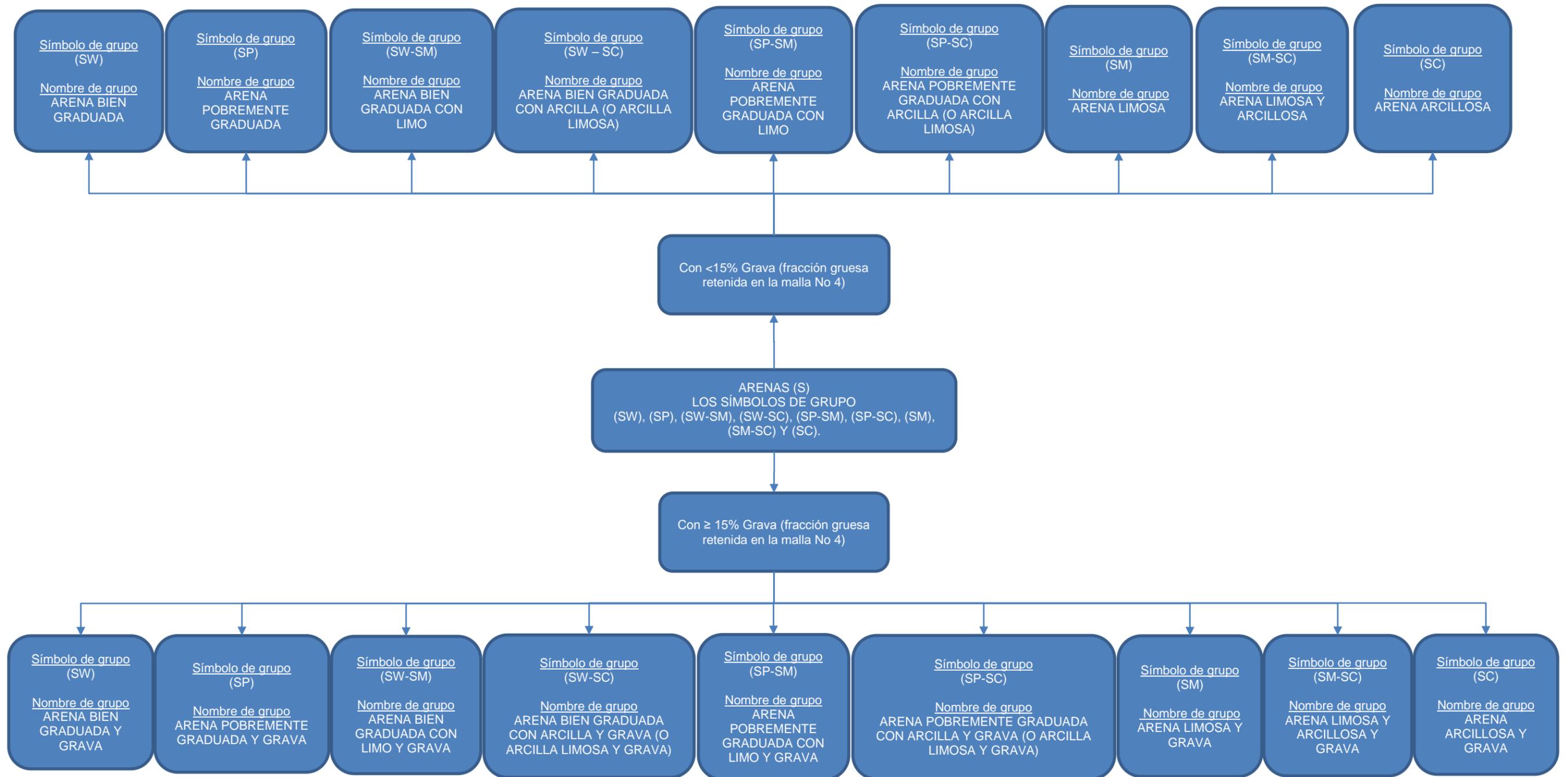


Figura No. 2.10: Procedimiento de identificación del Nombre de grupo en Arenas, Clasificación SUCS.

Fuente: ASTM D 2487, (2003). *Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)*. ASTM International

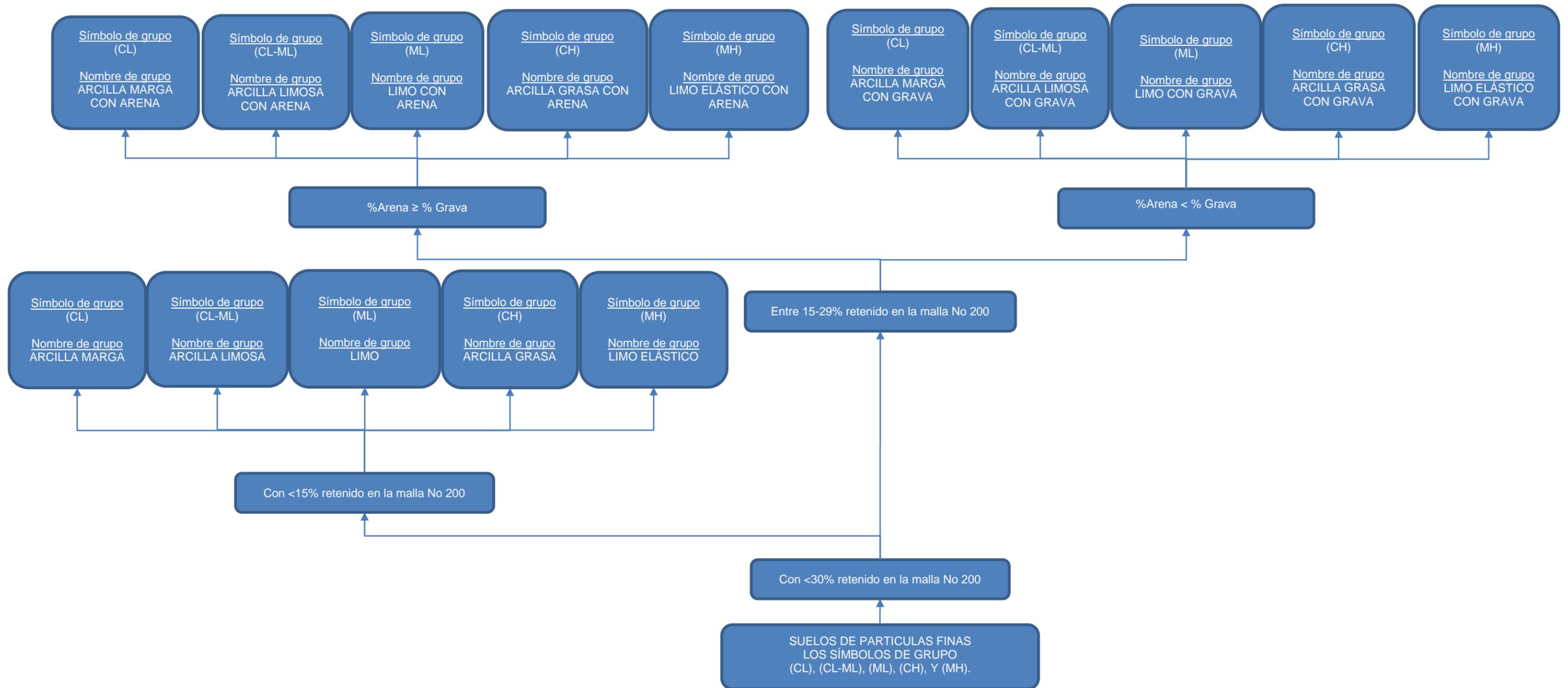


Figura No. 2.11: Procedimiento de identificación del Nombre de grupo en Suelos de Partículas Finas parte 1, Clasificación SUCS.

Fuente: ASTM D 2487, (2003). *Práctica Estándar para Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)*. ASTM International

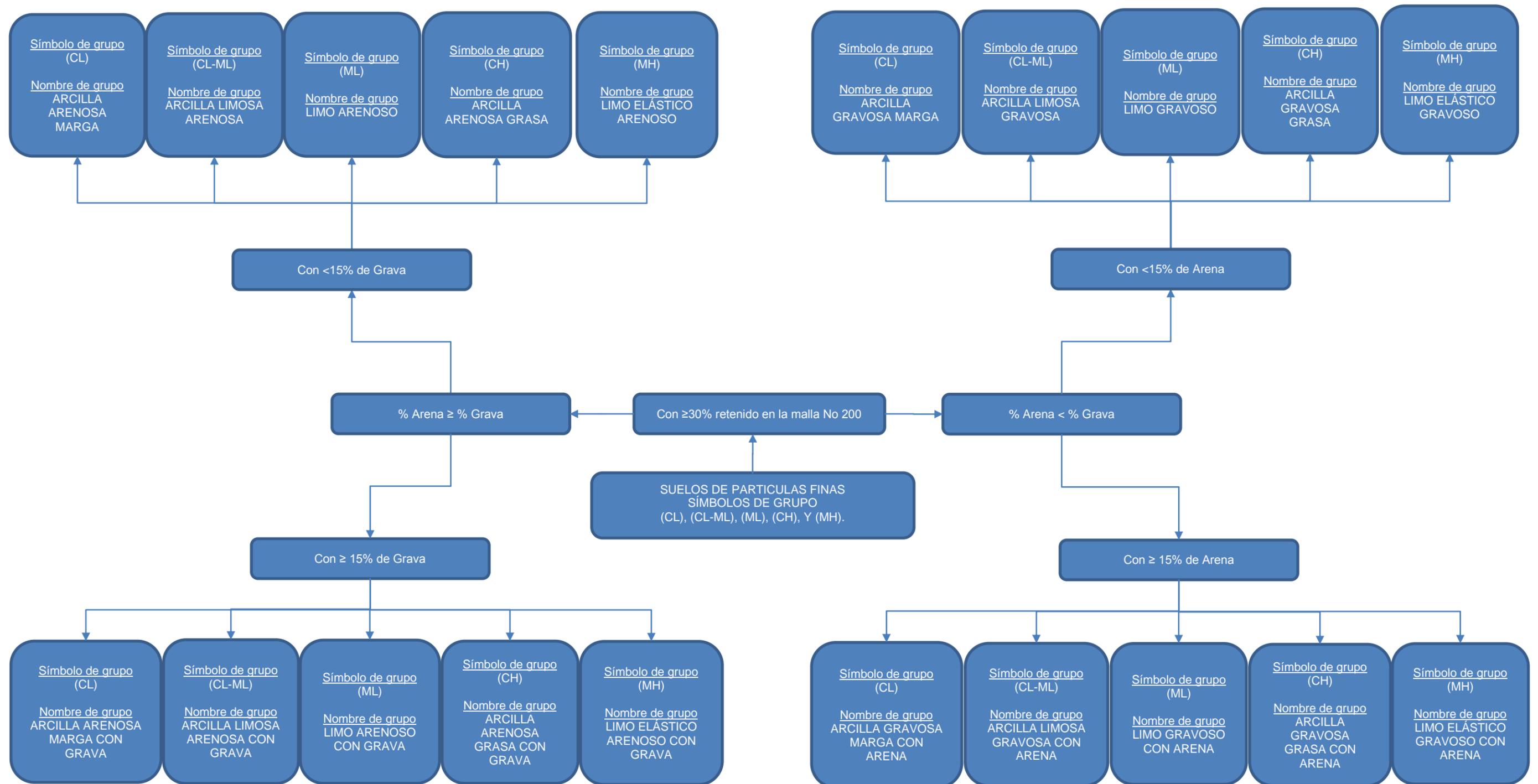


Figura No. 2.12: Procedimiento de identificación del Nombre de grupo en Suelos de Partículas Finas parte 2, Clasificación SUCS.
 Fuente: ASTM D 2487, (2003). Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos). ASTM International.

2.5.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE LA ASOCIACIÓN AMERICANA DE OFICIALES DE CARRETERAS ESTATALES Y TRANSPORTES (AASHTO).

El sistema de clasificación AASHTO (ASTM D 3282 – 03, AASHTO M 145 – 91), es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieriles enfocados al campo de las carreteras, como la construcción de los terraplenes, subrasantes, subbases y bases de carreteras. La evaluación de los suelos dentro de cada grupo se realiza por medio de un índice de grupo, que es un valor calculado a partir de una ecuación empírica.

El comportamiento geotécnico de un suelo varía inversamente con su índice de grupo, es decir que un suelo con índice de grupo igual a cero indica que es material “bueno” para la construcción de carreteras, y un índice de grupo igual a 20 o mayor, indica un material “muy malo” para la construcción de carreteras. Los suelos clasificados dentro los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales 35% o menos de las partículas pasan a través la malla No 200.

Los suelos que tienen más del 35% de partículas que pasan a través de la malla No 200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son principalmente limo y materiales de tipo arcilla.

El sistema de clasificación AASHTO presenta las siguientes características³¹.

1. Clasifica a los suelos en tres categorías principales:

- **Suelos granulares.** Son suelos cuyo porcentaje que pasa la malla No 200 es menor o igual al 35% del total de la muestra. Estos suelos constituyen los grupos A-1, A-2 y A-3.
- **Suelos limo-arcilla o material fino.** Son suelos cuyo porcentaje que pasa la malla No 200 es mayor al 35% del total de la muestra. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.
- **Suelos orgánicos.** Son los suelos que están constituidos principalmente por materia orgánica. Este tipo de suelos constituye el grupo A-8.

2. Adopta el siguiente rango de tamaño de partículas:

- **Cantos rodados.** Son fragmentos de roca, usualmente redondeados por abrasión, que son retenidos en la malla de 3" (75 mm).
- **Grava.** Es la fracción que pasa la malla de 3" (75 mm) y es retenido en la malla No 10 (2 mm).
- **Arena.** Es la fracción que pasa la malla No 10 (2 mm) y es retenido en la malla No 200 (0.075 mm).
- **El limo y la arcilla.** Son partículas que pasan la malla No 200 (0.075 mm).

3. Establece un rango del índice de plasticidad que diferencia a los suelos limosos de los suelos arcillosos.

³¹ Campos J. y Guardia G. (2005). "Apoyo Didáctico al Aprendizaje de la Asignatura Mecánica de Suelos II CIV - 219". (pp.65-66). (Trabajo de grado). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

- El término **limoso** es aplicado a la fracción fina del suelo que tiene un índice de plasticidad de 10 o menos.
- El término **arcilloso** es aplicado cuando la fracción fina tiene un índice de plasticidad de 11 o más.

4. La muestra de suelo considerada durante la clasificación.

Considera solo la porción de suelo que pasa a través de la malla de 3", si existieran partículas mayores (guijarros y cantos rodados), estas son excluidas de la muestra de suelo que será clasificado, sin embargo, el porcentaje de ese material debe ser medido y anotado junto con el resultado de la clasificación.

En la **Figura No 2.13**, se describe el proceso de clasificación de suelos conforme a la Clasificación de Suelos y Mezclas de Agregados de Suelos para Fines de Construcción de Carreteras, AASHTO M 145 – 91.

2.5.3 DIFERENCIAS ENTRE LOS SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO.

En la **Tabla No. 2.11**, se describen algunas diferencias encontradas entre los sistemas de clasificación SUCS y AASHTO.

Tabla No. 2.11: Diferencias entre los Sistemas de Clasificación Estudiados.

Sistema de Clasificación SUCS	Sistemas de Clasificación AASHTO.
En cuanto a su uso no presenta restricciones de ningún tipo y su uso es más general.	Su uso es esencialmente para la construcción de proyectos de carreteras.
Los ensayos necesarios para hacer la clasificación son la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y plástico, con la diferencia de que cada sistema adopta distintos valores como límites entre los distintos tipos de suelos.	
Considera como suelo fino si el 50% o más del total de la muestra de suelo pasan por la malla No 200.	Considera como suelo fino si más del 35% del total de la muestra de suelo pasa por la malla No 200.
La malla No 4 es la que separa la grava de la arena.	En este sistema es la malla No 10 la que separa a la grava de la arena.
Los suelos gravosos y los suelos arenosos están muy claramente separados.	El grupo A-2 en particular contiene una amplia variedad de suelos gravosos y arenosos.
Los símbolos (GW), (SM), (CH) y otros son usados para una mejor descripción de las propiedades del suelo.	Los símbolos del grupo A, en cuanto a las propiedades del suelo no son tan descriptivos.
Se pueden clasificar los suelos orgánicos como OL, OH y Pt.	No toma en cuenta a los suelos orgánicos en el proceso de clasificación, y los deja en el grupo A-8, que no figura en las tablas de clasificación.

Fuente: Campos J. y Guardia G. (2005). *“Apoyo Didáctico al Aprendizaje de la Asignatura Mecánica de Suelos II CIV - 219”*. (pp.75). (Trabajo de grado). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

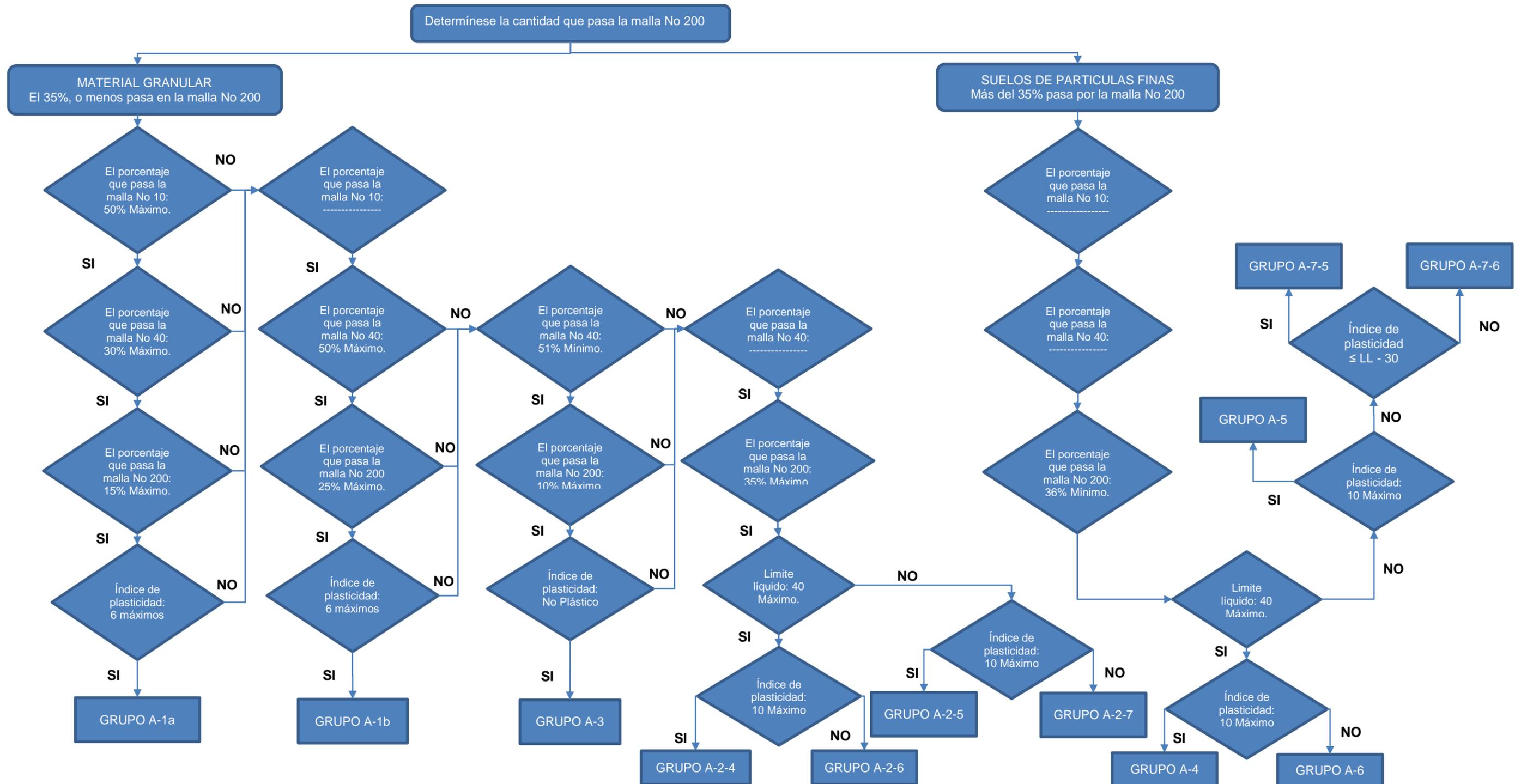


Figura No. 2.13: Procedimiento de Clasificación suelos y mezclas de agregados de suelos para fines de construcción de carreteras, Método AASHTO

Fuente: AASHTO M 145, (1991). Clasificación de Suelos y Mezclas de Agregados de Suelos para Fines de Construcción de Carreteras. Designación AASHTO.

CAPÍTULO 3 ELABORACIÓN DE INSTRUCTIVOS DE LABORATORIO.

3.1 INTRODUCCIÓN.

La importancia que tiene la determinación de las características físicas de los suelos juega un papel importante para poder definir e interpretar su comportamiento, como también, su respectiva clasificación. Para esto, es necesario realizar un adecuado procedimiento de ensayo para la obtención de las propiedades que se requieran. Este trabajo, plantea como uno de sus principales objetivos, la elaboración de instructivos de ensayo de las pruebas de laboratorio a realizarse en la caracterización geotécnica de las muestras de suelo a ser recolectadas, así mismo; la elaboración de una guía procedimental de ensayo de laboratorio con base al método Cono de Penetración BS 1377-2:1990, en complemento de los objetivos planteados al inicio de esta investigación.

Para dar un previo refuerzo al rol fundamental que tienen los ensayos de laboratorio, inicialmente este capítulo conduce al lector a través de una breve descripción sobre lo que implica un Sistema de Gestión de Calidad para competencia de laboratorios con base a la norma ISO/IEC 17025. Luego, se profundiza en el desarrollo de cada uno de los instructivos elaborados para la etapa que comprende la caracterización de los suelos. De esta forma, los temas abordados y expuestos a continuación conforman la base fundamental para el siguiente desarrollo del Capítulo 4.

3.2 GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD PARA LA COMPETENCIA DE LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN.

La acreditación³² es el acto por el cual una entidad de acreditación reconoce la competencia técnica y confiabilidad de los laboratorios de ensayo, laboratorios de calibración, laboratorios clínicos, unidades de verificación (organismos de inspección) y organismos de certificación para la evaluación de la conformidad. Es una herramienta que facilita el desarrollo del mercado nacional, ya que a través de los organismos acreditados se garantizan servicios y productos confiables y a la vez se garantiza la seguridad de los consumidores, los trabajadores y las empresas.

Actualmente el Organismo Salvadoreño de Acreditación (OSA), ofrece sus servicios a aquellos Organismos de Ensayo y Calibración (OEC) públicos y privados que quieren demostrar objetivamente, que cuenta con las competencias técnicas para desarrollar las actividades de ensayo/prueba, calibración, inspección o certificación declaradas en el alcance acreditado, cumpliendo así los requisitos establecidos a nivel internacional.

A todas los OEC solicitantes del servicio de acreditación se les aplica un principio de igualdad de condiciones tanto en los requisitos técnicos, financieros y de carácter informativo independiente del tamaño y de su condición de miembro de cualquier asociación. Además, son evaluados contra los mismos requisitos

³²Organismo Salvadoreño de la Acreditación (OSA) (2019). Información acerca de los Servicios de Acreditación. Disponible en <http://www.osa.gob.sv/servicios/acreditacion/>

establecidos en las normativas vigentes que le apliquen al esquema de acreditación al que el OEC pertenece.

3.2.1 LA NORMA ISO/IEC 17025:2017.

La Norma ISO/IEC 17025:2017 (Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Calibración y Ensayo), proporciona los requisitos necesarios que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración, facilitando la armonización de criterios de calidad.

La norma contiene tanto requisitos de Gestión como requisitos Técnicos que inciden sobre la mejora de la calidad del trabajo realizado en los laboratorios, favoreciendo la creación de un conocimiento colectivo, que facilita la integración del personal proporcionando flexibilidad en la adaptación a necesidades y cambios del entorno permitiendo detectar problemas para su resolución anticipada.

Al trabajar bajo los estándares de esta Norma se reconoce la competencia técnica y la validez de los resultados, respondiendo a las exigencias de los organismos o entidades y dotándose de credibilidad ante sus clientes.

3.2.2 ESTRUCTURA Y CONTENIDOS DE LA NORMA ISO/IEC 17025:2017.

El objetivo principal de la Norma ISO/IEC 17025 es garantizar la competencia técnica y la fiabilidad de los resultados analíticos.

Su contenido se desglosa en la **Tabla No. 3.1.**

Tabla No. 3.1: Contenido de la Norma ISO/IEC 17025:2017.

ÍNDICES ISO/IEC 17025:2017	
0. INTRODUCCIÓN 1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN 2. REFERENCIAS A NORMATIVAS 3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES	8. REQUISITOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN 8.1. OPCIONES 8.2. DOCUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN (OPCIÓN A)
4. REQUISITOS GENERALES 4.1. IMPARCIALIDAD 4.2. CONFIDENCIALIDAD 5. REQUISITOS RELATIVOS A LA ESTRUCTURA 6. REQUISITOS RELATIVOS A LOS RECURSOS 6.1. GENERALIDADES 6.2. PERSONAL 6.3. INSTALACIONES Y CONDICIONES AMBIENTALES 6.4. EQUIPAMIENTO 6.5. TRAZABILIDAD METROLÓGICA 6.6. PRODUCTOS Y SERVICIOS PROPORCIONADOS EXTERNAMENTE 7. REQUISITOS DEL PROCESO 7.1. REVISIÓN DE SOLICITUDES, OFERTAS Y CONTRATOS 7.2. SELECCIÓN, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE MÉTODOS 7.3. MUESTREO 7.4. MANIPULACIÓN DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN 7.5. REGISTROS TÉCNICOS. 7.6. EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN 7.7. ASEGURAMIENTO DE LA VALIDEZ DE LOS RESULTADOS 7.8. INFORME DE RESULTADOS 7.9. QUEJAS 7.10. TRABAJOS NO CONFORMES 7.11. CONTROL DE DATOS Y GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	8.3. CONTROL DE DOCUMENTOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN (OPCIÓN A) 8.4. CONTROL DE REGISTROS (OPCIÓN A) 8.5. ACCIONES PARA ABORDAR RIESGOS Y OPORTUNIDADES (OPCIÓN A) 8.6. MEJORA (OPCIÓN A) 8.7. ACCIONES CORRECTIVAS (OPCIÓN A) 8.8. AUDITORIAS INTERNAS (OPCIÓN A) 8.9. REVISIONES POR LA DIRECCIÓN (OPCIÓN A) ANEXO A (INFORMATIVO) TRAZABILIDAD METROLÓGICA ANEXO B (INFORMATIVO) SISTEMA DE GESTIÓN BIBLIOGRAFÍA

Fuente: Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Miguel Ángel Guzmán Urbina" de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador.

3.3 RESUMEN DEL INSTRUCTIVO DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO DEL PICNÓMETRO CON AGUA BASADO EN LA NORMA ASTM D 854 – 03.

Un picnómetro limpio y seco previamente calibrado, se determina su masa, luego se introduce en él una muestra de suelo húmedo (Método A) o seco (Método B). Posteriormente se agrega agua hasta formar una lechada, se extrae el aire atrapado, ya sea hirviendo (baño de maría), succionando o combinando los dos procesos. Se completa el llenado del picnómetro con agua desairada y se coloca en el recipiente de baño de María durante la noche para alcanzar un equilibrio térmico. Se determina y registra la masa del picnómetro, suelo y agua, se mide la temperatura de la mezcla suelo - agua, dicha mezcla es colocada en un horno hasta obtener una masa constante; es decir, la masa seca de los sólidos del suelo. La gravedad específica de los sólidos del suelo a 20 °C es la relación de la densidad de los sólidos del suelo entre la densidad del agua a la temperatura de ensayo, multiplicada por un coeficiente de temperatura.

En el **ANEXO A1** se presenta el instructivo de laboratorio correspondiente a este resumen del método basado en la norma ASTM D 854 – 03.

3.4 RESUMEN DEL INSTRUCTIVO DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS BASADO EN LA NORMA ASTM D 422 – 03.

El análisis por hidrometría se realiza para determinar el porcentaje de partículas de suelos que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. Para obtener una mayor precisión se debe aplicar principalmente a la fracción que

pasa el tamiz No 200. A una muestra de aproximadamente de 65 g se le toma la humedad higroscópica, luego se prepara una solución dispersante la cual servirá inicialmente para determinar la corrección por defloculante, por menisco y por temperatura. Se prepara una lechada agregando a la muestra 125 ml de defloculante se agita y se deja reposar por 16 h. Esta lechada pasara nuevamente por un proceso de agitado para posteriormente tomar las lecturas con el hidrómetro en intervalos de tiempo de 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 min.

Finalmente, las muestras en suspensión serán lavadas por el tamiz No 200 y puestas a secar para poder determinar las masas retenidas en un juego de mallas definido.

En el **ANEXO A2** se presenta el instructivo de laboratorio correspondiente a este resumen del método basado en la norma ASTM D 422 – 03.

3.5 RESUMEN DEL INSTRUCTIVO DETERMINACIÓN DEL LIMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS BASADO EN LA NORMA ASTM D 4318 – 03.

La muestra a ensayar se tamiza por la malla No 40, dejándola saturar alrededor de 16 h. Para la determinación del Límite Líquido, se toma una porción de suelo y se extiende en la copa de Casagrande, dividiéndola en dos partes con el ranurador y mediante golpes repetitivos, se busca el número de golpes con el cual ambas partes se unan una distancia de 13 mm (1/8 pulg). Se proporcionan dos procedimientos; el método A, requiere tres o más ensayos para distintos contenidos de agua. Los resultados se grafican, siendo el Límite Líquido el

contenido de humedad correspondiente a un número de golpes igual a 25. Para el Método B, en un solo punto se usan los datos de dos ensayos con el mismo contenido de agua, multiplicándolo por un factor de corrección a fin de determinar el Límite Líquido.

La obtención del Límite Plástico, involucra el amasado de una pequeña porción de suelo (entre 1.5 y 2.0 g) en una placa de vidrio para formar rollitos de 3.2 mm (1/8 pulg) de diámetro. De manera que se obtenga un contenido de agua en el cual los rollitos presenten agrietamiento y no sea posible volver a rolarlo nuevamente hasta el diámetro indicado. Dicho contenido de humedad, se reporta como el límite plástico.

En el **ANEXO A3** se presenta el instructivo de laboratorio correspondiente a este resumen del método basado en la norma ASTM D 4318 – 03.

3.6 RESUMEN DEL INSTRUCTIVO DETERMINACIÓN DEL LIMITE LÍQUIDO DE SUELOS POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN BASADO EN LA NORMA BS 1377-2:1990.

Un espécimen de suelo es tamizado por la malla No 40 (425 μ m) para remover cualquier material retenido en él. El ensayo se realiza con la porción que pasó dicha malla, la cual se satura previamente (500 g) y que posteriormente es colocada en un recipiente para efectuar en ella la inserción de la aguja del equipo “Cono de Penetración” en un lapso de tiempo de 5 ± 1 s, se toma la lectura de deformación y se valida realizando una nueva inserción con su respectiva lectura; si dicha diferencia es menor a 0.5 mm se toma el promedio y se determina su

humedad, pero si varían entre 0.5 y 1 mm debe realizarse una tercera inserción donde, si la diferencia de tres lecturas no varía más de 1 mm se toma su promedio y se determina su humedad, caso contrario se deberá desechar las lecturas y realizar nuevamente el procedimiento.

El Límite Líquido puede ser determinado ya sea con el método de múltiples puntos o de un solo punto, donde en el primero se requiere de un mínimo de tres ensayos en un rango de contenidos de humedad correspondientes a deformaciones entre 15 y 25 mm. Estos datos son graficados para hacer una relación lineal en la cual el Límite Líquido es el contenido de humedad correspondiente a una deformación de 20 mm.

En el caso del Límite Líquido determinado por un punto, se utiliza un dato de contenido de humedad correspondiente a deformaciones entre 15 y 25 mm multiplicado por un factor de corrección.

En el **ANEXO A4** se presenta el instructivo de laboratorio correspondiente a este resumen del método basado en la norma BS 1377-2:1990

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

4.1 INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se define la metodología utilizada en la realización del trabajo de investigación, cuya finalidad ha sido la caracterización de las muestras de suelo recolectadas y así determinar una correlación para la obtención del límite líquido mediante los resultados de dos métodos de ensayo de laboratorio para la determinación del límite líquido ASTM D 4318-03 y BS 1377:1990 parte 2 en suelos de baja y alta compresibilidad.

Las muestras de suelo ensayadas se obtuvieron mediante muestreo realizado por el equipo de investigación, así como de muestras proporcionadas por un laboratorio de empresa privada, de las cuales se describe la metodología de muestreo realizada con su respectiva ubicación geográfica e información geológica. Posteriormente se refieren los procedimientos de laboratorio utilizados en cada ensayo.

Para la determinación de las propiedades físicas, se presenta el cálculo de la muestra #1 de Limo de Baja Compresibilidad (ML) a manera de ejemplo.

4.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

4.2.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES.

Para el desarrollo de este trabajo de investigación, se procedió a la obtención de las muestras a utilizarse en los ensayos de laboratorio, las cuales fueron proporcionadas tanto por laboratorios de empresas privadas como por medio de visita a campo realizada por el grupo de investigación. Se obtuvieron un total de 39 muestras recolectadas **Ver Tabla No. 4.1**, siendo todas las muestras analizadas para conocer sus propiedades de plasticidad mediante el método de ensayo ASTM D 4318 “Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos”. Posteriormente se seleccionaron las muestras definitivas a utilizarse en el desarrollo de la investigación, consistiendo en 10 muestras de Limos de alta compresibilidad y 10 muestras de Limos de baja compresibilidad.

Tabla No. 4.1: Muestras obtenidas para la investigación en la determinación de la correlación entre los métodos de Casagrande y Cono de Penetración, Marzo-Julio 2019.

ID	# de Contenedor de muestra	Coordenadas		Municipio	Departamento	Fecha de Muestreo
		N	W			
1	1 y 2	13.770173	-89.214940	Apopa	San Salvador	11/03/2019
2	3 y 4	13.508000	-89.425670	La Libertad	La Libertad	18/03/2019
3	5 y 6	13.870980	-88.627450	Sensuntepeque	Cabañas	25/03/2019
4	7 y 8	13.800120	-89.992020	San Francisco Menéndez	Ahuachapán	19/03/2019
5	9 y 10	13.972300	-89.563120	Santa Ana	Santa Ana	29/03/2019
6	11 y 12	13.909140	-89.181370	Guazapa	San Salvador	22/03/2019
7	13 y 14	13.844190	-89.827660	Apaneca	Ahuachapán	20/03/2019
8	15 y 16	13.890940	-88.605880	Sensuntepeque	Cabañas	27/03/2019
9	17 y 18	13.639930	-89.257070	Nuevo Cuscatlán	La Libertad	23/03/2019
10	19 y 20	13.858730	-89.802640	Apaneca	Ahuachapán	02/04/2019
11	21 y 22	13.645769	-89.259610	Nuevo Cuscatlán	La Libertad	05/04/2019
12	23 y 24	13.979500	-89.557430	Santa Ana	Santa Ana	02/04/2019
13	25 y 26	13.866400	-88.641010	Guacotecti	Cabañas	09/04/2019

Tabla No. 4.1: Muestras obtenidas para la investigación en la determinación de la correlación entre los métodos de Casagrande y Cono de Penetración, Marzo-Julio 2019. (Cont.)

ID	# de Contenedor de muestra	Coordenadas		Municipio	Departamento	Fecha de Muestreo
		N	W			
14	27 y 28	13.435160	-88.784600	Tecoluca	San Vicente	13/04/2019
15	29 y 30	13.758820	-90.019360	San Francisco Menéndez	Ahuachapán	11/04/2019
16	31 y 32	13.506270	-89.196090	Rosario de Mora	San Salvador	15/04/2019
17	33 y 34	13.601590	-89.288600	Zaragoza	La Libertad	18/04/2019
18	35 y 36	13.643660	-89.272800	Nuevo Cuscatlán	La Libertad	22/04/2019
19	37 y 38	13.611950	-89.287130	Zaragoza	La Libertad	23/04/2019
20	39	13.722030	-89.715580	Sonsonate	Sonsonate	01/07/2019
21	40 y 41	13.505200	-88.231910	Quelepa	San Miguel	03/07/2019
22	42 y 43	13.654650	-89.262920	Nuevo Cuscatlán	La Libertad	04/07/2019
23	44	13.6786695	-89.2144059	San Salvador	San Salvador	12/07/2019
24	45	13.6789879	-89.2117992	San Salvador	San Salvador	12/07/2019
25	46	13.677122	-89.2188750	San Salvador	San Salvador	12/07/2019
26	47	13.66096739	-89.23468619	Antiguo Cuscatlán	La Libertad	12/07/2019
27	48	13.66096739	-89.23468617	Antiguo Cuscatlán	La Libertad	12/07/2019
28	49	13.6566265	-89.25544189	Antiguo Cuscatlán	La Libertad	12/07/2019
29	50	13.65564331	-89.25574131	Nuevo Cuscatlán	La Libertad	12/07/2019
30	51	13.608238	-89.2849891	Zaragoza	La Libertad	12/07/2019
31	52	13.6083626	-89.2849534	Zaragoza	La Libertad	12/07/2019
32	53	13.5809035	-89.2871108	Zaragoza	La Libertad	12/07/2019
33	54	13.57707171	-89.2878133	Zaragoza	La Libertad	12/07/2019
34	55	13.57396233	-89.2902152	Zaragoza	La Libertad	12/07/2019
35	56	13.5751604	-89.2904037	Zaragoza	La Libertad	12/07/2019
36	57	13.5752342	-89.2906044	Zaragoza	La Libertad	12/07/2019
37	58	13.5731948	-89.2910801	Zaragoza	La Libertad	12/07/2019
38	59	13.5607391	-89.2913345	Zaragoza	La Libertad	12/07/2019
39	60	13.5555613	-89.2932718	Zaragoza	La Libertad	12/07/2019

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 OBTENCIÓN DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS EN LABORATORIO.

4.2.2.1 MUESTRAS OBTENIDAS POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN.

La información bibliográfica consultada para identificar las zonas en las cuales se podrían obtener muestras de Baja y Alta Compresibilidad fue tomada del trabajo de investigación “Elaboración de mapa de características geotécnicas de los municipios de Antiguo Cuscatlán y Santa Tecla y propuesta de requerimientos mínimos en estudios geotécnicos para muros de retención, taludes y

edificaciones de menos de tres niveles”, 2018. Universidad de El Salvador, el cual, contribuyó en la planificación de la visita a campo.

Durante la gira de campo se visitaron los municipios de San Salvador, Antiguo Cuscatlán, Nuevo Cuscatlán y Zaragoza, donde la ubicación de cada punto muestreado (17 en total) se realizó por medio de coordenadas geodésicas haciendo uso del GPS (Global Position System). Además, se llevó a cabo un registro fotográfico y una descripción de las características del lugar.

El reconocimiento de los suelos se llevó a cabo por medio del procedimiento que se encuentra en la Norma ASTM D 2488–03: “Práctica estándar para Descripción e Identificación de Suelos (Procedimiento Visual - Manual)”, sección 14: “Procedimiento de identificación de suelos de grano fino”, en el que se detalla el proceso para evaluar las siguientes características físicas: resistencia en seco, dilatancia, tenacidad y plasticidad. Cabe mencionar que en la visita a campo solo se evaluó la característica de plasticidad (como propiedad indicativa en la compresibilidad del suelo).

Al cumplir el suelo la propiedad de baja o alta plasticidad, se procedió a la obtención de muestra a una profundidad variable, teniendo en cuenta las condiciones que el suelo presentaba en cada punto muestreado y evitando la presencia de materia orgánica. Para dicha actividad se utilizaron las herramientas: cucharón, cuchillo, corbo, chuzo.

4.2.2.2 SELECCIÓN DE MUESTRAS A UTILIZARSE EN LA INVESTIGACIÓN.

Luego de determinar en laboratorio las propiedades de plasticidad (según Norma ASTM D 4318–03), se procedió a seleccionar las muestras a utilizarse, con base a los resultados obtenidos, dividiéndolas en Limos de alta compresibilidad ($LL \geq 50$) y Limos de baja compresibilidad ($LL < 50$), **Ver tabla No. 4.2.**

Tabla No. 4.2: Muestras seleccionadas para el desarrollo de la investigación de acuerdo a la compresibilidad del suelo (alta y baja).

Limos de Alta Compresibilidad				Limos de Baja Compresibilidad			
N°	ID	Límite Líquido (%)	Índice de Plasticidad (%)	N°	ID	Límite Líquido (%)	Índice de Plasticidad (%)
1	6	59	28	1	9	45	14
2	7	77	22	2	11	46	16
3	8	70	31	3	12	42	6
4	10	63	17	4	18	47	15
5	13	51	15	5	19	42	15
6	20	53	13	6	21	46	12
7	26	53	21	7	23	46	18
8	29	54	22	8	27	45	15
9	32	52	17	9	28	45	13
10	38	56	22	10	31	43	16

Fuente: Elaboración propia.

Además, se muestra la información referente a la formación geológica y litología con base al mapa geológico correspondiente a los puntos de muestreo seleccionados, **Ver Tabla No. 4.3.**

Tabla No. 4.3: Información Geológica y Litológica de los puntos de muestreo seleccionados.

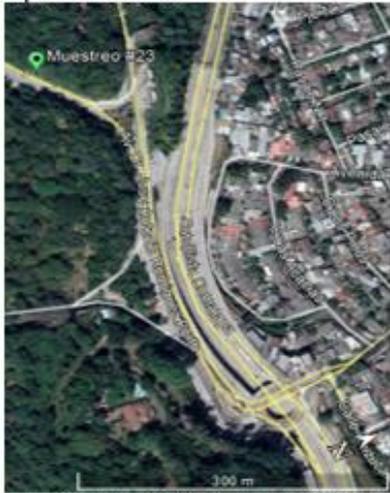
ID	Formación	Litología
1 (6)	Bálsamo	Efusivas básicas – intermedias.
2 (7)	San Salvador	Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas ("tobas color café").
3 (8)	Morazán	Efusivas intermedias hasta intermedias – ácidas, piroclastitas subordinadas (alteración regional por influencia hidrotermal).
4 (9)	San Salvador	Cenizas volcánicas y tobas de lapilli, sobre s3'a.
5 (10)	San Salvador	Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas ("tobas color café").
6 (11)	San Salvador	Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas ("tobas color café").
7 (12)	San Salvador	Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas ("tobas color café").
8 (13)	Bálsamo	Efusivas básicas – intermedias.
9 (18)	Cuscatlán	Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas.
10 (19)	Cuscatlán	Efusivas básicas – intermedias.
11 (20)	San Salvador	Depósitos sedimentarios del Cuaternario.
12 (21)	San Salvador	Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas ("tobas color café").
13 (23)	Bálsamo	Efusivas básicas – intermedias.
14 (26)	Bálsamo	Efusivas básicas – intermedias.
15 (27)	Bálsamo	Efusivas básicas – intermedias.
16 (28)	Bálsamo	Efusivas básicas – intermedias.
17 (29)	San Salvador	Cenizas volcánicas y tobas de lapilli, sobre s3'a.
18 (31)	Cuscatlán	Efusivas básicas – intermedias.
19 (32)	Cuscatlán	Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas.
20 (38)	Cuscatlán	Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas.

Fuente: Mapa Geológico de El Salvador.

4.2.2.3 DESCRIPCIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO SELECCIONADOS

En la **Tabla No. 4.4**, se detalla para la muestra con identificación ID 23, la descripción general del sitio, en cuanto al lugar, departamento, municipio, ubicación, descripción del lugar e información de las características de la muestra obtenida: color, textura, humedad, tipo de muestra (alterada o inalterada) y cantidad obtenida.

Tabla No. 4.4: Ficha de campo para identificación de muestra (Muestra ID 23).

DATOS GENERALES DEL PUNTO DE MUESTREO.		
Lugar: Av. Dr. José Antonio Rodríguez Porth.		
Municipio: San Salvador	Departamento: San Salvador	
Nombre: Muestra #23		
Coordenadas (UTM):	Latitud: 13°40'43.2"N	Longitud: 89°12'51.9"W
Descripción del lugar: Talud con dos estratos de suelo de media plasticidad, poca vegetación en la parte alta del talud. Perteneciente a la formación Bálsamo, con litología correspondiente a efusivas básicas-intermedias. Altura aproximada de estrato 5m.		
Técnica de muestreo: Sondeo manual		
Instrumentos usados: Cucharones, Chuzo, GPS, Cuchillos y Corvo.		
DATOS DE LA MUESTRA		
ID: #23	Fecha de muestreo: 12/07/2019	
Altura de toma de muestra: 0.5 m	Color: Café oscuro	
Textura: Gruesa	Humedad: Muestra en estado húmedo	
Cantidad de muestra: 3 kilogramos	Tipo de muestra: Alterada	
Croquis de ubicación:	Fotografía:	
		
Punto de muestreo ubicado a un costado de paso a desnivel "Paso del Jaguar", sobre avenida que conduce a colonia la Cima.	Ubicación del punto de obtención de muestra a una altura aproximada de 0.5 m desde el pie de talud.	

Fuente: Elaboración propia.

En el **ANEXO B1** se presenta el mapa de El Salvador con la ubicación de los puntos de muestreo seleccionados y en el **ANEXO B2** se muestran las fichas de campo para todas las muestras restantes, en las cuales para cada una de ellas se describen las características abordadas anteriormente.

LABORATORIO DE EMPRESA PARTICULAR.

En la **Tabla No. 4.5** se detalla la información de la ubicación referente a las muestras obtenidas en laboratorio de empresa privada.

Tabla No. 4.5: Información de ubicación de muestras proporcionadas por laboratorio.

# (ID)	Coordenadas		Municipio	Departamento	Fecha de Muestreo
	N	W			
1 (6)	13.909140	-89.181370	Guazapa	San Salvador	22/03/2019
2 (7)	13.844190	-89.827660	Apaneca	Ahuachapán	20/03/2019
3 (8)	13.890940	-88.605880	Sensuntepeque	Cabañas	27/03/2019
4 (9)	13.639930	-89.257070	Nuevo Cuscatlán	La Libertad	23/03/2019
5 (10)	13.858730	-89.802640	Apaneca	Ahuachapán	02/04/2019
6 (11)	13.645769	-89.259610	Nuevo Cuscatlán	La Libertad	05/04/2019
7 (12)	13.979500	-89.557430	Santa Ana	Santa Ana	02/04/2019
8 (13)	13.866400	-88.641010	Guacotecti	Cabañas	09/04/2019
9 (18)	13.643660	-89.272800	Nuevo Cuscatlán	La Libertad	22/04/2019
10 (19)	13.611950	-89.287130	Zaragoza	La Libertad	23/04/2019
11 (20)	13.722030	-89.715580	Sonsonate	Sonsonate	01/07/2019
12 (21)	13.505200	-88.231910	Quelepa	San Miguel	03/07/2019

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 ANÁLISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO

En la **Tabla No. 4.6** se presenta la identificación de las normas ASTM D4318-03 y BS 1377:1990 parte 2, utilizadas para la realización de los mismos en laboratorio a las muestras obtenidas previamente.

Tabla No. 4.6: Lista de ensayos realizados a muestras seleccionadas.

Ensayo	Norma ASTM
– Método de Prueba Estándar para la determinación de laboratorio del Contenido de agua (Humedad) de suelos y rocas.	D 2216 – 03
– Método de Prueba Estándar para la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo por el método del picnómetro de agua.	D 854 – 03
– Método de análisis del tamaño de las partículas de suelo.	D 422 – 03
– Método Estándar de ensayos para la determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.	D 4318 – 03
Ensayo	Norma BS
– Métodos de ensayo para suelos con fines de ingeniería civil. Pruebas de clasificación	1377-2:1990

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.1 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216 – 03).

Para cada muestra de campo previamente identificada, se determinó e identificó un recipiente en el cual se colocaría una porción de la misma de 50 a 80 g aproximadamente, luego se determinó su masa.

Posteriormente, se procedió a colocarlo dentro del horno a una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, permaneciendo en él un lapso de tiempo hasta que su masa fuese contante. Inmediatamente fue retirado del horno y se realizó dicha verificación, esto es, que el cambio de masa en dos periodos consecutivos de secado mayores a 1 h debe ser menor de 0.1%. Una vez realizada la comprobación, se obtuvo la masa seca de la muestra y se calculó su valor de contenido de humedad natural correspondiente.

4.2.3.2 ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (ASTM D 854 – 03).

Para el desarrollo de este ensayo se utilizó el Método B, en el cual el material fue previamente secado al horno utilizando la norma de ensayo ASTM D 2216 – 03, luego se disgregó y tamizó por la malla No 4, tomando una porción entre 55 y 65 gramos del material pasante por dicha malla para la realización del ensayo.

Para las gravedades específicas determinadas se utilizó un frasco volumétrico de 500 ml, cuya masa fue definida como picnómetro + agua. Posteriormente, la muestra de suelo se colocó en el picnómetro registrando la nueva masa como masa seca de suelo + agua + picnómetro, para luego obtener la masa real de la muestra de suelo seco a ensayar (diferencia de lecturas anteriores). Seguidamente, el frasco volumétrico se llenó con agua hasta la marca de aforo y se agitó hasta formar una lechada. Luego, la suspensión se llevó a baño maría por un lapso mínimo de 2-4 horas, mientras se rotaba el picnómetro ocasionalmente para facilitar la expulsión del aire.

Las muestras se dejaron enfriar, llenando con agua hasta su volumen de 500 ml. Después de 24 h, se tomó la temperatura y se registró la masa del conjunto picnómetro + agua + suelo a la temperatura de ensayo.

4.2.3.3 ENSAYO DE DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS, ANÁLISIS HIDROMÉTRICO (ASTM D 422 – 03).

Para la ejecución del ensayo, las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas preliminarmente por la malla No 10, seleccionando 50 g del material pasante de dicha malla.

Luego, se determinó la humedad higroscópica con base a la norma ASTM D 2216-03 en dos especímenes. Posteriormente se preparó el defloculante (hexametáfosfato de sodio en proporción 40 gr/L). Además, se realizaron las correcciones respectivas de menisco y defloculante.

Se prepararon las 20 muestras de 50 g a utilizarse, depositándolas cada una en un beaker y agregándoles 125 ml de hexametáfosfato de sodio, de inmediato se agitaron hasta formar una lechada, la cual reposó por un período de 16 horas. Luego, cada lechada fue agitada y colocada en una probeta donde se tomaron las lecturas con el hidrómetro tipo 151H, así como sus correspondientes temperaturas en los siguientes intervalos de tiempo: 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 min. **Ver Figura No. 4.1.**



Figura No. 4.14: Análisis hidrométrico con diferentes tipos de muestras.
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se vertió la suspensión en la malla No 200 y el material retenido fue lavado hasta que se observó limpio. Este remanente de cada muestra fue secado en horno para ser tamizado por el juego de mallas No 10, 16, 30, 50, 100, 200, tapa y fondo.

Una vez tamizadas, se determinaron las masas retenidas en cada una de las mallas y se realizó el procesamiento de la información de todas las muestras.

4.2.3.4 ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS.

- **MÉTODO ESTÁNDAR DE ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS (ASTM D 4318-03).**

En este procedimiento las muestras fueron secadas al aire, desmenuzadas y tamizadas por la malla No. 40 hasta obtener de 150 a 200 gramos. Luego, cada muestra fue mezclada con agua hasta llevarla a una consistencia adecuada para poder realizar el ensayo, dejándola reposar 24 horas.

Durante el ensayo, se tomó y colocó una cantidad de suelo sobre la Copa de Casagrande hasta obtener una profundidad de 10 mm en el punto de su máximo espesor y se separó la pastilla de suelo en la parte central, se accionó el equipo automático hasta que las dos mitades de la pastilla se pusieran en contacto una distancia de 13 mm, registrando el número de golpes necesarios. Se tomó una muestra del material en la unión de la copa y se le determinó su contenido de humedad con base a la norma ASTM D 2216 – 03. El proceso anterior se realizó tres veces para cada muestra a ensayar en los rangos de golpes de 15-25, 20-30 y 25-35.

- **MÉTODO DE ENSAYO PARA SUELOS CON FINES DE INGENIERÍA CIVIL. PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN (MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN).**

Para la determinación del Límite Líquido por este método, se tomaron 500 gramos de suelo secado al aire y tamizado por la malla No 40, se mezcló con agua y se dejó saturar por un lapso de 24 horas.

Posteriormente, se introdujo el espécimen saturado en el recipiente metálico para el ensayo y colocado en la base del equipo del Cono de Penetración, de tal manera que el cono rozara ligeramente la muestra, para luego dejarlo caer por gravedad durante un período de 5 segundos. Inmediatamente, se tomó la lectura de penetración que debía estar cercana a 15 mm (1° punto del ensayo), luego se obtuvo una segunda lectura repitiendo los pasos anteriores. Estas lecturas deben cumplir que la diferencia entre ellas debe ser ≤ 0.5 mm para poder promediarlas. Si la lectura variaba entre 0.5 y 1.0 mm se obtenía una tercera lectura. Si las tres lecturas no variaban más de 1 mm entre ellas, estas eran promediadas. Caso contrario, los datos se desechaban, y el procedimiento debía ser ejecutado nuevamente.

Finalmente se tomó una porción de la muestra de 10 gramos aproximadamente y se determinó su contenido de humedad con base al estándar ASTM D 2216 – 03. Este procedimiento se realizó hasta obtener 2 contenidos de agua diferentes para deformaciones cercanas a 20 y 25 mm respectivamente.

4.2.3.5 MÉTODO ESTÁNDAR DE ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS (ASTM D 4318 - 03)

LÍMITE PLÁSTICO

El procedimiento consistió en tomar una parte de la muestra preparada para el ensayo del límite líquido, en un estado de consistencia plástico. Luego, se amasó una porción hasta que se conformó un cilindro de diámetro 1/8" con agrietamiento con la palma de la mano sobre una placa de vidrio.

Se tomaron las porciones de suelo obtenidas, hasta que se obtuvieron 6 gramos por cada muestra y se colocaron en un recipiente para determinar su contenido de humedad (ASTM D 2216 – 03). **Ver Figura No. 4.2.**

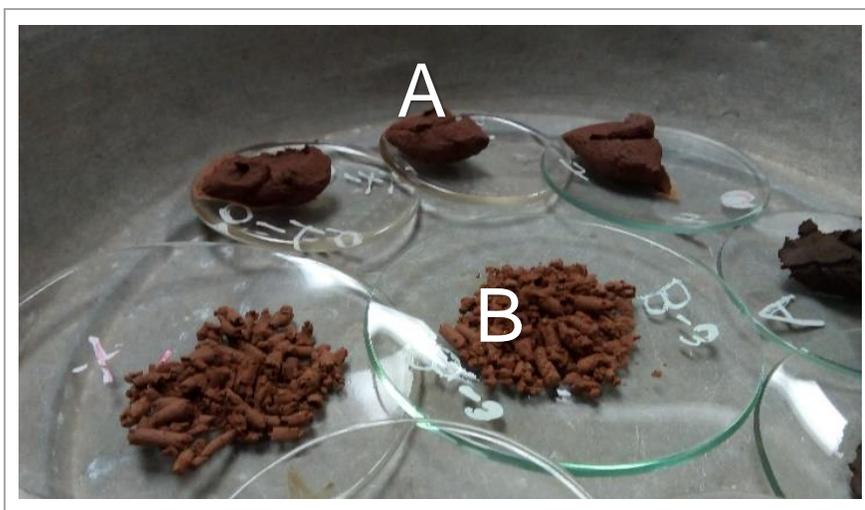


Figura No. 4.215: Muestras ensayadas en la determinación de los ensayos: A) Límite líquido; B) Límite plástico utilizando la norma ASTM D4318-03.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 CÁLCULOS.

A continuación, se presenta la memoria de cálculo de los ensayos realizados a cada una de las muestras. Para el caso, se presentan los datos del ensayo tomados en laboratorio y el procesamiento correspondiente a la muestra #1 clasificada como Limo de Alta Compresibilidad (ID 6). En cuanto al resto de las muestras tanto los datos obtenidos de laboratorio como los resultados del procesamiento de estos se presentan en **ANEXO C1**.

4.3.1 CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216 – 03).

Tabla No. 4.7: Datos Obtenidos en laboratorio para la determinación del contenido de humedad natural de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.

Datos de especímenes del ensayo		
Descripción	1	2
Masa del espécimen húmedo + recipiente, g	86.36	85.44
Masa del espécimen secado al horno + recipiente, g	76.24	75.04
Masa del recipiente, g	10.33	10.01

Fuente: Elaboración propia.

El contenido de humedad natural de la muestra se determinó utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

ω = contenido de humedad, %

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,

M_{ω} = masa de agua ($M_{\omega} = M_{h+r} - M_{s+r}$), g,

M_s = masa de suelo seco ($M_s = M_{s+r} - M_r$), g.

Sustituyendo lo valores de la **Tabla No. 4.7** en la fórmula se tiene:

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

$$\omega_1\% = \frac{86.36 - 76.24}{76.24 - 10.33} \times 100 = 15.4\%$$

$$\omega_2\% = \frac{85.44 - 75.04}{75.04 - 10.01} \times 100 = 16.0\%$$

$$\omega_{prom}\% = \frac{15.4 + 16.0}{2} = 15.7\%$$

4.3.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (ASTM D 854).

Tabla No. 4.8: Datos Obtenidos en laboratorio para la determinación de la gravedad específica de los sólidos de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.

Datos de especímenes de ensayos		
Descripción	1	2
Picnómetro Utilizado	9A	4A
Temperatura de Ensayo	25.8	25.8
Masa del frasco volumétrico + agua, g	675.00	674.35
Masa del frasco volumétrico + agua + sólidos del suelo, g	708.20	708.41
Masa de los sólidos del suelo secado en horno, g	54.37	55.41

Fuente: Elaboración propia.

La Gravedad Específica de las muestras de ensayo a temperatura de ensayo se calculó con la siguiente formula:

$$G_{st} = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{\left(M_{\rho w,t} - (M_{\rho ws,t} - M_s)\right)}$$

Dónde:

G_{st} = Gravedad Específica de los sólidos del suelo a la temperatura de ensayo.

ρ_s = Densidad de los sólidos del suelo Mg/m³ o g/cm³.

$\rho_{w,t}$ = Densidad del agua a la temperatura de ensayo, g/ml o g/cm³.

M_s = Masa de los sólidos del suelo secado en horno, g.

$M_{\rho w,t}$ = Masa del frasco volumétrico y agua a la temperatura de ensayo, determinada en la calibración de este, g.

$M_{\rho ws,t}$ = Masa del frasco volumétrico, agua y sólidos del suelo a la temperatura de ensayo, g.

Sustituyendo en la ecuación con los valores de la **Tabla No. 4.8** tenemos:

$$G_{s1t} = \frac{54.37}{(675.00 - (708.20 - 54.37))} = 2.57$$

$$G_{s2t} = \frac{55.41}{(674.35 - (708.41 - 55.41))} = 2.60$$

Posteriormente se calculó el valor de la gravedad específica a 20°C de acuerdo a la fórmula siguiente:

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

Dónde:

$G_{20^{\circ}\text{C}}$ = Gravedad específica de los sólidos del suelo a 20 °C

K = Coeficiente de temperatura (**Ver ANEXO A1 – Tabla No. 2** Instructivo: Determinación de la Gravedad Específica de los sólidos del suelo por el método del picnómetro con agua).

Sustituyendo la ecuación con los valores se tiene:

$$G_{20^{\circ}\text{C}-1} = 0.99863 \times 2.57 = 2.56$$

$$G_{20^{\circ}\text{C}-2} = 0.99863 \times 2.60 = 2.58$$

Nota: Debido a que en algunos casos la diferencia entre ambos resultados fue mayor a lo permitido según norma, se seleccionó el valor a utilizarse basado en las características granulométricas de la muestra (2.58).

4.3.3 DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS (ANÁLISIS HIDROMÉTRICO, ASTM D 422 – 03).

- **Determinación del porcentaje que pasa y diámetro de la fracción que pasa malla No. 200.**

Tabla No. 4.9: Datos Obtenidos en laboratorio para la distribución del tamaño de partículas (Hidrometría) de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.

DATOS DE ESPECIMENES DE ENSAYO						
Tiempo (Min)	T °C	Análisis Hidrométrico			Tamizado	
		Lectura real del Hidrómetro (g/l)	Lecturas para corrección		Malla	Masa Retenida (g)
2	24.9	40	Menisco		No 10	0
5	25.0	36	Inferior	-2	No 16	1.80
15	25.1	33	Superior	-3	No 30	2.80
30	25.2	30	Defloculante		No 50	2.60
60	25.3	28	Inferior	6	No 100	2.50
250	25.8	26	Superior	-2	No 200	2.30
1440	25.2	23			Pasa No 200	0.10
Masa retenida secada al horno (Retenida en malla No 200 después de lavado) (g)						13.60
Muestra húmeda utilizada para hidrometría (g)						65.0
Contenido de Humedad Natural de la Muestra (ASTM D 2216 – 03) (%)						14.0

Fuente: Elaboración propia.

Se inició con la determinación de las correcciones como se detalla a continuación:

- Corrección por humedad higroscópica a muestra húmeda utilizada.

Se utilizó la siguiente fórmula:

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

Dónde:

M_{sh} = Masa del espécimen seco corregida por Humedad Higroscópica, g

M_h = Masa del espécimen húmedo del material que pasa la malla No 10,
(Incluyendo pérdidas por lavado), g

ω = Contenido de humedad higroscópica, %

Sustituyendo en la fórmula los datos de **Tabla No. 4.9**:

$$M_{sh} = \frac{65}{1 + \frac{14\%}{100}} = 57.01g$$

Los resultados obtenidos de la corrección por Humedad Higroscópica se presentan en la **Tabla No. 4.10**.

Tabla No. 4.10: Resultados de la corrección por humedad higroscópica de muestra húmeda utilizada para Hidrometría.

Muestra húmeda para Hidrometría. (g)	65.00
Muestra Seca para Hidrometría. (g)	57.01
Masa retenida secada al horno (Retenida No 200 después de lavado). (g)	13.60
Cantidad Perdida en lavado. (g)	43.41

Fuente: Elaboración propia.

- Corrección por menisco.

Se tiene la ecuación:

$$C_m = \text{lectura inferior} - \text{lectura superior}$$

Sustituyendo valores:

$$C_m = -2 - (-3) = 1g/l$$

- Corrección de la lectura del Hidrómetro por menisco.

Para realizar la corrección se utilizó la siguiente ecuación:

$$R = R_r + C_m$$

Dónde:

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

R_r = Lectura real del hidrómetro (tomada durante el ensayo), g/l

C_m = Corrección por menisco, g/l

Los resultados de la corrección de la lectura del Hidrómetro por menisco se presentan en la **Tabla No. 4.11**.

Tabla No. 4.11: Correcciones por menisco de la lectura (Rr) tomado del Hidrómetro.

R_r	C_m	R
40	1	41
36	1	37
33	1	34
30	1	31
28	1	29
26	1	27
23	1	24

Fuente: Elaboración propia.

- Corrección por Defloculante.

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$C_d = \text{lectura inferior} - \text{lectura superior}$$

Sustituyendo valores de **Tabla No. 4.11** tenemos:

$$C_m = 6 - (-2) = 8 \text{ g/l}$$

- Corrección por Temperatura (Ver ANEXO A2 Tabla No. 2- Instructivo Determinación del Tamaño de las partículas de suelo).

Tabla No. 4.12: Factores obtenidos para la corrección por temperatura de ensayo hidrométrico.

Tiempo (Min)	Temperatura (°C)	C_t
2	24.9	1.27
5	25.0	1.30
15	25.1	1.34
30	25.2	1.37
60	25.3	1.41
250	25.8	1.58
1440	25.2	1.37

Fuente: Elaboración propia.

- Corrección de la lectura del Hidrómetro por Defloculante y temperatura.

Para la determinación de la corrección por Defloculante y temperatura se utilizó la siguiente formula:

$$R_c = R_r - C_d \pm C_t$$

Dónde:

R_c = Lectura corregida del Hidrómetro por Defloculante y temperatura, g/l

R_r = Lectura real del Hidrómetro (tomada durante el ensayo), g/l

C_d = Corrección por Defloculante, g/l

C_t = Corrección por temperatura, g/l

Los resultados de la corrección de la lectura del Hidrómetro por Defloculante y temperatura se presentan en la **Tabla No. 4.13**.

Tabla No. 4.13: Resultados de la corrección por temperatura y defloculante de la lectura tomada del Hidrómetro.

R_r	C_d	C_t	R_c
40	8	1.27	33.27
36	8	1.30	29.30
33	8	1.34	26.34
30	8	1.37	23.37
28	8	1.41	21.41
26	8	1.58	19.58
23	8	1.37	16.37

Fuente: Elaboración Propia.

Luego de realizar las diferentes correcciones, se determinó el porcentaje de suelo que permanece en suspensión (% que pasa), referido a la muestra, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$P = \left(\frac{R_c \times a}{M_{sh}} \right) \times 100$$

Dónde:

P = Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel en que el hidrómetro mide la densidad de la suspensión (%).

R_c = Lectura corregida del hidrómetro por Defloculante y temperatura, g/l.

a = Factor de corrección (1.02, para Gs: 2.57, **Ver ANEXO A2 Tabla No.**

3)

M_{sh} = Masa del espécimen seco corregido por humedad higroscópica (57.01 g).

Los porcentajes de suelo que permanecen en suspensión (referido a la muestra empleada para hidrometría) se presentan en la **Tabla No. 4.14**.

Tabla No. 4.14: Porcentajes de suelo en suspensión (referido a muestra de hidrometría).

Lectura corregida del Hidrómetro (R_c)	P (% en suspensión)
33.27	59.52
29.30	52.42
26.34	47.12
23.37	41.81
21.41	38.30
19.58	35.03
16.37	29.29

Fuente: Elaboración propia.

Además, se determinó el porcentaje de suelo que permanece en suspensión referido a la muestra total utilizando la ecuación:

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

Dónde:

P_p = Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel en que el Hidrómetro mide la densidad de la suspensión (%).

P = Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel en que el Hidrómetro mide la densidad de la suspensión (%).

Los porcentajes de suelo que permanecen en suspensión (referido a la muestra total) se presentan en la **Tabla 4.15**.

Tabla No. 4.15: Porcentajes de suelo que permanecen en suspensión referido a la muestra total.

<i>P</i> (% en suspensión referido a la muestra para Hidrometría)	% Pasa malla No 200	<i>P_p</i> (% en suspensión referido a la muestra total)
59.52	76.3	45.43
52.42		40.01
47.12		35.97
41.81		31.91
38.30		29.23
35.03		26.74
29.29		22.35

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se determinó la distancia de caída de las partículas o profundidad efectiva (*L*) seleccionando dicho valor de Tabla 5, anexo A2 de acuerdo a la lectura real del hidrómetro calculada. Teniendo como resultados los valores mostrados en la **Tabla 4.16**.

Tabla No. 4.16: Valores obtenidos de distancia de caída de partículas para el ensayo hidrométrico.

Lectura real del Hidrómetro (<i>R_r</i>)	Profundidad efectiva, <i>L</i> (cm)
40	9.7
36	10.4
33	10.9
30	11.4
28	11.7
26	12.0
23	12.5

Fuente: Elaboración propia.

Después se realizó determinó el diámetro de las partículas del suelo (D) utilizando la siguiente formula:

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

Dónde:

D = Diámetro de la partícula, mm

L = Distancia desde la superficie de la suspensión hasta el nivel en el que la densidad ha sido determinada (profundidad efectiva), cm.

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

K = Constante que depende de la temperatura de la suspensión y la Gravedad Específica de las partículas del suelo.

- Determinación de la constante K .

La constante K fue obtenida a partir de la interpolación de cada valor de temperatura registrado y la Gravedad Específica (**Ver ANEXO A2 - Tabla No. 4**) y cuyos resultados se muestran en la **Tabla No. 4.17**.

Tabla No. 4.17: Constantes K determinadas por interpolación de datos de temperatura registrada y gravedad específica de la muestra en ensayo.

Tiempo (min)	T (°C)	Gs	K
2	24.9	2.57	0.01321
5	25.0	2.57	0.01319
15	25.1	2.57	0.01318
30	25.2	2.57	0.01316
60	25.3	2.57	0.01315
250	25.8	2.57	0.01307
1440	25.2	2.57	0.01318

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos de la determinación de: la distancia de caída de partículas, L (**Tabla No. 4.16**) y la constante K, (**Tabla No. 4.17**), se calculó el diámetro de las partículas del suelo para cada intervalo de tiempo según ecuación definida previamente. Los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla No. 4.18**.

Tabla No. 4.18: Diámetros de las partículas del suelo según intervalo de tiempo del ensayo.

Tiempo	L (cm)	K	D (mm)
2	9.7	0.01321	0.029092007
5	10.4	0.01319	0.019022889
15	10.9	0.01318	0.011235257
30	11.4	0.01316	0.008112369
60	11.7	0.01315	0.005806883
250	12.0	0.01307	0.002863494
1440	12.5	0.01318	0.001227974

Fuente: Elaboración propia

- Cálculo de porcentaje que pasa y tamaño de las partículas de la fracción de suelo retenida en malla No. 200

Posteriormente, se realizó el cálculo de los porcentajes retenido, acumulado y que pasa en cada una de las mallas, del análisis de tamizado (referido a la muestra para Hidrometría), para ello se utilizaron las masas retenidas en cada una de ellas (**Ver Tabla No. 4.19**).

Tabla No. 4.19: Masa Retenida en cada malla utilizada en el proceso de tamizado del ensayo granulométrico

Malla	Masa Retenida (g)
No 10	0
No 16	1.8
No 30	2.8
No 50	2.6
No 100	2.5
No 200	2.3
Pasa No 200	0.1
Total	12.1

Fuente: Elaboración propia.

- Compensación de muestra de análisis:
 - Masa total del material que pasa la malla No 200 = 0.1 + 43.41 = 43.51g
(considerando lo que pasa por lavado y tamizado en malla No. 200)
 - Masa Total = 0 + 1.8 + 2.8 + 2.6 + 2.5 + 2.3 + 43.51 = 55.51g
 - Cantidad a compensar: 57.01 - 55.51 = 1.50g. (Sumado a malla No 16).
- Porcentaje retenido parcial.

Para el cálculo del porcentaje retenido parcial en cada malla se utilizó la ecuación:

$$\% \text{ retenido parcial} = \frac{\text{Masa Retenida Compensada en malla (g)}}{\text{Muestra Seca para Hidrometría (g)}} \times 100\%$$

Sustituyendo valores para malla # 200 se tiene:

$$\% \text{ retenido parcial} = \frac{2.3}{57.01} \times 100\% = 4.0\%$$

- Porcentaje retenido acumulado.

Se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ retenido acumulado} = \% \text{ ret. ac. (Malla anterior)} + \% \text{ ret. Parcial (malla actual)}$$

Sustituyendo valores para malla # 200 tenemos:

$$\% \text{ retenido acumulado} = 19.7 + 4.0 = 23.7\%$$

- Porcentaje que pasa.

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ pasa.} = 100\% - \% \text{ retenido acumulado}$$

Sustituyendo valores para malla # 200 tenemos:

$$\% \text{ pasa} = 100 - 23.7 = 76.3\%$$

Los resultados finales de este análisis se presentan en la **Tabla No. 4.20**.

Tabla No. 4.20: Análisis por tamizado de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Total que pasa malla No. 200 (g)	Masa Retenida (Compensada) (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
No 10	0	-	0	0.0	0.0	100.0
No 16	1.8	-	3.30	5.8	5.8	94.2
No 30	2.8	-	2.8	4.9	10.7	89.3
No 50	2.6	-	2.6	4.6	15.3	84.7
No 100	2.5	-	2.5	4.4	19.7	80.4
No 200	2.3	-	2.3	4.0	23.7	76.3
Pasa No 200	0.1	43.51	43.51	76.3	100.0	0.0
Total	12.1	-	57.01	100		

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se procedió a la construcción del gráfico del análisis granulométrico del suelo, utilizando los resultados obtenidos en las **Tablas No. 4.18 y 4.20 (Ver Figura No. 4.3)**.

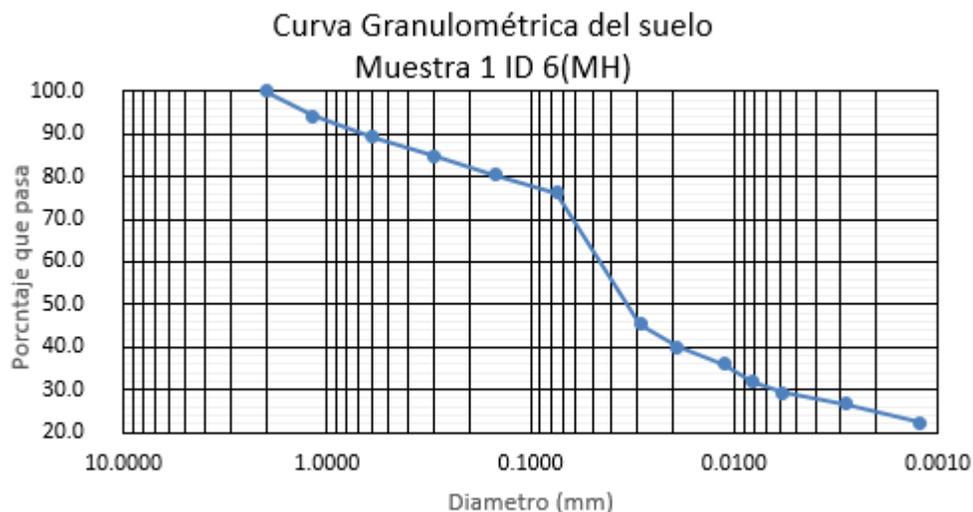


Figura No. 4.16: Curva Granulométrica de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 LÍMITE LÍQUIDO.

4.3.4.1 MÉTODO CASAGRANDE (ASTM D 4318 – 03).

Tabla No. 4.21: Datos Obtenidos en laboratorio para la determinación del límite líquido por el método Casagrande (ASTM D-4318) de muestra #1 de Limos de Alta Compresibilidad.

Datos Obtenidos			
Nº golpes	15	24	32
Masa Recipiente, g	21.1	16.44	22.4
Masa del espécimen húmedo + recipiente, g	33.25	28.44	34.06
Masa del espécimen Seco + recipiente, g	28.61	23.97	29.83
Contenido de Humedad % (ASTM D 2216 – 03)	61.78	59.36	56.93

Fuente: Elaboración propia.

Tomando los valores mostrados en **Tabla No. 4.21** se procedió a graficar el número de golpes (eje de la abscisas a escala logarítmica) contra los contenidos de Humedad en % (eje de las ordenadas a escala lineal). Posteriormente, se seleccionó la abscisa de 25 golpes y se determinó el Contenido de Humedad en

el eje de las ordenadas correspondiente al límite líquido, obteniendo un valor de 59% (Ver Figura No. 4.4).

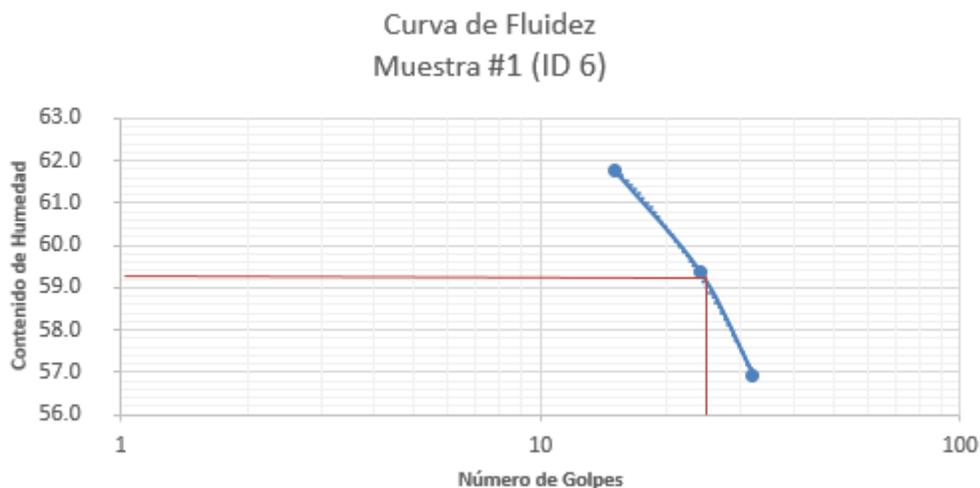


Figura No. 4.417: Curva de Fluidez para la determinación del Límite Líquido, método Casagrande correspondiente a la muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad (MH).

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4.2 MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN (BS 1377-2:1990).

Tabla No. 4.22: Datos obtenidos en laboratorio para la determinación del límite líquido por el método Cono de Penetración (BS 1377-2:1990) de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.

Lectura 1 (mm)	16.25	21.11	23.82
Lectura 2 (mm)	16.49	21.33	23.73
Diferencia (mm)	0.24	0.22	0.09
Lectura Promedio (mm)	16.37	21.22	23.78
Masa Recipiente (g)	17.95	10.68	10.79
Masa del espécimen húmedo + recipiente (g)	29.16	26.69	26.59
Masa del espécimen Seco + recipiente (g)	25.71	21.41	21.23
Contenido de Humedad (ASTM D 2216 – 03) (%)	44.46%	49.21%	51.34%

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos en laboratorio (**Tabla No. 4.22**) se graficó, a escala lineal, la penetración en mm (eje de abscisas) contra los contenidos de humedad en % (eje de ordenadas). Donde luego, se seleccionó la abscisa de 20 mm de deformación y se determinó su correspondiente contenido de Humedad en el eje

de las ordenadas, el cual corresponde al valor del límite líquido de la muestra, siendo para esta muestra: 48% (Ver Figura No. 4.5).

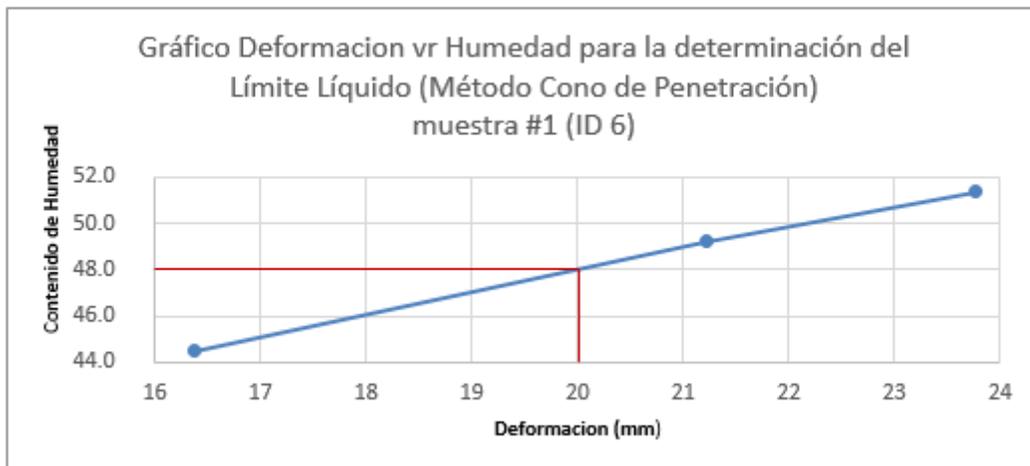


Figura No. 4.5: Gráfico deformación vs Contenido de Humedad para la determinación del Límite Líquido, método Cono de Penetración correspondiente a la muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.5 LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D 4318 – 03).

Tabla No. 4.23: Datos obtenidos en laboratorio para la determinación del límite plástico de muestra #1 (ID 6) de Limos de Alta Compresibilidad ASTM D 4318-03.

Masa Recipiente, g	30.43	31.32
Masa del espécimen húmedo + recipiente, g	37.01	38.13
Masa del espécimen Seco + recipiente, g	35.45	36.51

Fuente: Elaboración propia.

El Límite Plástico fue determinado como el promedio de dos contenidos de Humedad. Para ello, se utilizaron los valores obtenidos en laboratorio (ver **Tabla 4.23**), obteniendo para el caso, un límite plástico de 31% como se detalla a continuación:

$$\omega_1\% = \frac{37.01 - 35.45}{35.45 - 30.43} \times 100 = 31.08\%$$

$$\omega_2\% = \frac{38.13 - 36.51}{36.51 - 31.32} \times 100 = 31.21\%$$

$$\omega\% = \frac{31.08\% + 31.21\%}{2} = 31\%$$

4.3.6 ÍNDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D 4318 – 03).

Para el cálculo de Índice de Plasticidad se utilizó la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = Índice de plasticidad

LL = Límite líquido (**Figura No. 4.4**)

LP = Límite plástico (Ítem 4.3.5)

Sustituyendo valores de Límites de Consistencia se obtuvo:

$$IP = 59\% - 31\% = 28\%$$

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

5.1 INTRODUCCIÓN.

En la determinación de la correlación para la obtención del Límite Líquido entre los métodos de ensayo ASTM D 4318–03 y BS 1377-2:1990, se realizaron diferentes pruebas de laboratorio según la metodología planteada en el Capítulo IV. Se ha hecho un análisis a los resultados obtenidos, una vez terminada la obtención de las propiedades físicas de los suelos, tales como: Contenido de Humedad Natural, Gravedad Específica y Distribución del Tamaño de las Partículas. A continuación, se aborda el análisis de la propiedad de plasticidad obtenida a partir de los métodos descritos en las normas ASTM D 4318–03 y BS 1377-2:1990 respectivamente y en conclusión, clasificar las muestras por los métodos SUCS y AASTHO.

Además, se presenta el análisis estadístico de la propiedad de plasticidad para los dos tipos de suelo de interés, clasificados como Limos de Alta y Baja Compresibilidad con el objetivo de determinar el grado de afinidad entre los métodos de Casagrande y Cono de Penetración, y con ello establecer el grado de correlación entre éstos. Finalmente, se determina la regresión lineal por el método de mínimos cuadrados, estableciendo así, la ecuación de la correlación a utilizar. Los resultados presentados al final de este capítulo satisfacen el objetivo general de esta investigación.

5.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS MUESTRAS DE SUELOS DE TIPO LIMOS DE ALTA Y BAJA COMPRESIBILIDAD.

5.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216 – 03).

5.2.1.1 ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.

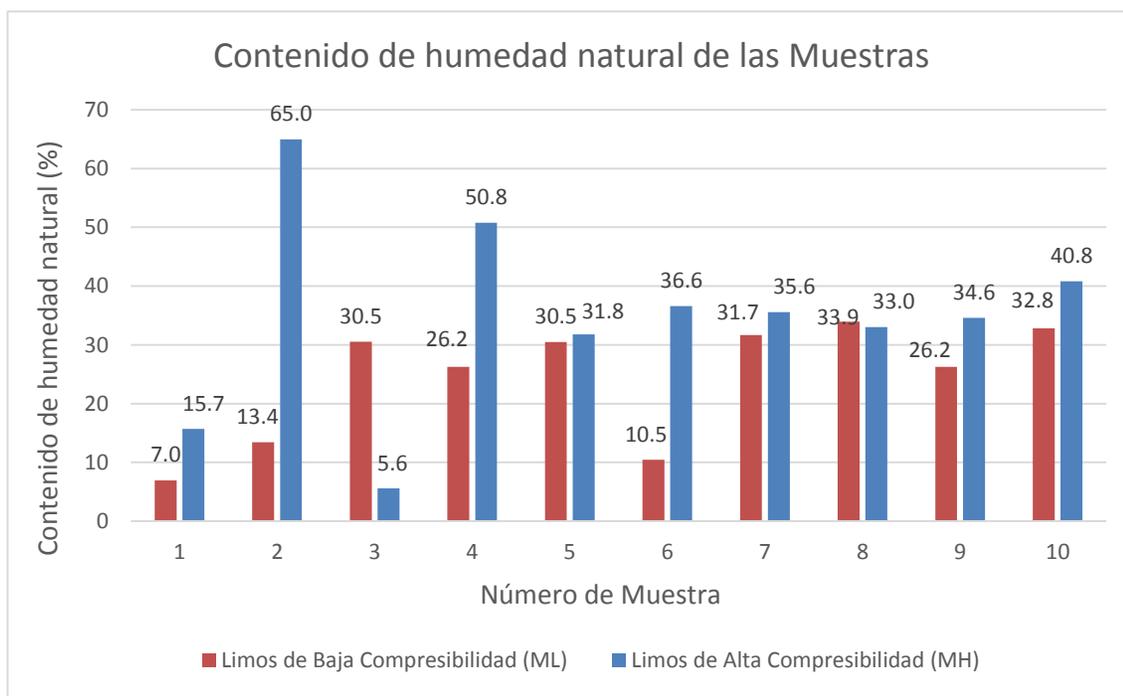


Figura No. 5.1: Gráfico de Contenido de humedad natural de las Muestras.
Fuente: Elaboración propia

Para las diez muestras correspondientes a Limos de Alta Compresibilidad, se determinó como valor promedio de contenido de humedad natural con base a la norma ASTM D 2216 - 03 un valor de 34.9%, teniendo una de ellas (ID #7) un valor máximo de 65% y otra muestra (ID #8) un valor mínimo de 5.6%. Por otra parte, para las diez muestras correspondientes a Limos de Baja Compresibilidad, el valor promedio fue de 24.3%, una de ellas (ID #27) con un valor máximo de 33.9% y la muestra (ID #9) un valor mínimo de 7.0%.

Se observa que en las muestras correspondientes a Limos de Alta Compresibilidad (MH), se obtuvieron resultados mayores en el contenido de humedad natural, esto se debe a que el porcentaje de finos (% que pasa la malla No 200) es mayor que en los Limos de Baja Compresibilidad (ML).

La variación entre los resultados en las muestras de Alta como de Baja Compresibilidad, se puede atribuir a la profundidad superficial en la que fueron obtenidas del estrato muestreado (0.5 a 5.0 metros) como también a la estación del año en que se realizó el muestreo (época lluviosa - Julio/Agosto).

5.2.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM D 854 – 03).

5.2.2.1 ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.

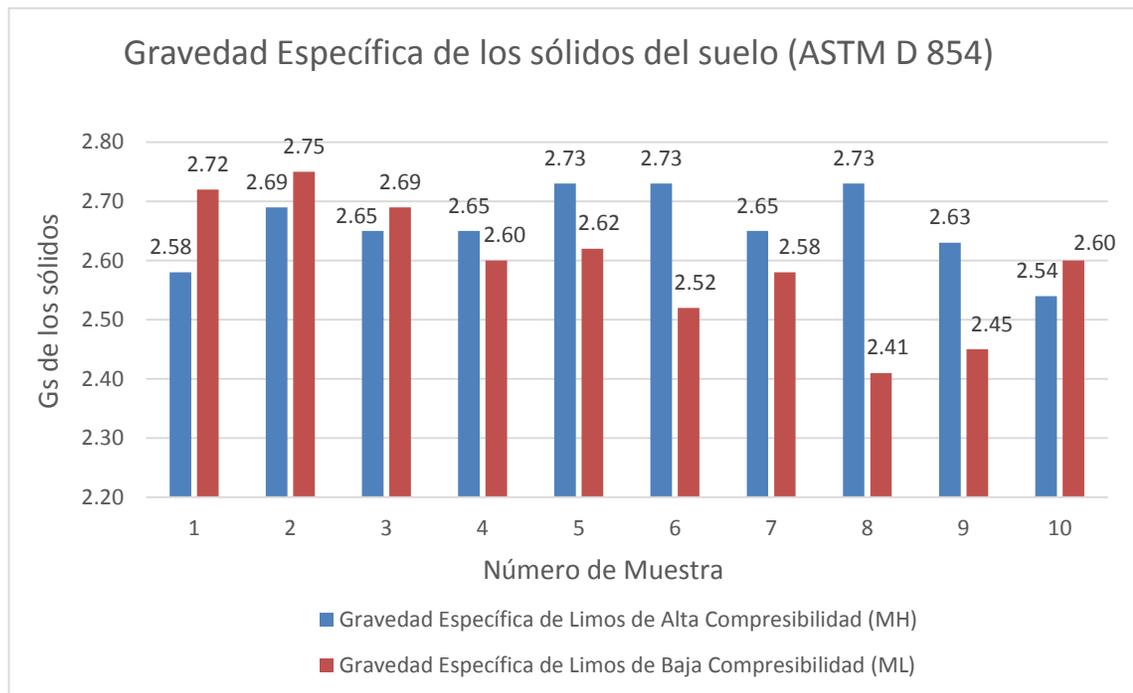


Figura No. 5.2: Gráfico de Gravedad Específica de los sólidos del suelo

Fuente: Elaboración propia

Para las diez muestras correspondientes a Limos de Alta Compresibilidad (MH), se obtuvo un valor promedio de Gravedad Específica con base a la norma ASTM D 854 - 03 de 2.65, teniendo un valor máximo de 2.73 para las muestras ID #13 y #20 y un valor mínimo de 2.54 en la muestra ID #38. Por otra parte, para las diez muestras correspondientes a Limos de Baja Compresibilidad (ML), el valor promedio fue de 2.59, teniendo una muestra (ID #11) con un valor máximo de 2.75 y una muestra (ID #27) con valor mínimo de 2.41.

Únicamente 4 de las muestras estudiadas y que representan el 20%, se encuentran dentro del rango de los valores de 2.67-2.72, que son datos característicos para suelos clasificados como Limos. Además, se tienen 12 muestras que reflejan el 60% con un valor de gravedad específica por debajo, lo cual se debe a que poseen un porcentaje de arena entre un rango del 10% al 20% según su granulometría y 4 muestras que son un 20% del total que se encuentran por encima del rango, con un porcentaje de arena entre el 40 al 50%.

5.2.3 DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS (ASTM D 422 – 03).

5.2.3.1 ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.

Según los datos obtenidos de las granulometrías correspondientes a las muestras, se observa que no contienen partículas del tamaño de grava, sólo arena de tamaño medio a fino.

Para Limos de Alta Compresibilidad se tiene que en los porcentajes de Arenas (Medias y Finas), el 70% de las muestras (ID 6, 7, 13, 26, 29, 32 y 38) poseen un

porcentaje cercano al 10% de la muestra total. En lo relacionado a las partículas de Limos las muestras mencionadas anteriormente (a excepción de la muestra ID 7, estas contienen porcentajes que rondan el 40% de las partículas del suelo. Finalmente, para las partículas de Arcilla se observa que el 4 de las muestras mencionadas anteriormente (ID 26, 29, 32 y 38) se encuentran constituidas con un porcentaje cercano al 40%. **Ver figura No. 5.3.**

Para Limos de Baja Compresibilidad en lo relacionado a partículas de tamaño de arena Media el 50% de las muestras (ID 11, 18, 21, 27, 31) poseen un contenido cercano al 10% de la muestra total. Para el caso de la arena fina el 80% de las muestras (ID 9, 11, 12, 18, 19, 21, 23, 28) poseen un contenido que oscila entre 15-30% de dicho tamaño de partícula. En cuanto a las partículas de finos el 50% de las muestras (ID 9, 11, 19, 27 y 31) se encuentran con un porcentaje cercano al 40% de contenido de Limos y el 50% de las muestras (ID 12, 18, 19, 21 y 23) contienen partículas de arcilla en el orden 10-20%. **Ver figura No. 5.4.**

En relación al Coeficiente de Uniformidad (Cu) y Coeficiente de Curvatura (Cc), estos no pudieron ser determinados en un 60% del total de las muestras (12/20), debido a que no es posible obtener los valores correspondientes a D_{10} y D_{30} dado que son suelos finos. Para el 40% restante de muestras se obtuvieron 4 muestras bien graduadas (ID 20, 19, 23 y 28) y los 4 restantes son suelos mal graduados.

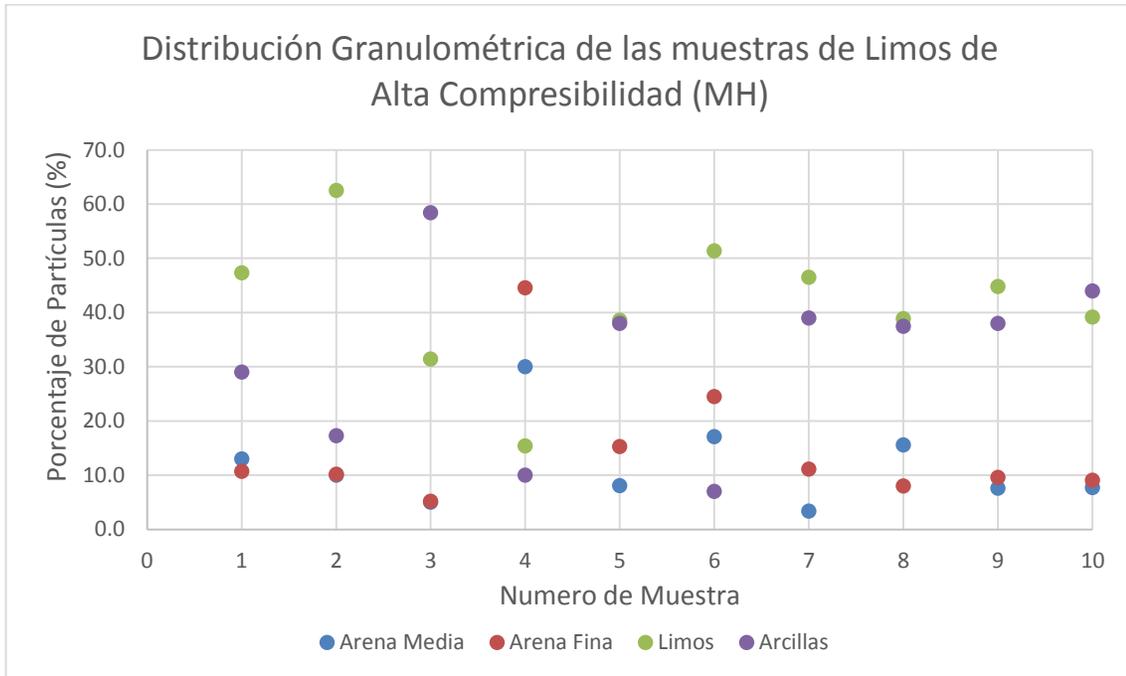


Figura No. 5.3: Gráfico de distribución granulométrica de las muestras de Limos de Alta Compresibilidad (MH)

Fuente: Elaboración Propia

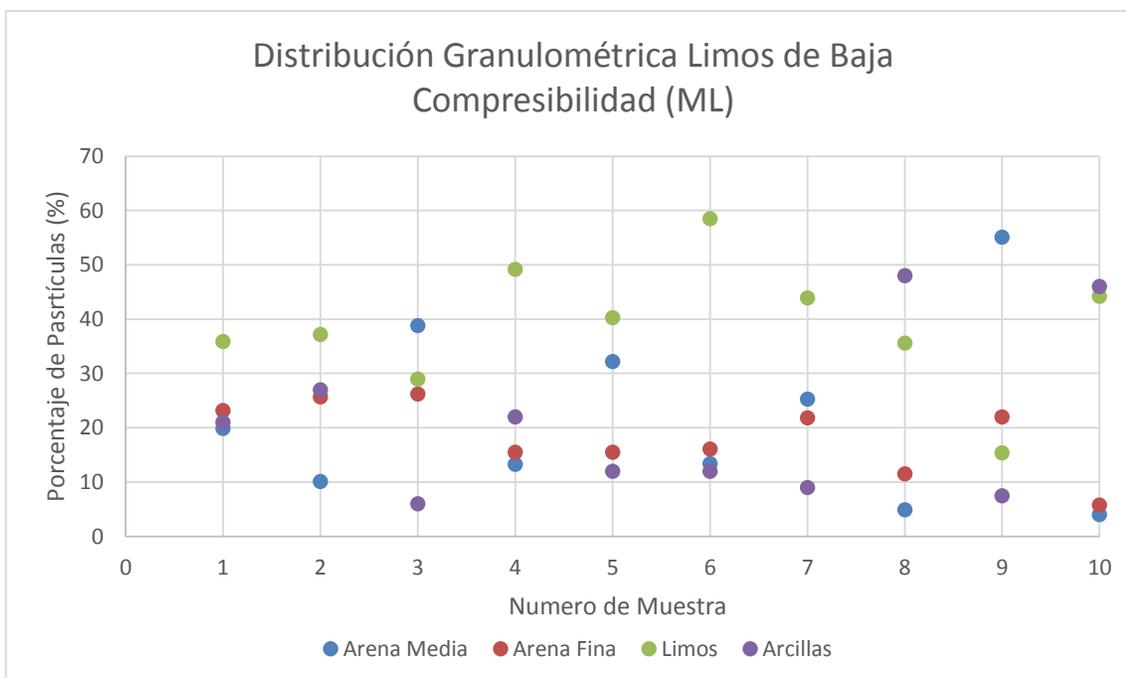


Figura No. 5.4: Distribución granulométrica de las muestras de Limos de Baja Compresibilidad (ML)

Fuente: Elaboración Propia

5.3 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS ENSAYADOS.

5.3.1 LÍMITE LÍQUIDO POR EL MÉTODO CASAGRANDE (ASTM D 4318–03).

5.3.1.1 ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.

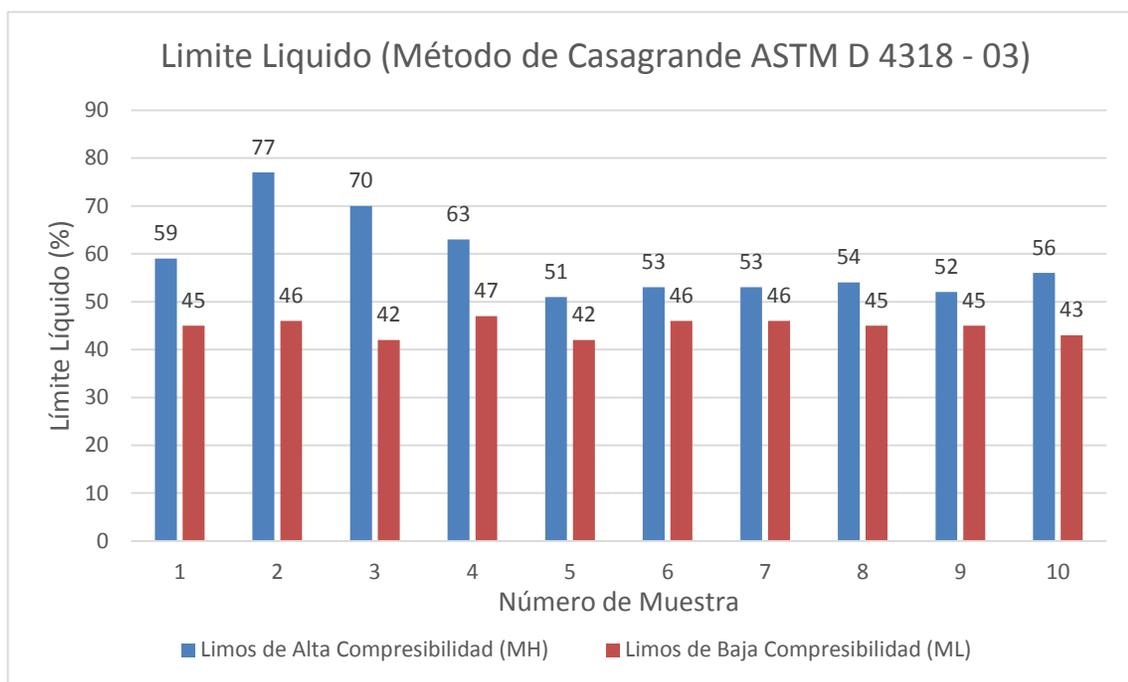


Figura No. 5.5: Gráfico de Resultados del Límite Líquido (ASTM D4318-03)

Fuente: Elaboración Propia

Para los resultados obtenidos de Límite Líquido por el Método de Casagrande en muestras de Limos de Alta Compresibilidad (MH), se tiene un valor promedio del 59%, obteniendo una muestra (ID #7) con un valor máximo de 77% y una muestra (ID #13) con un valor mínimo de 51%. Por otra parte, para los resultados obtenido de Límite Líquido, en muestras de Limos de Baja Compresibilidad (ML), se tiene un valor promedio de 45%, una muestra (ID #18) con valor máximo del 47% y dos muestras (ID #12 y #19) con un valor mínimo del 42%.

Para las muestras estudiadas se tiene que las correspondientes a Limos de Baja Compresibilidad (ML), presentan valores menores de Límite Líquido en todas las variables estadísticas analizadas. Además, se observa que para Limos de Alta Compresibilidad (MH), la mayor parte de los resultados se encuentran en el rango 50 - 60%, esto se debe a que poseen una mayor cantidad de partículas finas plásticas (Arcillas), respecto a los Limos de Baja Compresibilidad (ML); los cuales, presentan un Límite Líquido en el rango de 40 - 49%.

5.3.1.2 LÍMITE LÍQUIDO POR EL MÉTODO DE CONO DE PENETRACIÓN (BS 1377-2:1990).

ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.

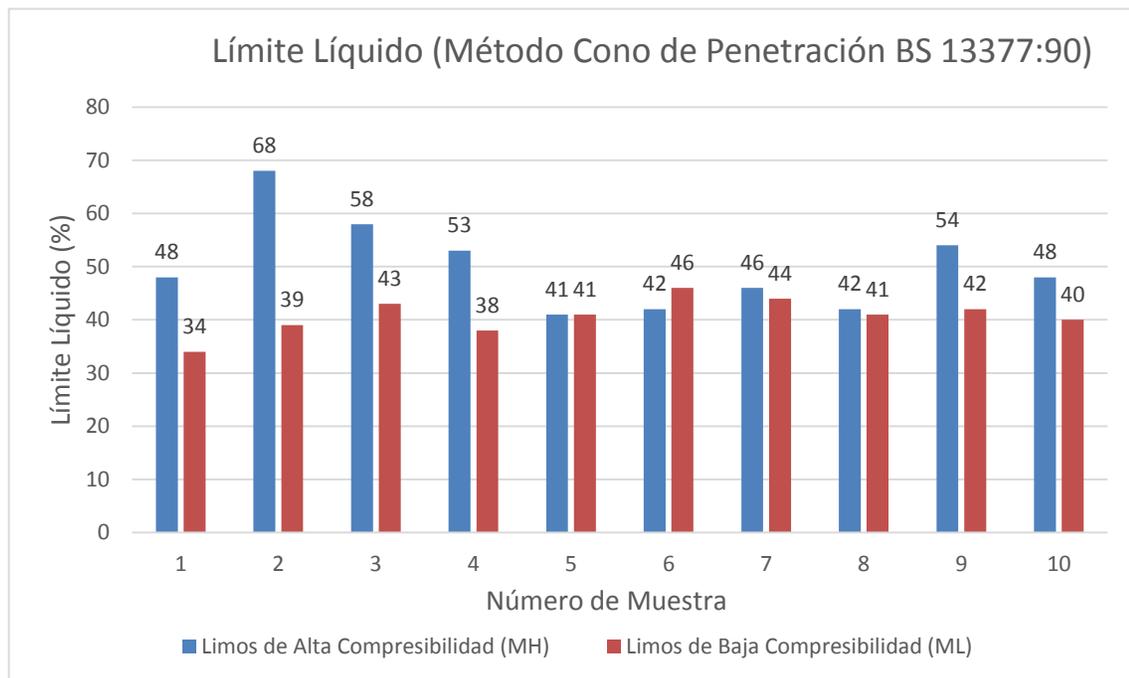


Figura No. 5.6: Gráfico de Resultados de Límite Líquido (BS 13377:90)

Fuente: Elaboración Propia

Para los resultados obtenidos de Límite Líquido por el método del Cono de Penetración de las muestras de Limos de Alta Compresibilidad (MH), se tiene un valor promedio del 50%, una muestra (ID #7) con valor máximo de 68% y una muestra (ID #13) con valor mínimo del 41%; además, se observa que el 60% de las muestras poseen un valor de Límite Líquido dentro del rango de 40% al 50%. Por otra parte, en los resultados obtenidos de Límite Líquido por el método del Cono de Penetración de muestras de Limos de Baja Compresibilidad (ML), se tiene un valor promedio del 41% un valor máximo de una muestra (ID #21) del 46% y un valor mínimo de 34% para la muestra ID #9; además, se observa que el 70% de las muestras poseen un valor de Límite Líquido dentro del rango de 40 - 49%.

Para las muestras estudiadas se tiene que las correspondientes a Limos de Baja Compresibilidad, presentan valores menores de Límite Líquido en todas las variables estadísticas analizadas. Además, se observa que para la mayor parte de los resultados en ambos suelos (Limos de Alta y Baja Compresibilidad), éstos se encuentran dentro del rango del 40% al - 50%.

DIFERENCIAS ENTRE LOS MÉTODOS CONO DE PENETRACIÓN Y CASAGRANDE.

En la **Tabla No. 5.1**, se describe algunas de las principales diferencias entre ambos métodos de ensayo, utilizados para la determinación del límite líquido de las muestras.

Tabla No. 5.1: Diferencias entre Método de Casagrande y Cono de Penetración.

Variable del ensayo	Método de Casagrande	Método Cono de Penetración
Tamiz nominal usado en preparación de muestra.	Tamiz No 40 (425 μ m)	Tamiz No 40 (425 μ m)
Cantidad de muestra necesaria para ensayo.	150 - 200 g después de tamizado	500 g después de tamizado
Verificación de equipo	Deberá inspeccionarse el desgaste del equipo y la altura de caída de la copa	Deberá inspeccionarse la horizontalidad de mediante el nivel de burbuja
Preparación de la muestra	Se mezcla la muestra hasta obtener una consistencia que permita cerrar la ranura con 25 o 35 golpes	Se mezcla la muestra de tal manera que la primera lectura sea cerca de 15 mm
Tiempo de reposo	Al menos 16 horas	24 horas
Información a determinar por ensayo	Número de golpes (N) / Contenido de humedad (%)	Profundidad de penetración (mm) / Contenido de humedad (%)
Número mínimo de ensayos por muestra	3 ensayos	3 ensayos
Incidencia del operario	Alta	Leve
Determinación del valor del límite líquido.	Será el contenido de humedad donde el número de golpes cuya abscisa sea 25 y cruce con la línea trazada	Será el contenido de humedad donde en la línea trazada el punto cuya ordenada sea 20 mm
Ventajas	La ejecución del ensayo es relativamente sencilla, debido a la pequeña cantidad de muestra con la que se trabaja.	La influencia del operador es poca o nula en los resultados
Desventajas	Influye en gran manera la experiencia del operador.	El tiempo que conlleva realizar un ensayo, es bastante prolongado debido a la enorme cantidad de muestra a utilizar.

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D 4318 – 03).

5.3.2.1 ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.

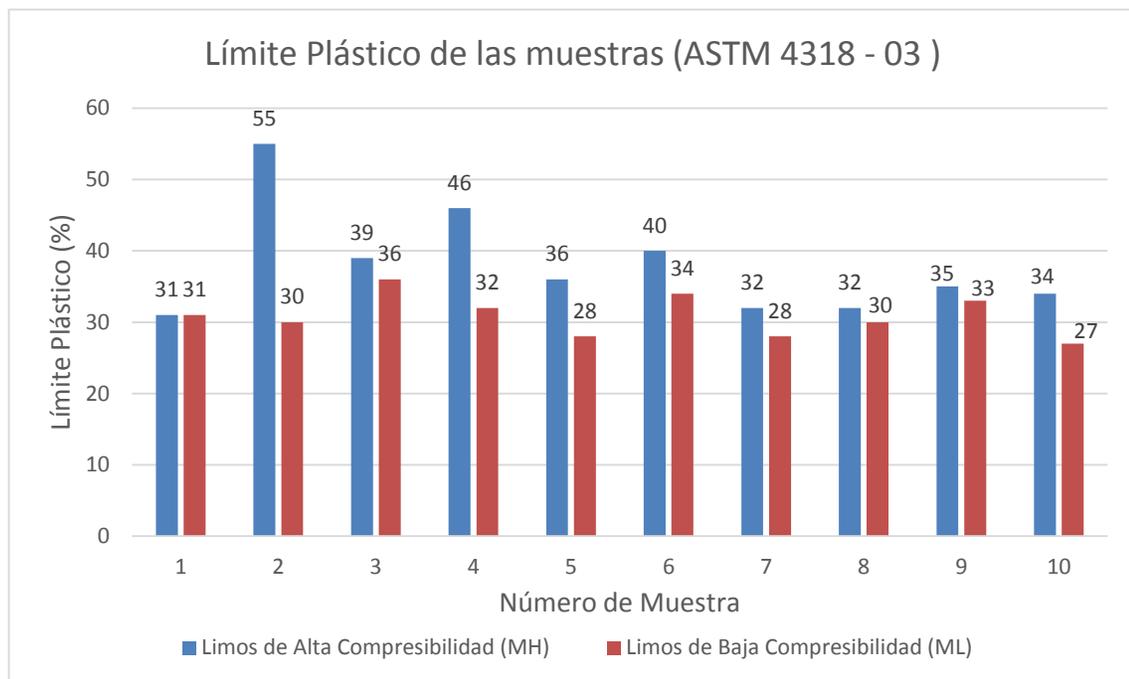


Figura No. 5.7: Gráfico de Resultados de Límite Plástico (ASTM D4318-03)

Fuente: Elaboración Propia

Para los resultados obtenidos del Límite Plástico, en muestras de Limos de Alta Compresibilidad (MH), se tiene un valor promedio del 38%, una muestra con un valor máximo de 55% y una muestra (ID #6) con valor mínimo del 31%; además, se observa que el 70% de las muestras poseen un valor de Límite Plástico dentro del rango de 30% al 40%. Por otra parte, para los resultados obtenido de Límite Plástico, en muestras de Limos de Baja Compresibilidad (ML), se obtuvo un valor promedio del 31%, una muestra (ID #12) con un valor máximo de 36% y una muestra (ID #31) con un valor mínimo del 27%.

Comparando las muestras estudiadas, se tiene que las correspondientes a Limos de Baja Plasticidad presentan valores menores de Límite Plástico en todas las variables estadísticas analizadas.

5.3.3 ÍNDICE DE PLASTICIDAD MÉTODO CASAGRANDE (ASTM D4318-03).

5.3.3.1 ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.

Para los resultados obtenidos del Índice de Plasticidad en muestras de Limos de Alta Compresibilidad (MH), se tiene un valor promedio del 21%, una muestra (ID #8) con un valor máximo de 31% y una muestra (ID #20) con valor mínimo del 13%; además, se observa que el 90% de las muestras ensayadas poseen un Índice de Plasticidad dentro del rango del 10% al 30%. Por otro lado, en los resultados obtenidos del Índice de Plasticidad en muestras de Limos de Baja Compresibilidad (ML), se obtuvo un valor promedio del 14%, una muestra (ID #23) con valor máximo del 18% y una muestra (ID #12) con un valor mínimo del 6%; además, se observa que el 90% de las muestras poseen un valor de Índice de Plasticidad dentro del rango del 10% al 20%.

5.4 ANÁLISIS DE LA CLASIFICACIÓN OBTENIDA DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS.

5.4.1 CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO SUCS.

A continuación, se muestra de manera resumida la clasificación obtenida por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para el total de las muestras analizadas:

Tabla No. 5.2: Clasificación SUCS de Muestras de Alta Compresibilidad.

Muestra	% Pasa No 200	Límite Líquido	Índice de Plasticidad	% Pasa No 4 y Retenido No 200	Clasificación SUCS	
					Símbolo de Grupo	Nombre de Grupo
1	76.3	59%	28%	23.7	(MH)	Limo Elástico con Arena
2	79.8	77%	22%	20.2	(MH)	Limo Elástico con Arena
3	89.8	70%	31%	10.2	(MH)	Limo Elástico
4	25.4	63%	17%	74.6	(SM)	Arena Limosa
5	76.6	51%	15%	23.4	(MH)	Limo Elástico con Arena
6	58.4	53%	13%	41.6	(MH)	Limo Elástico Arenoso
7	85.5	53%	21%	14.5	(MH)	Limo Elástico
8	76.4	54%	22%	23.6	(MH)	Limo Elástico con Arena
9	82.8	52%	17%	17.2	(MH)	Limo Elástico con Arena
10	83.2	56%	22%	16.8	(MH)	Limo Elástico con Arena

Fuente: Elaboración propia.

Tabla No. 5.3: Clasificación SUCS de Muestras de Baja Compresibilidad.

Muestra	% Pasa No 200	Límite Líquido	Índice de Plasticidad	% Pasa No 4 y Retenido No 200	Clasificación SUCS	
					Símbolo de Grupo	Nombre de Grupo
1	56.9	45%	14%	43.1	(ML)	Limo Arenoso
2	64.2	46%	16%	35.8	(ML)	Limo Arenoso
3	35.0	42%	6%	65.0	(SM)	Arena Limosa
4	71.2	47%	15%	28.8	(ML)	Limo con Arena
5	52.3	42%	15%	47.7	(ML)	Limo Arenoso
6	70.5	46%	12%	29.5	(ML)	Limo con Arena
7	52.9	46%	18%	47.1	(ML)	Limo Arenoso
8	83.6	45%	15%	16.4	(ML)	Limo con Arena
9	22.9	45%	13%	77.1	(ML)	Limo Arenoso
10	90.2	43%	16%	9.8	(ML)	Limo

Fuente: Elaboración propia.

Descripción de resultados: Para ambos casos (Limos de Baja y Alta Compresibilidad) se observa que aproximadamente un 80% de las muestras contienen arena en un porcentaje suficiente para ser considerado en el nombre de la clasificación de la muestra. Además, según datos de granulometría se observa que el 100% de las muestras analizadas no poseen gravas. (**Ver Tablas No. 5.2 y 5.3**).

5.4.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO AASHTO.

A continuación, se muestra de manera resumida la clasificación obtenida según la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO).

Tabla No. 5.4: Clasificación AASHTO de Muestras de Alta Compresibilidad (MH).

Muestra	% Pasa No 200	Límite Líquido	Índice de Plasticidad	Índice de Grupo	Clasificación AASHTO	Tipo de Material Característico
1	76.3	59	28	23	A-7-5 (23)	Suelos Arcillosos
2	79.8	77	22	25	A-7-5 (25)	Suelos Arcillosos
3	89.8	70	31	34	A-7-5 (34)	Suelos Arcillosos
4	25.4	63	17	0	A-2-7 (0)	Grava y Arena Limoarcillosas
5	76.6	51	15	13	A-7-5 (13)	Suelos Arcillosos
6	58.4	53	13	7	A-7-5 (7)	Suelos Arcillosos
7	85.5	53	21	21	A-7-5 (21)	Suelos Arcillosos
8	76.4	54	22	19	A-7-5 (19)	Suelos Arcillosos
9	82.8	52	17	17	A-7-5 (17)	Suelos Arcillosos
10	83.2	56	22	22	A-7-5 (22)	Suelos Arcillosos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla No. 5.5: Clasificación AASHTO de Muestras de Baja Compresibilidad (ML).

Muestra	% Pasa Malla No 200	Límite Líquido	Índice de Plasticidad	Índice de Grupo	Clasificación AASHTO	Tipo de Material Característico
1	57	45	14	7	A-7-5 (7)	Suelos Arcillosos
2	64	46	16	9	A-7-5 (9)	Suelos Arcillosos
3	35	42	6	0	A-2-5 (0)	Grava y Arena Limoarcillosas
4	71	47	15	11	A-7-5 (11)	Suelos Arcillosos
5	52	42	15	5	A-7-6 (5)	Suelos Arcillosos
6	71	46	12	9	A-7-5 (9)	Suelos Arcillosos
7	53	46	18	7	A-7-6 (7)	Suelos Arcillosos
8	84	45	15	15	A-7-6 (15)	Suelos Arcillosos
9	23	45	13	0	A-7-5 (0)	Suelos Arcillosos
10	90	43	16	16	A-7-6 (16)	Suelos Arcillosos

Fuente: Elaboración propia.

Descripción de resultados: Para ambos casos (Limos de Baja y Alta Compresibilidad) se observa que la mayoría de las muestras se encuentran entre los grupos A-7: A-7-5 y A-7-6 lo cual demuestra que se trata de suelos plásticos, que pueden ser susceptibles a cambios de volumen muy importantes. (Ver Tablas No. 5.4 y 5.5)

5.5 DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO ENTRE LOS MÉTODOS DE CASAGRANDE Y CONO DE PENETRACIÓN.

A continuación, se presentan gráficos comparativos de los resultados obtenidos de Límite Líquido por ambos métodos en cada una de las muestras.

5.5.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS E INTERPRETACIÓN EN SUELOS DE ALTA COMPRESIBILIDAD (MH).

Tabla No. 5.6: Diferencia en los resultados obtenidos de Límite Líquido por los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración en Limos de Alta Compresibilidad (MH).

Muestra	Límite Líquido Casagrande	Límite Líquido Cono de Penetración	Diferencia	% Variación
1	59	48	11	18.64
2	77	68	9	14.29
3	70	58	12	16.55
4	63	53	10	15.74
5	51	41	10	19.61
6	53	42	11	20.75
7	53	46	7	13.21
8	54	42	12	22.22
9	52	54	-2	3.70
10	56	48	8	14.29

Fuente: Elaboración propia.

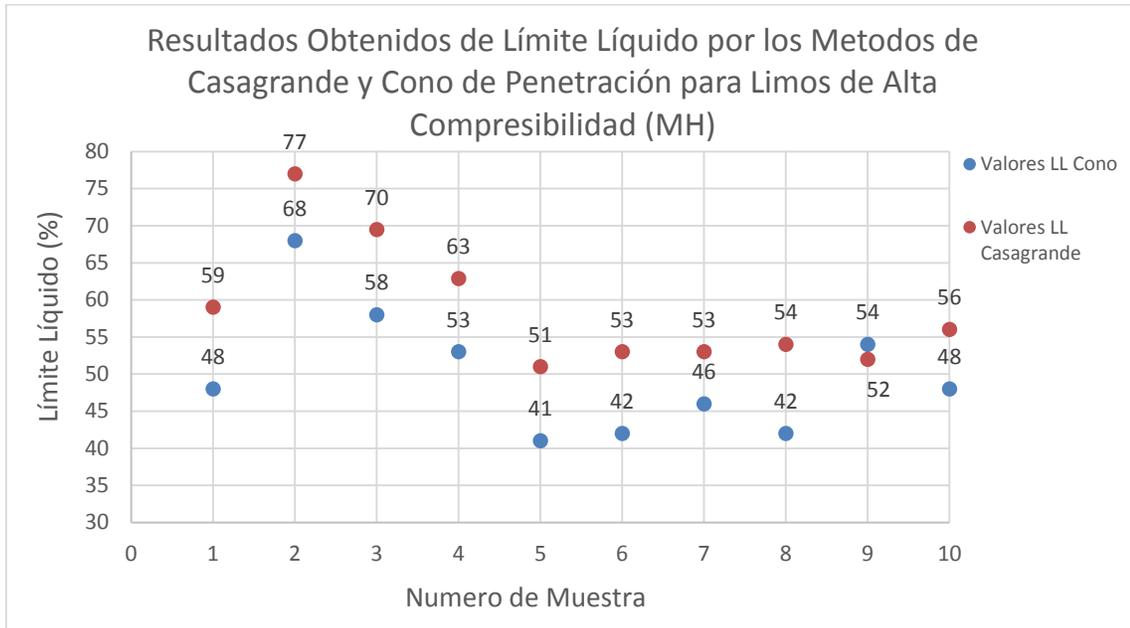


Figura No. 5.8: Resultados Obtenidos de Límite Líquido en Limos de Alta Compresibilidad (MH).

Fuente: Elaboración propia.

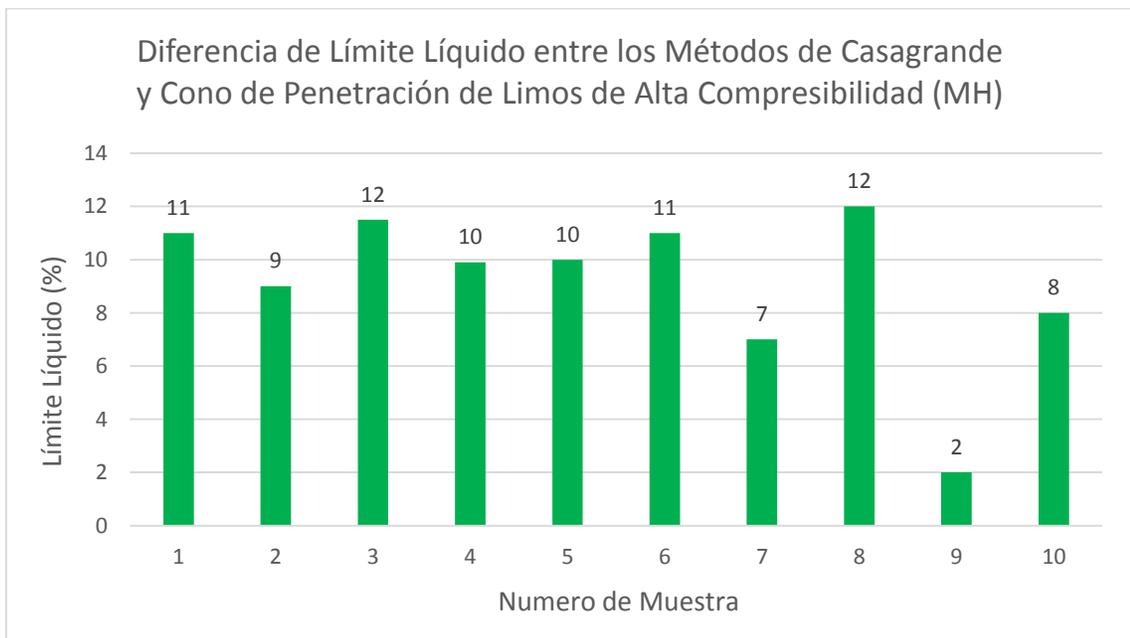


Figura No. 5.9: Gráfico de Diferencia de Límite Líquido entre los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración de Limos de Alta Compresibilidad (MH).

Fuente: Elaboración propia.

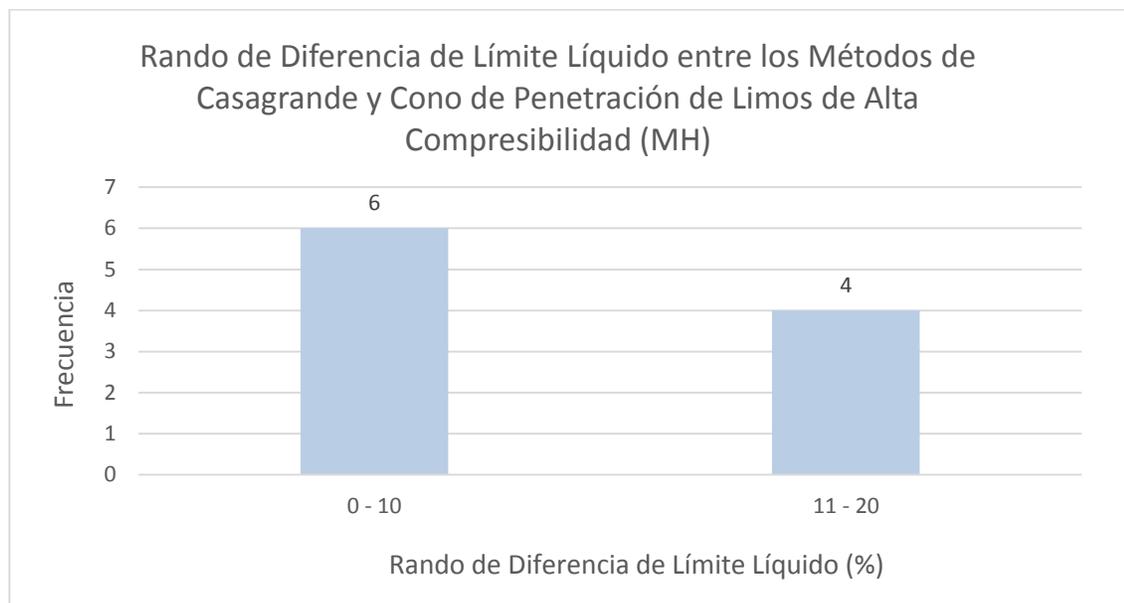


Figura No. 5.10: Rango de Diferencia de Límite Líquido entre los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración de Limos de Alta Compresibilidad (MH).

Fuente: Elaboración propia.

Descripción de resultados: Para las muestras correspondientes a Limos de Alta Compresibilidad (MH) se observa que los resultados obtenidos de Límite Líquido varían entre los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración en promedio un 9%, teniendo una máxima diferencia de un 12% (Muestra #3 y #8) y una menor diferencia correspondiente al 2% (Muestra #9). Además, un 40% de las muestras poseen una diferencia de valor de Límite Líquido en el rango 10-20%. (Ver Figuras No. 5.8, 5.9 y 5.10).

Tabla No. 5.7: Criterios de correlación lineal.

Inexistente si	$ \rho_{XY} = 0$
Débil si	$0 < \rho_{XY} \leq 0.5$
Moderada si	$0.5 < \rho_{XY} < 0.8$
Fuerte si	$0.8 \leq \rho_{XY} $

Fuente: Salazar, C. y Castillo, S. (2018). *Fundamentos Básicos de Estadística*. (p.195). Primera Edición.

Utilizando el coeficiente de correlación de Pearson (**Ver Tabla No. 5.7**) como parámetro para determinar la afinidad existente entre los resultados obtenidos por ambos métodos se obtiene un valor de 88% lo cual indica un grado de correlación fuerte. (**Ver Tabla No. 5.8**).

Tabla No. 5.8: Coeficientes Estadísticos obtenidos de la Correlación.

Correlación	Límite Líquido Cono de Penetración.	Límite Líquido Casagrande
Límite Líquido Cono de Penetración	1	
Límite Líquido Casagrande	88.57%	1

Fuente: Elaboración propia.

5.5.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS E INTERPRETACIÓN EN SUELOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD (ML).

Tabla No. 5.9: Diferencia en los resultados obtenidos de Límite Líquido por los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración en Limos de Baja Compresibilidad (MH).

Muestra	Límite Líquido Casagrande	Límite Líquido Cono de Penetración	Diferencia	% Variación
1	45	34	11	24.68
2	46	39	7	14.66
3	42	43	-1	1.86
4	47	38	9	19.15
5	42	41	1	2.84
6	46	46	0	0.00
7	46	44	2	4.35
8	45	41	4	8.89
9	45	42	3	6.96
10	43	40	3	6.98

Fuente: Elaboración propia.

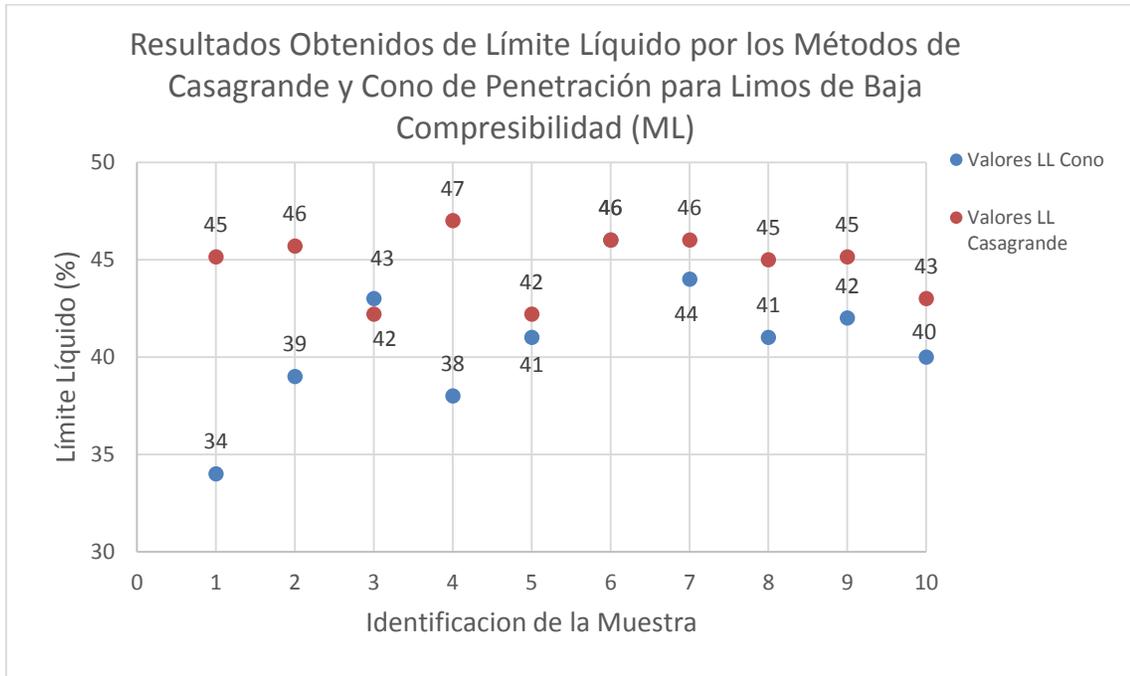


Figura No. 5.11: Resultados Obtenidos de Límite Líquido en Limos de Baja Compresibilidad (ML).

Fuente: Elaboración propia.

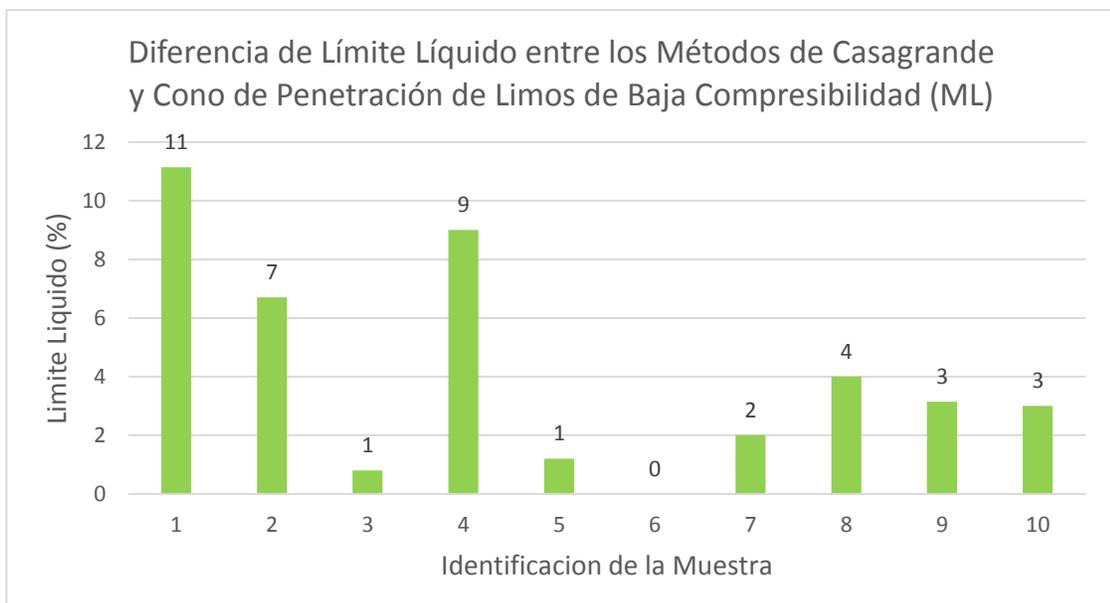


Figura No. 5.12: Gráfico Diferencia de Límite Líquido entre los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración de Limos de Baja Compresibilidad (ML).

Fuente: Elaboración propia.

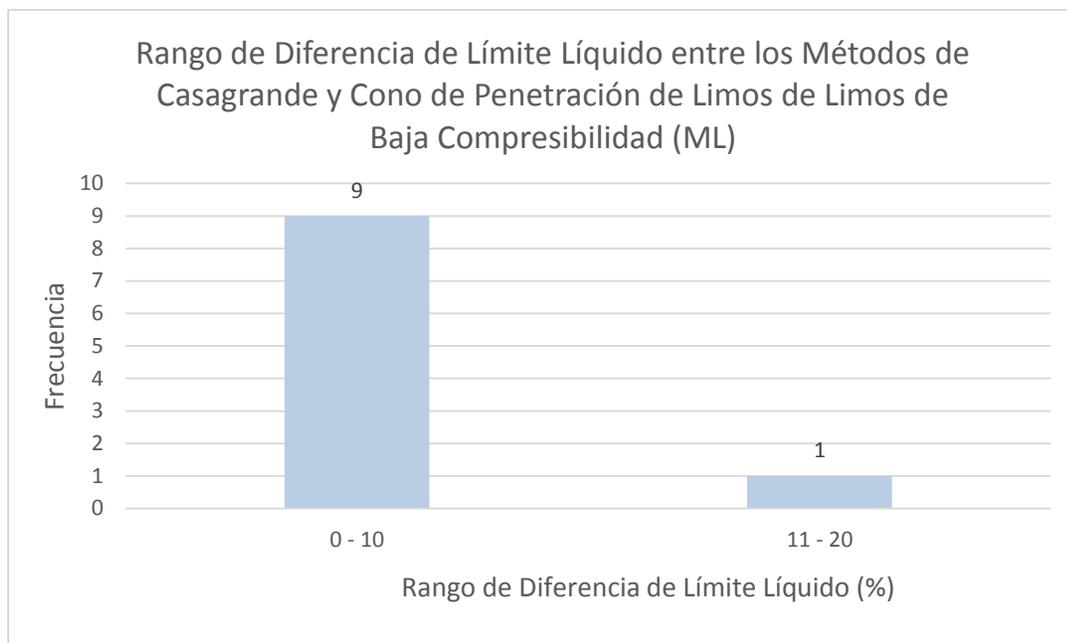


Figura No. 5.13: Rango de Diferencia de Límite Líquido entre los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración de Limos de Baja Compresibilidad (ML).

Fuente: Elaboración propia

Descripción de resultados: Para las muestras correspondientes a Limos de Baja Compresibilidad (ML), se observa que los resultados obtenidos de Límite Líquido varían entre los Métodos de Casagrande y Cono de Penetración en promedio un 4%, teniendo una máxima diferencia de 11% (Muestra #1) y una menor diferencia correspondiente a 1% (Muestra #3 y #6). Además, un 90% de las muestras poseen una diferencia de valor de Límite Líquido en el rango 0-10%. **(Ver Figuras No. 5.11, 5.12 y 5.13).**

Utilizando el coeficiente de correlación de Pearson **(Ver Tabla No. 5.7)** como parámetro para determinar la afinidad existente entre los resultados obtenidos

por ambos métodos se obtiene un valor de 8%, lo cual indica un grado de correlación débil. (**Ver Tabla No. 5.10**).

Tabla No. 5.10: Coeficientes Estadísticos obtenidos de la Correlación.

Correlación	Límite Líquido Cono de Penetración.	Límite Líquido Casagrande
Límite Líquido Cono de Penetración	1	
Límite Líquido Casagrande	8.57%	1

Fuente: Elaboración propia

5.5.3 RESUMEN DE COEFICIENTES CORRELACIÓN DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS.

Tomando en cuenta los valores obtenidos por ambos métodos en la determinación del Límite Líquido y el coeficiente de Pearson determinado para cada tipo de muestras analizadas (Limos de Baja y Alta Compresibilidad) se determina que únicamente se establecerá la ecuación de correlación de las muestras correspondientes a Limos de Alta Compresibilidad (MH) debido a que las muestras de Limos de Baja Compresibilidad (ML) poseen un coeficiente de correlación demasiado bajo (grado de correlación débil).

5.5.4 DETERMINACIÓN DE ECUACIÓN DE CORRELACIÓN PARA LIMOS DE ALTA COMPRESIBILIDAD (MH).

A continuación, se presenta la ecuación de correlación obtenida utilizando el método de mínimos cuadrados, con el cual se determina la ecuación de la recta que define la tendencia lineal de los datos. (Ver Figura No. 5.14).

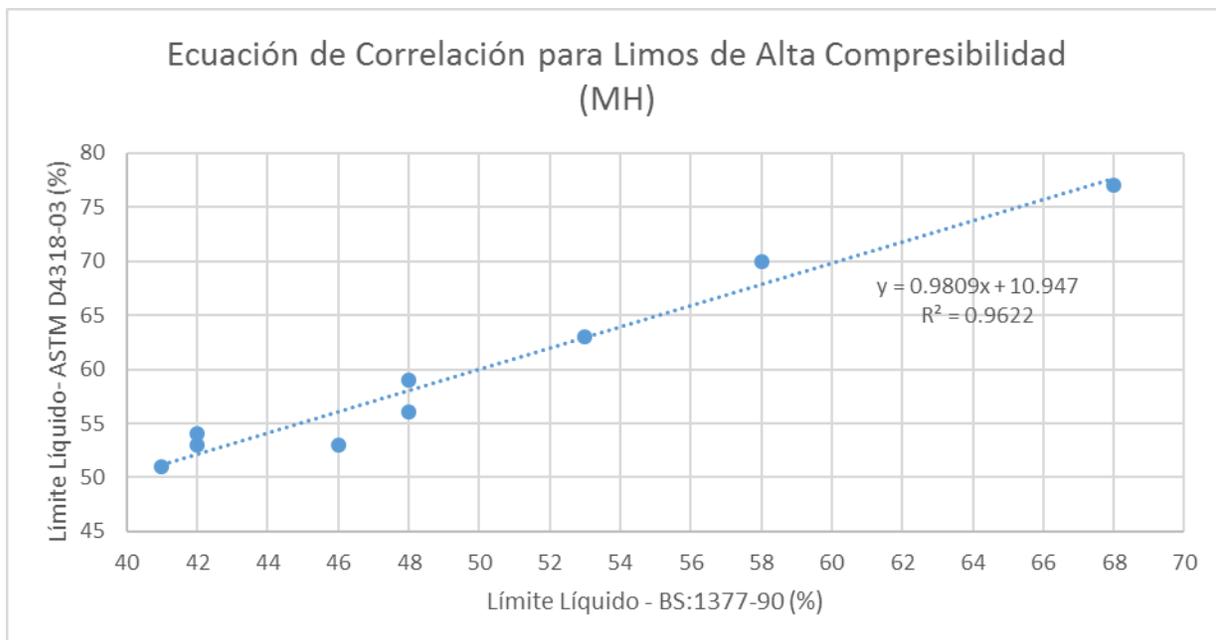


Figura No. 5.14: Recta de Ajuste para el total de Muestras de Limos de Alta Compresibilidad.

Fuente: Elaboración propia

Nota: De las 10 muestras utilizadas de Limos de Alta Compresibilidad (MH) para la determinación de la ecuación de correlación, se descartó la muestra #9 (ID 28) debido a que se encontraba fuera de la tendencia de las muestras restante

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 INTRODUCCIÓN.

Después de haber llevado a cabo el proceso de investigación y de haber realizado el análisis respectivo de los resultados obtenidos, para concluir, se procede a continuación a presentar las conclusiones del estudio y posteriormente las recomendaciones propuestas que se hacen a las futuras investigaciones que deseen profundizar en este tema.

6.2 CONCLUSIONES.

- De un total de 31 muestras obtenidas, el 75% de ellas refirieron un alto índice de Plasticidad, por lo que no siendo nuestro objetivo inicial el estudiar suelos con dicha propiedad, se decidió evaluar suelos con base a su compresibilidad, dando como resultado, suelos Limosos de Baja y Alta Compresibilidad.
- Para Limos de Alta Compresibilidad, se obtuvo un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0.88. Lo cual, indica un grado de correlación fuerte entre ambos métodos.
- Para Limos de Baja Compresibilidad, se obtuvo un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0.08. Indicando un grado de correlación débil entre los métodos. Debido a este valor, es imposible establecer una Correlación con resultados confiables.

- Para Limos de Alta Compresibilidad, se obtuvo por método de mínimos cuadrados, la ecuación de correlación $Y=0.9809X+10.947$ con un Coeficiente de Confiabilidad (R^2) de 0.96. Logrando correlacionar los resultados obtenidos entre los métodos de Cono de Penetración (BS 1377:90) y Casagrande (ASTM D4318-03).
- En el método Cono de Penetración (BS 1377:1990) para Limos de Alta Compresibilidad (MH) el 60% de las muestras poseen un valor de Límite Líquido dentro del rango de 40% al 50%. En cuanto a Limos de Baja Compresibilidad (ML) el 70% de muestras indica un valor de Límite Líquido dentro del rango de 40 - 49%.
- Para las muestras correspondientes a Limos de Baja Compresibilidad (ML), se observa que las diferencias de los resultados obtenidos del Límite Líquido entre los métodos de Cono de Penetración (BS 1377:90) y Casagrande (ASTM D4318-03), varían en promedio un 4%, con una máxima diferencia del 11% en una de las muestras (ID 9) y una menor diferencia correspondiente al 1% para dos de las muestras (ID 12 y 21).
- Para los Limos de Alta Compresibilidad (MH) se observó una diferencia en los resultados obtenidos de Límite Líquido entre los métodos de Cono de Penetración (BS 1377:90) y Casagrande (ASTM D4318-03), que varía en promedio un 9%, con un mínimo de diferencia entre ambos métodos del 2% en una muestra (ID 32).

- Para las muestras analizadas correspondientes a Limos de Baja Compresibilidad (ML), únicamente se cuenta con una muestra cuyo valor de gravedad específica está dentro del rango de valores característicos para limos (2.67-2.72).
- Para las muestras correspondientes a Limos de Alta Compresibilidad (MH), se cuenta con 3 valores de gravedad específica dentro del rango de valores característicos para limos (2.67-2.72).
- Las variaciones generadas en los resultados de Gravedad Específica de las muestras, dependen del porcentaje de partículas de arena presentes en la muestra.
- A partir de los ensayos de granulometría realizados a las muestras seleccionadas y en base a la comparación de datos obtenidos del total de muestras, se ha observado que los suelos de Baja Compresibilidad (ML) contienen, en general, un porcentaje mayor de arena (1.9 – 6.1), en relación a suelos de Alta Compresibilidad (MH).
- Los suelos de Alta Compresibilidad (MH), poseen un mayor contenido de Limos y Arcillas (2.1 – 6.1), en relación a los Limos de Baja Compresibilidad. Lo cual, es un indicador de que poseen mayores contenidos de humedad natural y valores de los límites de consistencia.
- Para las muestras de Limos de Alta Compresibilidad (MH), se obtuvo una clasificación AASHTO en su mayoría A-7-5, cuyo tipo de material es característico para este grupo descrito como Suelos Arcillosos.

- Para las muestras de Limos de Baja Compresibilidad (ML), se determinó que los grupos de clasificación AASHTO fueron de los grupos A-7-5 y del grupo A-7-6, correspondiente a las características del material predominante en ambos grupos.

6.3 RECOMENDACIONES.

- Verificar que en el ensayo del Límite Líquido usando el método Cono de Penetración (BS 1377:1990), el cono se encuentre rozando levemente la muestra durante la ejecución del ensayo, ya que es la variable de mayor incidencia en la reducción de la variación de las lecturas, tanto de masas como de penetración.
- Realizar más determinaciones del Límite Líquido usando el Método Cono de Penetración (BS 1377:90) en suelos finos arcillosos, con el objetivo de sustentar la aplicabilidad del Método en dichos suelos plásticos de nuestro país a través de la correlación con el Método de Casagrande (ASTM D4318-03).
- Considerar la cantidad de muestra a utilizar en la realización del ensayo del método Cono de Penetración (BS 1377:1990), debido a que el recipiente posee un volumen mayor al de la copa de Casagrande (Método ASTM D 4318-03), pudiendo ocasionar inconvenientes si la cantidad de muestras es limitada.

- Realizar un llenado de recipiente (Método BS 1377:1990) adecuado, evitando la acumulación de burbujas de aire atrapadas, lo cual puede afectar directamente la lectura del resultado obtenido en el ensayo.
- Verificar que durante la ejecución del ensayo del método Cono de Penetración (BS 1377:1990) se cumpla una adecuada protección y manipulación tanto del espécimen de ensayo como del equipo. Para evitar pérdidas de humedad en la muestra e incorrectas lecturas de penetración.
- Se recomienda que tanto los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil como el personal técnico de la unidad, validen mediante el uso en sus prácticas de laboratorio y operaciones de trabajo práctico, los instructivos de laboratorio elaborados en apoyo al Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil.

BIBLIOGRAFÍA.

- AASHTO M 145, (1991). *Clasificación de Suelos y Mezclas de Agregados de Suelos para Fines de Construcción de Carreteras*. Designación AASHTO.
- ASTM D 2216, (2003). *Método de Prueba Estándar para la Determinación de Laboratorio del Contenido de Agua (Humedad) de Suelos y Rocas*. ASTM International.
- ASTM D 2487, (2003). *Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)*. ASTM International.
- ASTM D 422, (2003). *Método de Análisis del Tamaño de las Partículas del Suelo*. ASTM International.
- ASTM D 4318, (2003). *Método de Ensayo Estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos*. ASTM International.
- ASTM D 653. (2003). *Terminología Estándar Relacionada con Suelos, Rocas y Fluidos*. ASTM International.
- ASTM D 854, (2003). *Método de Prueba Estándar para Gravedad Específica de los Sólidos del Suelo por Picnómetro de Agua*. ASTM International.
- Baires, S. y Martínez, R., (2013). *“Evaluación de Alternativas de Estabilización de Suelos del Departamento de San Miguel”*. Universidad Gerardo Barrios, San Salvador, El Salvador.
- Baver, L., Gardner, W. y Gardner, W, (1973). *Física del Suelo*. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano - Americana (U.T.E.H.A).

- Blázquez, A. (2016). *Aplicabilidad del Penetrómetro Cónico en la Determinación del Límite Líquido en Suelos de Baja y Media Plasticidad*. (Trabajo de maestría). Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig, Alicante, España.
- Bovis M. (1978). *Avalanche and Rock Fall*. In: *Sedimentology*. Encyclopedia of Earth Science. Springer, Dordrecht.
- Cabrera, J., Ramos, L. y Rodríguez, W., (2014). *Estabilización Química de Suelos Cohesivos Mediante la Aplicación de un Aditivo Líquido, En El Salvador*. (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, Santa Ana, El Salvador.
- Calero, V., Rivera, M. y Valdez, M., (2016). *“Determinación del Comportamiento al Hinchamiento y Retracción de Suelos que Tienen Plasticidad, en Algunos Puntos de la Carretera Longitudinal del Norte, en el Tramo Comprendido entre Metapán (Dpto. Santa Ana) y Sensuntepeque (Dpto. Cabañas)”*. (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Campos J. y Guardia G. (2005). *“Apoyo Didáctico al Aprendizaje de la Asignatura Mecánica de Suelos II CIV - 219”*. (Trabajo de grado). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
- Cevallos Luna, A. (2012). *“Determinación del Límite Líquido y Plástico de los Suelos mediante el uso del Penetrómetro Cónico”*. (Trabajo de grado). Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Crespo, C., (2007). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Limusa.

- Das, Braja M., (2014). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Cengage Learning.
- García, S. y Ramírez, M., (2006). *Propuesta de un Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos Conforme a la Norma ASTM 2003*. (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Gutiérrez, E. (2014). *Peligrosidad Volcánica Asociada a Erupciones Provenientes del Cráter Central del Volcán de San Salvador, El Salvador*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), San Salvador, El Salvador
- Hernández, J., Mejía, D. y Zelaya, C. (2016). *Propuesta de Estabilización de Suelos Arcillosos para su Aplicación en Pavimentos Rígidos en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador*. (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador.
- Juárez Badillo, E. & Rico, A., (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México: Limusa.
- Kattan, et al., (2017). *Informe Nacional del Estado de los Riesgos y Vulnerabilidades*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), San Salvador, El Salvador.
- Rodríguez, E., y Rosales, I., (2014). *“Evaluación de Estabilidad de Talud en Carretera de Cacaopera - Corinto, Tramos 1+450 y 1+690”*. (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador.

Romero, B, (2012). *Clasificación de suelos por división política de El Salvador*, C.A. Ministerio de Agricultura y Ganadería. (MAG), San Salvador, El Salvador.

ANEXOS.

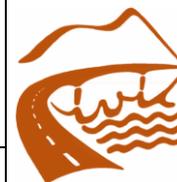
ANEXO A - INSTRUCTIVOS DE LABORATORIO.

ANEXO A1
DETERMINACIÓN DE LA
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE
LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR
EL MÉTODO DEL PICNÓMETRO
CON AGUA



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio N°:

Fecha de Emisión:
Página 1 de 10

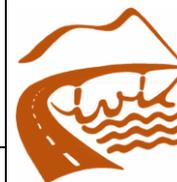
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO DEL PICNÓMETRO CON AGUA.

REVISADO POR:				
	Nombre	Cargo	Firma	Fecha (dd-mm-aaaa)
APROBADO POR:				
	Nombre	Cargo	Firma	Fecha (dd-mm-aaaa)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio N°:

Fecha de Emisión:
Página 2 de 10

1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- Suelo:
Son sedimentos u otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por la desintegración física y química de las rocas, las cuales podrían o no contener materia orgánica.
- Gravedad específica de los sólidos de un suelo (Gs):
Es la relación de la masa de una unidad de volumen de los sólidos de un suelo y la masa del mismo volumen de agua destilada a 20°C.

2. OBJETIVO

- Determinar el valor de la gravedad específica de un suelo mediante los datos obtenidos durante el ensayo.

3. ALCANCES

- Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo que pasan la malla de No 4, por medio de un picnómetro con agua.
Nota 1- Cuando los suelos contengan partículas que se retienen en la malla No 4, se aplicará para el análisis de dicho material el método descrito en la norma ASTM C 127 y al mismo tiempo el método ASTM D 854 para el material que pasa.
- Este método de ensayo cubre dos procedimientos para determinar la gravedad específica; siendo éstos los siguientes:
 - Método A: Este método debe ser utilizado para especímenes húmedos de suelos orgánicos, suelos altamente plásticos, suelos de grano fino, suelos tropicales y suelos con contenidos de halloysita.
 - Método B: Este procedimiento debe ser utilizado para especímenes de suelos secados en horno.

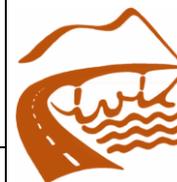
4. MATERIAL Y EQUIPO

- Muestra de suelo
- Picnómetro o frasco volumétrico
- Balanza
- Horno de Secado
- Termómetro
- Desecador
- Aparato de extracción de aire
- Recipiente para baño María
- Embudo
- Agua destilada
- Misceláneos: malla No 4, agitador mecánico, guantes, franelas, piseta, recipientes para muestra de ensayo, espátula, papel toalla, pipeta.



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio N°:

Fecha de Emisión:
Página 3 de 10

5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

5.1. Calibración del picnómetro.

5.1.1. Determine la masa del frasco volumétrico limpio y seco con una precisión de 0.01 g, repitiendo esta determinación cinco veces.

5.1.2. Calcule la masa promedio y la desviación normal.

Nota 2 - Si la desviación estándar es mayor a 0.02 g, realice medidas adicionales o use una balanza más precisa.

5.1.3. Llene el frasco volumétrico con agua desairada ligeramente debajo de la marca de calibración, colóquelo dentro del recipiente para baño María junto con el termómetro, un beaker con agua, agua desairada en una botella (piseta) y pipeta. Tape el recipiente y déjelos permanecer por lo menos 3 horas hasta que lleguen a su equilibrio térmico.

Nota 3 - Se recomienda calibrar hasta un máximo de seis frascos volumétricos al mismo tiempo en el recipiente de baño María. La temperatura de equilibrio del recipiente de baño María, podrá estar a menos de 4°C de la temperatura ambiente y entre 15 y 30°C.

5.1.4. Retire el frasco volumétrico y luego colóquelo sobre una pieza de poliestireno mientras realiza ajustes al nivel del agua.

5.1.5. Seque el exterior del frasco volumétrico y determine la masa del frasco volumétrico más agua con una aproximación al 0.01 g.

5.1.6. Determine la temperatura del agua (T_c), con una aproximación al 0.1°C.

5.1.7. Retorne el frasco volumétrico al recipiente de baño María para obtener medidas independientes en cinco puntos de calibración para cada frasco.

Nota 4 - El frasco debe permanecer en el Baño María por lo menos 3 horas entre cada punto de calibración.

5.2. Selección del método de ensayo y preparación de la muestra.

5.2.1. Tamice la muestra de suelo a través de la malla No 4 y separe ambas fracciones.

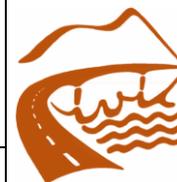
5.2.2. Determine la masa del frasco volumétrico limpio y seco a utilizar con una precisión de 0.01 g y verifique que dicha masa esté a menos de 0.06 g del promedio de la masa calibrada; de lo contrario recalibre la masa seca del frasco volumétrico.

5.2.3. Elija el método A "muestra de suelo húmedo" (sección 5.3) o método B "muestra de suelo secada al horno" (sección 5.4) para la determinación de la gravedad específica del suelo, según el tipo de suelo o requerimiento del solicitante.



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio N°:

Fecha de Emisión:
Página 4 de 10

5.3. Método A: Determinación de gravedad específica para muestras húmedas.

5.3.1. Determine el contenido de humedad (ASTM D 2216 – 03) de una porción de la muestra de suelo que pasó la malla No 4.

5.3.2. Determine el rango de las masas húmedas para seleccionar la masa del espécimen seco de ensayo para la gravedad específica conforme a la **Tabla No. 1**.

Tipo de Suelo	Masa de espécimen seco (g) cuando se utilice un picnómetro de 250 ml	Masa de espécimen seco (g) cuando se utilice un picnómetro de 500 ml
SP, SP - SM	60 ± 10	100 ± 10
SP- SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o Arcilla	35 ± 5	50 ± 10

Tabla No.1: Masa recomendada para los especímenes de ensayo en la determinación de la gravedad específica de un suelo.

Fuente: Norma ASTM D 854-03, Volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

5.3.3. Coloque aproximadamente 100 ml de agua en un recipiente de mezclado, luego agregue el espécimen de ensayo y mezcle hasta dispersar el suelo en forma de lechada.

5.3.4. Deposite la lechada en el frasco volumétrico utilizando un embudo y enjuague con una piseta cualquier partícula de suelo que permanezca adherida dentro del frasco. Posteriormente prosiga con el paso 5.6

Nota 5 - El volumen mínimo de lechada (suelo - agua) que puede ser preparado en este equipo, requerirá el uso de un frasco volumétrico con una capacidad de 500 ml.

5.4. Método B: Determinación de gravedad específica para muestras secadas al horno.

5.4.1. Determine la masa del espécimen de suelo seco de ensayo de acuerdo con la **Tabla No. 1** y tómela de la muestra de suelo que pasó la malla No 4.

5.4.2. Desmenuce cualquier grumo de suelo en el espécimen usando un mortero y pistilo, luego vierta el espécimen de suelo a través de un embudo al frasco y enjuague con una piseta cualquier partícula de suelo que permanezca adherida en el embudo.

5.5. Agregue agua al frasco volumétrico hasta un nivel de entre 1/3 y un 1/2 de la altura y agite hasta formar una lechada.

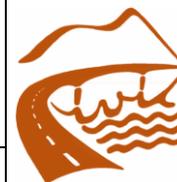
5.6. Desaire la lechada de suelo extrayendo el aire atrapado, por uno de los métodos siguientes:

- Método de aplicación de calor (ebullición).
- Método de vacío (succión).
- Método de aplicación de calor y vacío.



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio N°:

Fecha de Emisión:
Página 5 de 10

- 5.7. Llene el frasco volumétrico con agua desairada, y colóquelo en el recipiente de "baño María", junto con el termómetro, un beaker con agua o una pequeña cantidad de agua desairada en una piseta, cúbralos y manténgalos durante toda la noche para alcanzar un equilibrio térmico.
- 5.8. Ajuste el nivel de agua en el picnómetro hasta la marca de calibración.
- 5.9. Determine y registre la masa del picnómetro, suelo y agua con una aproximación de 0.01 g, y registre la temperatura (T_e) de la mezcla suelo-agua con una precisión de 0.1°C.
- 5.10. Seque el espécimen de suelo a masa constante y determine la masa seca de los sólidos a 0.01g de precisión.

6. CÁLCULOS

6.1. Calibración del picnómetro

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

$$V_p = \frac{(M_{\rho_{w,c}} - M_p)}{\rho_{w,c}}$$

Dónde:

V_p = Volumen calibrado del frasco Volumétrico, ml

$M_{\rho_{w,c}}$ = Masa del frasco volumétrico más agua a la temperatura de calibración, g

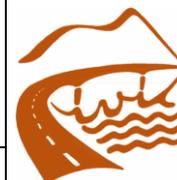
M_p = Masa del frasco volumétrico seco y limpio, g

$\rho_{w,c}$ = Densidad del agua a la temperatura de calibración, g/ml (tomado de la **Tabla No.2**).



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio N°:

Fecha de Emisión:
Página 6 de 10

Temperatura (°C)	Densidad (g/ml) *	Coefficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml) *	Coefficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml) *	Coefficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml) *	Coefficiente 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	0.99907	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	0.99652	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

Tabla No.2: Densidad del agua y Coeficiente de temperatura (K) para diferentes temperaturas.

Fuente: Norma ASTM D 854-03, Volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

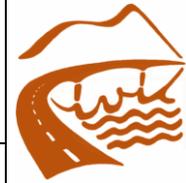
* ml = cm³

- Calcule el promedio y la desviación normal de las cinco determinaciones del volumen del frasco volumétrico y verifique si la desviación normal es menor o igual a 0.05 ml (redondeado a dos decimales). Si la desviación normal es mayor que 0.05 ml, el procedimiento de la calibración tiene demasiada incertidumbre y no rendirá determinaciones exactas del valor de la gravedad específica.



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
 DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
 DEL PICNOMETRO CON AGUA
 (Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio N°:

Fecha de Emisión:
 Página 7 de 10

- Calcule la masa del frasco volumétrico + agua a la temperatura de ensayo como sigue:

$$M_{\rho w,t} = M_p + (V_p \times \rho_{w,t})$$

Dónde:

$M_{\rho w,t}$ = 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

$\rho_{w,t}$ = Densidad del agua a la temperatura de ensayo, g/ml (obtenido de la Tabla No.2)

6.2. Determinación de la gravedad específica

- Calcule la gravedad específica de los sólidos del suelo (G_i) a la temperatura de ensayo, como sigue:

$$G_{st} = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{(M_{\rho w,t} - (M_{\rho ws,t} - M_s))}$$

Dónde:

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

ρ_s = Densidad de los sólidos del suelo Mg/m³ o g/cm³

$\rho_{w,t}$ = Densidad del agua a la temperatura de ensayo, **Tabla No. 2**, g/ml o g/cm³

M_s = Masa de los sólidos del suelo secado en horno, g

$M_{\rho w,t}$ = Masa del frasco volumétrico y agua a la temperatura de ensayo, determinada en la calibración de este, g

$M_{\rho ws,t}$ = Masa del frasco volumétrico, agua y sólidos del suelo a la temperatura de ensayo, g.

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

$$G_{Prom20\text{ }^\circ\text{C}} = K \times G_{st} \quad (1)$$

Dónde:

$G_{Prom20\text{ }^\circ\text{C}}$ = Gravedad específica de los sólidos del suelo a 20 °C

K = Coeficiente de temperatura dado en la **Tabla No. 2**

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

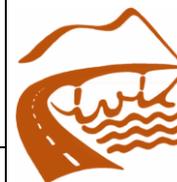
Nota 6 - Para calcular la gravedad específica promedio de los sólidos de suelos que contienen partículas que se retienen y pasan en el tamiz No 4, utilice la siguiente ecuación:

$$G_{Prom20\text{ }^\circ\text{C}} = \frac{1}{\frac{R}{100 \times G_{1\text{ }20^\circ\text{C}}} + \frac{P}{100 \times G_{2\text{ }20^\circ\text{C}}}} \quad (2)$$



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio N°:

Fecha de Emisión:
Página 8 de 10

Dónde:

$G_{Prom20\text{ }^{\circ}\text{C}}$ = Gravedad específica promedio para los sólidos del suelo que contienen partículas que se retienen y pasan en el tamiz No. 4.

R = Porcentaje de suelo retenido en la malla No 4 (4.75 mm).

P = Porcentaje de suelo que pasa la malla No 4 (4.75 mm).

$G_{1\ 20^{\circ}\text{C}}$ = Gravedad específica aparente del suelo retenido en el tamiz No 4 (4.75mm), determinado por el método ASTM C 127, corregido a 20 °C.

$G_{2\ 20^{\circ}\text{C}}$ = Gravedad específica de los sólidos del suelo que pasan el tamiz No. 4 (4.75mm), a 20°C determinada por este método de ensayo.

Nota 7 - Se deberá emplear el método de ensayo ASTM C 127 para determinar la gravedad específica de las partículas que se retienen en la malla No. 4, dicho método se realiza a una temperatura de $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ y no precisa corregir los datos de gravedad específica a 20°C. Sin embargo, si se requieren corregir dichos datos a 20°C se deberá utilizar la ecuación **(1)** y posteriormente evaluar la ecuación **(2)**.

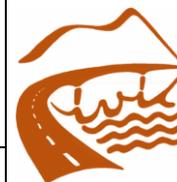
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Norma ASTM D 854 - 03 "Método de Ensayo Determinación de la Gravedad Específica de los Sólidos del Suelo por el Método del Picnómetro con Agua".



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
 DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
 DEL PICNOMETRO CON AGUA
 (Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio N°:

Fecha de Emisión:
 Página 9 de 10

8. FORMATO DE REGISTRO.

Proyecto: _____
 Ubicación: _____
 Método Empleado: _____

Fecha: _____
 Laboratorio: _____

Calibración del Picnómetro

No. de picnómetro			
Masa de picnómetro, g			
Temperatura de calibración, °C			
Masa de picnómetro+ agua a temperatura de calibración, g			
Densidad del agua a temperatura. de calibración, g/ml			
Volumen del picnómetro, ml			
Volumen promedio del picnómetro, ml			

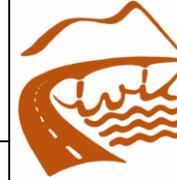
Gravedad Específica

Temperatura de ensayo (T_e), °C		
Densidad del agua a temperatura. de ensayo, g/ml		
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g		
Masa de picnómetro + agua a T_e , g		
No. de recipiente		
Masa de recipiente, g		
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g		
Masa de los sólidos del suelo, g		
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)		
Coficiente de temperatura		
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)		

Observaciones: _____



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA**
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).

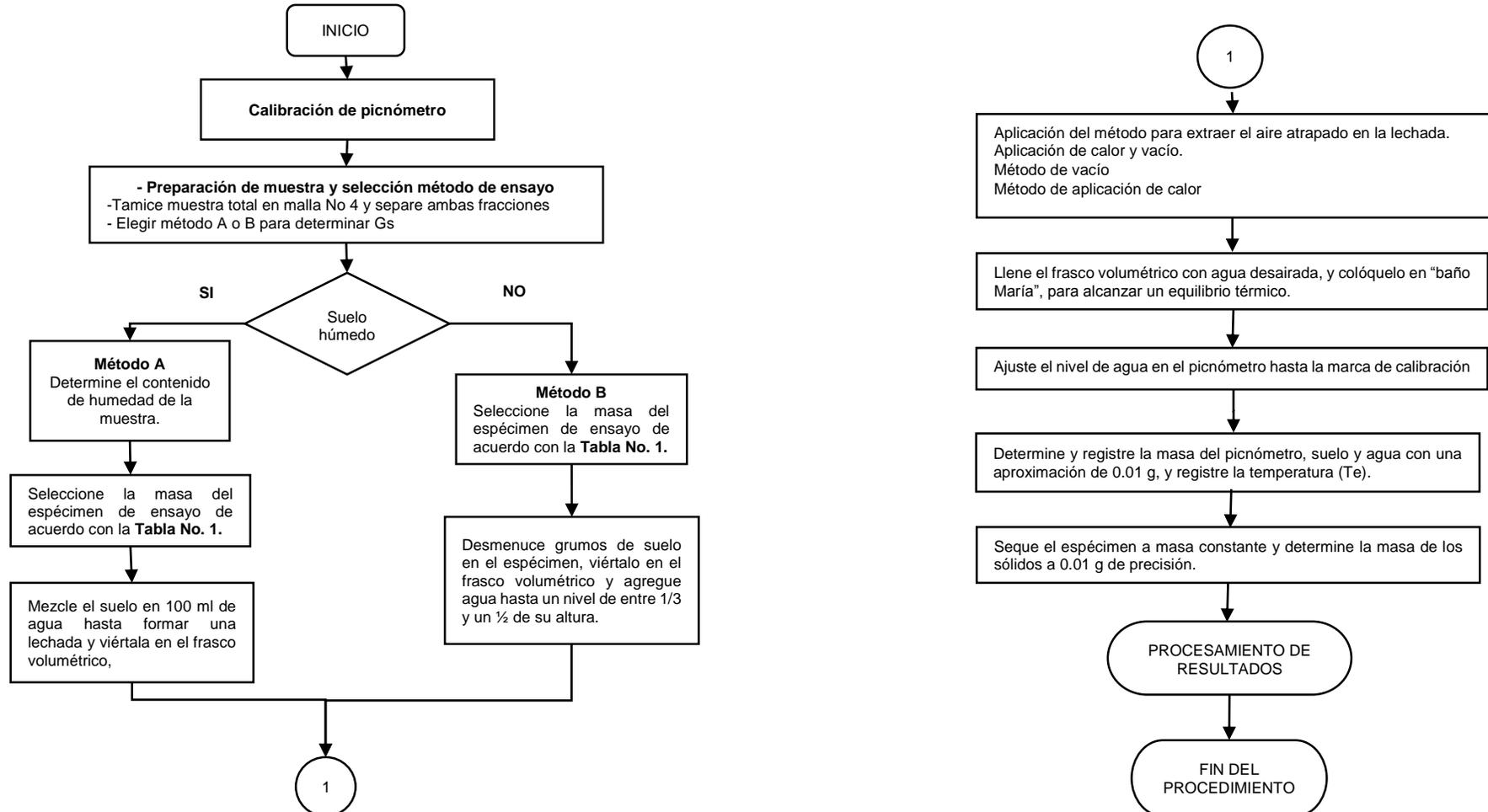


PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio N°:

Fecha de Emisión:
Página 10 de 10

9. DIAGRAMA DE FLUJO



ANEXO A2
DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO
DE LAS PARTÍCULAS DE
SUELOS

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 1 de 15	

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS.

REVISADO POR:				
	Nombre	Cargo	Firma	Fecha (dd-mm-aaaa)
APROBADO POR:				
	Nombre	Cargo	Firma	Fecha (dd-mm-aaaa)

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 1 de 15	

1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.

- Contenido de agua higroscópica:
Contenido de agua de un suelo secado al aire.
- Análisis granulométrico:
Proceso para determinar la distribución de los tamaños de grano que constituyen un suelo.
- Análisis por tamizado:
Determinación de las proporciones de las partículas que quedan dentro de ciertos rangos de tamaño en un material granular, llevada a cabo por la separación en tamices con aberturas de diferentes tamaños.

2. OBJETIVO.

- Determinar el tamaño de las partículas de un suelo mediante los datos obtenidos durante el ensayo.

3. ALCANCES.

- Este método de ensayo cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de las partículas de un suelo, por medio de un proceso de tamizado para tamaños de partículas retenidas en la malla N° 200 (75 µm) y para tamaños de partículas que pasen dicha malla, por un proceso de sedimentación; empleando un hidrómetro para obtener los datos necesarios.

4. MATERIAL Y EQUIPO.

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada • Defloculante • Balanza. • Batidora • Hidrómetro (De tipo 151H o 152H) • Probeta de 1000 ml • Termómetro (0.5°C) • Beaker de 250 ml. • Cronómetro • Mortero y pistilo | <ul style="list-style-type: none"> • Juego de tamices: 3 “, 2”, 1 ½ “, 1 “, ¾”, 3/8”, No. 4, No. 10, No. 20, No. 40, No. 60, No. 140, No. 200, Tapa y fondo. • Vibrador eléctrico (Rop-Tap) • Horno de secado • Misceláneos: Agitador, piseta, pala, brochas, recipientes para espécimen, cucharones, franelas, papel toalla, bandejas. |
|--|---|

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 2 de 15	

5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO.

5.1. PREPARACIÓN DE MUESTRA DE ENSAYO

5.1.1. Seque completamente la muestra y reduzca a una cantidad representativa, de tal manera que la muestra de ensayo sea la suficiente para proporcionar las cantidades requeridas según la **Tabla No. 1 y 2**, posteriormente registre esta masa como la masa total de la muestra no corregida por humedad higroscópica.

Tamaño máximo nominal de la partícula, pulg (mm)	Masa mínima aproximada de la porción, g
3/8 (9.5)	500
3/4 (19.0)	1000
1 (25.4)	2000
1½ (38.1)	3000
2 (50.8)	4000
3 (76.2)	5000

Tabla No. 1. Masa mínima de la porción de suelo retenida en el tamiz No 10 a utilizar en el tamizado, según el tamaño máximo de las partículas.

Fuente: Norma ASTM D 422-63, Volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

- 5.1.2. Tamice la muestra por la malla No. 10 y pulverice cualquier grumo existente en la fracción retenida en dicha malla.
- 5.1.3. Tamice nuevamente las partículas de la fracción retenida, lave dicho material, seque y registre su masa como masa del material grueso (Mg).
- 5.1.4. Tamice el material grueso del paso anterior en la malla No 4 y registre la masa que se retiene.
- 5.1.5. Mezcle completamente las fracciones del material que pasaron el tamiz No 10 obtenidas en el paso 5.1.2 y 5.1.3 de este apartado, luego seleccione de acuerdo a la **Tabla No. 2** la masa mínima de la muestra a utilizar, dependiendo del tipo de suelo.

Tipo de Suelo	Masa Mínima (g)
Suelos arcillosos y limosos	65 g
Suelos arenosos	115 g

Tabla No. 2. Masa mínima de la porción de suelo que pasa el tamiz No 10, según el tipo de suelo.

Fuente: Norma ASTM D 422-63, Volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 3 de 15	

5.1.6. Tome una porción de 10 a 15 g de la muestra previamente seleccionada en el paso anterior, seque la muestra a masa constante en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. Determine la humedad higroscópica del material que pasa el tamiz No 10.

5.2. Análisis por tamizado de la porción retenida en el tamiz N° 10 (2.00 mm)

5.2.1. Separe la porción del material grueso retenido en el tamiz No. 10 (del paso 5.1.3) por el juego de mallas: 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.

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

Nota 2: Verifique que la suma de las masas retenidas en cada uno de los tamices usados, sea igual a la masa original de la cantidad de muestra tamizada.

5.3. Hidrometría y análisis por tamizado de la porción que pasa la malla No 10

5.3.1. Preparación de la solución dispersante (defloculante)

Disuelva 40 g de hexametáfosfato de sodio en 500 ml de agua destilada (utilizando probeta de 1000 ml), luego agregue agua hasta los 1000 ml.

5.3.2. Corrección por menisco (Cm)

5.3.2.1. Limpie el hidrómetro con alcohol, sumérjalo en una probeta de 1000 ml llena con agua destilada y tome la lectura de la parte superior e inferior del menisco.

5.3.2.2. Determine la corrección por menisco (diferencia de lecturas).

5.3.3. Corrección por defloculante (Cd)

5.3.3.1. Limpie el hidrómetro con alcohol y sumérjalo en una probeta de 1000 ml parcialmente llena con agua destilada y tome la lectura inferior del menisco.

5.3.3.2. Agregue 125 ml de defloculante, llene la probeta, agite, introduzca el hidrómetro y tome la lectura inferior del menisco.

5.3.3.3. Registre la corrección por defloculante como la diferencia de las lecturas.

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 4 de 15	

5.3.4. Corrección por temperatura

- 5.3.4.1. Prepare una probeta de control de 1000 ml completamente llena de agua destilada y 125 ml de defloculante.
- 5.3.4.2. Introduzca el termómetro en la probeta y tome la temperatura correspondiente a cada una de las lecturas del hidrómetro durante el ensayo.
- 5.3.4.3. Determine posteriormente la corrección para cada una de las temperaturas registradas, utilizando la **Tabla No. 3**.

5.3.5. Dispersión e hidrometría de la muestra de suelo

- 5.3.5.1. Coloque la muestra remanente obtenida en el paso 5.1.5 en el beaker, agregue 125 ml de la solución dispersante, agite hasta formar una lechada y deje reposar por lo menos 16 h.
- 5.3.5.2. Agite la lechada durante 1 min en la batidora, luego deposítela en una probeta de 1000 ml y agregue agua destilada hasta llenarla.
- 5.3.5.3. Tape la probeta, agítela (60 giros en 1 min), colóquela en una mesa fija y eche a andar el cronómetro.
- 5.3.5.4. Inserte el hidrómetro cuidadosamente en la probeta y tome la lectura.
Nota 3: Realice este paso (5.2.3.4) para 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 min
Nota 4: El hidrómetro deberá ser insertado aproximadamente 20 a 25 segundos antes de cada lectura.
- 5.3.5.5. Introduzca el termómetro en la probeta preparada en el paso 5.3.4 y tome la temperatura correspondiente a cada una de las lecturas del hidrómetro (Nota 3) con precisión de 0.5 °C.

5.3.6. Análisis por tamizado

- 5.3.6.1. Vierta la suspensión de la probeta en la malla No 200, lave el material retenido y seque la muestra en el horno.
- 5.3.6.2. Determine la masa seca y tamice por las mallas: No 10, 16, 30, 50, 100, 200, Fondo.
- 5.3.6.3. Determine las masas retenidas en cada una de las mallas con una precisión de 0.1 g

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 5 de 15	

6. CÁLCULOS.

6.1. Determinación de la humedad higroscópica

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

Dónde:

ω = Contenido de humedad higroscópica, %

M_r = Masa del recipiente, g

M_{h+r} = Masa del espécimen húmedo + recipiente, g.

M_w = Masa de agua ($M_w = M_{h+r} - M_{s+r}$)

M_{s+r} = Masa del espécimen seco + recipiente, g

M_s = Masa de suelo seco ($M_s = M_{h+r} - M_r$)

6.2. Determinación de la masa seca que pasa la malla No. 10 corregida por humedad higroscópica.

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

Dónde:

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

M_h = Masa del espécimen húmedo del material que pasa la malla No.10, (Incluyendo pérdidas por lavado), g

ω = Contenido de humedad higroscópica, %

6.3. Lectura corregida del hidrómetro

$$R_c = R_r - C_d \pm C_t$$

Dónde:

R_c = Lectura corregida del hidrómetro por defloculante y temperatura, g/l

C_d = Corrección por defloculante

C_t = Corrección por temperatura (**Tabla No.3**)

R_r = Lectura real del hidrómetro (tomada durante el ensayo), g/l

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 6 de 15	

Temperatura (°C)	Ct (g/l)
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

Tabla No. 3: Factores de corrección por temperatura
 Fuente: Norma ASTM D 422 - 03, volumen 04.08
 (American Society for Testing and Materials)

6.4. Determinación del factor de corrección (a)

El factor de corrección “a”, se muestran en la **Tabla No.4.**

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	1.05

**Tabla No. 4: Valores de factor de corrección, a,
 para diferentes gravedades específicas del suelo**
 Fuente: Norma ASTM D 422 - 03, volumen 04.08
 (American Society for Testing and Materials)

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 7 de 15	

6.5. Determinación del porcentaje de suelo que permanece en suspensión

$$\text{Para hidrometro 152 H: } P = \left(\frac{R_C \times a}{M_{sh}} \right) \times 100$$

Dónde:

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

R_C = Lectura corregida del hidrómetro por defloculante y temperatura.

a = Factor de corrección determinado según **Tabla No.4**
 M_{sh} = Masa del espécimen seco corregido por humedad higroscópica.

6.6. Determinación del porcentaje que permanece en suspensión (% que pasa), referido al material que pasa la malla No. 200.

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

Dónde:

P_p = Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel en que el hidrómetro mide la densidad de la suspensión.

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

6.7. Determinación del valor de la lectura “R” del hidrómetro, corregida por menisco.

$$R = R_r + C_m$$

Dónde:

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

R_r = Lectura real del hidrómetro (tomada durante el ensayo), g/l

C_m = Corrección por menisco, g/l

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 8 de 15	

6.8. Determinación de la distancia de caída de las partículas o profundidad efectiva (L).

Seleccione el valor según la lectura real del hidrómetro (**Tabla No.5**)

Hidrómetro 152 H			
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		

Tabla No. 5: Valores de profundidad efectiva basados en el Hidrómetro y la probeta de sedimentación de tamaños especificados
 Fuente: Norma ASTM D 422 - 03, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 9 de 15	

6.9. Diámetro de las partículas del suelo.

$$D = \sqrt{\left(30n/980(G - G_l)\right) \times L/t}$$

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

Dónde:

D = Diámetro de la partícula, mm

n = Coeficiente de viscosidad del medio en suspensión (en este caso agua), Poises.

L = Distancia desde la superficie de la suspensión hasta el nivel en el que la densidad ha sido determinada (profundidad efectiva), cm.

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

G = Gravedad específica de las partículas del suelo.

G_l = Gravedad específica (densidad relativa) del medio suspendido (el valor a usarse como 1.000 para propósitos prácticos)

K = Constante que depende de la temperatura de la suspensión y gravedad específica de las partículas del suelo, (a ser determinada de **Tabla No. 6**).

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

Tabla No. 6: Valores de K para el cálculo del diámetro de la partícula del análisis hidrométrico

Fuente: Norma ASTM D 422 - 03, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 10 de 15	

6.10. Análisis de tamizado de las partículas que pasan la malla No 10 (2.00 mm)

- 6.10.1. Determine la masa del material que pasa la malla No 200 por lavado, restando a la masa seca corregida por humedad higroscópica la masa seca obtenida después de lavada y secada en el horno.
- 6.10.2. Calcule la masa total que pasa la malla No 200 sumando la masa que pasa la malla No 200 por lavado (obtenida en el paso anterior) y la masa que pasa la malla No 200 obtenido por el proceso de tamizado.
- 6.10.3. Verifique la masa total del material empleado en el análisis por tamizado de la porción que pase la malla No 10, sumando la masa retenida en cada una de las mallas y la masa total del material que pasa la malla No 200 (obtenida en el paso anterior).
- 6.10.4. Calcule el porcentaje retenido parcial en cada malla, dividiendo la masa retenida en cada uno de ellos entre la masa total del suelo (calculado en el caso anterior) y multiplique el resultado por 100.
- 6.10.5. Obtenga el porcentaje retenido acumulado en cada malla, sumando al porcentaje retenido parcial en cada malla el porcentaje retenido parcial en cada una de las mallas anteriores
- 6.10.6. Determine el porcentaje que pasa cada malla, restando a 100 el porcentaje retenido acumulado de cada malla.
- 6.10.7. Calcule el porcentaje que pasa cada malla referido a la muestra total, multiplicando el porcentaje que pasa cada malla por el % que pasa la malla No 10 y divida este resultado entre 100.

6.11. Determinación del gráfico del análisis granulométrico.

Construya un gráfico con los resultados del análisis granulométrico (tamizado e hidrometría), trazando como abscisas las aberturas de las mallas en una escala logarítmica y como ordenadas los porcentajes que pasan cada una de las mallas correspondientes, en una escala aritmética.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Norma ASTM D 422 - 03 “Método de análisis del tamaño de las partículas de los suelos”

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:		Fecha de Emisión: Página 11 de 15

8. FORMATO DE REGISTRO.

Proyecto: _____ Fecha: _____
 Ubicación: _____ Laboratorio: _____

ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Hidrómetro: _____ Gs de los sólidos: _____ Factor de corrección para peso
 Agente dispersante: _____ Cant. de dispersante: _____ unitario de los sólidos (a): _____
 Corrección por menisco: _____ Peso suelo seco (Ws): _____

Tiempo (min)	T °C	Corrección temperatura	Corrección defloculante	Lectura real hidrómetro R _a	Lectura corregida del hidrómetro R _c	Porcentaje más fino	Hidrómetro corregido por menisco R	L (cm)	L/T	K	D(mm)

ANÁLISIS POR TAMIZADO

Porción Retenida en Tamiz No.10					
Malla No.	Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	% Pasa

Porción Pasa Tamiz No.10					
Malla No.	Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	% Pasa

Observaciones: _____



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS
PARTÍCULAS DE SUELOS
(Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).**

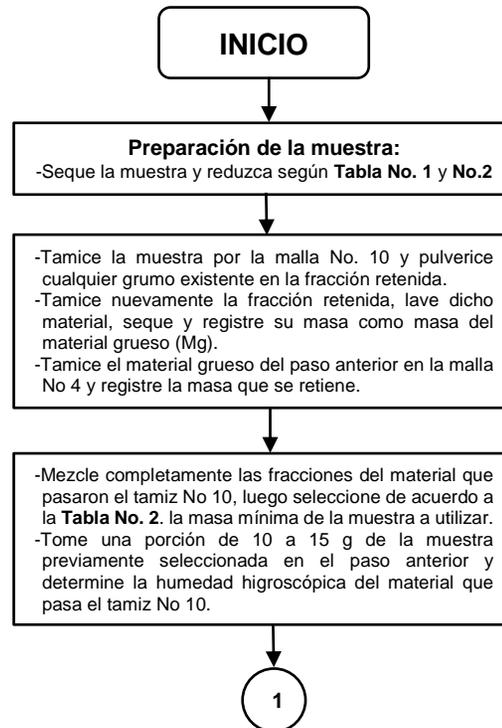
PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 12 de 15



9. DIAGRAMA DE FLUJO.





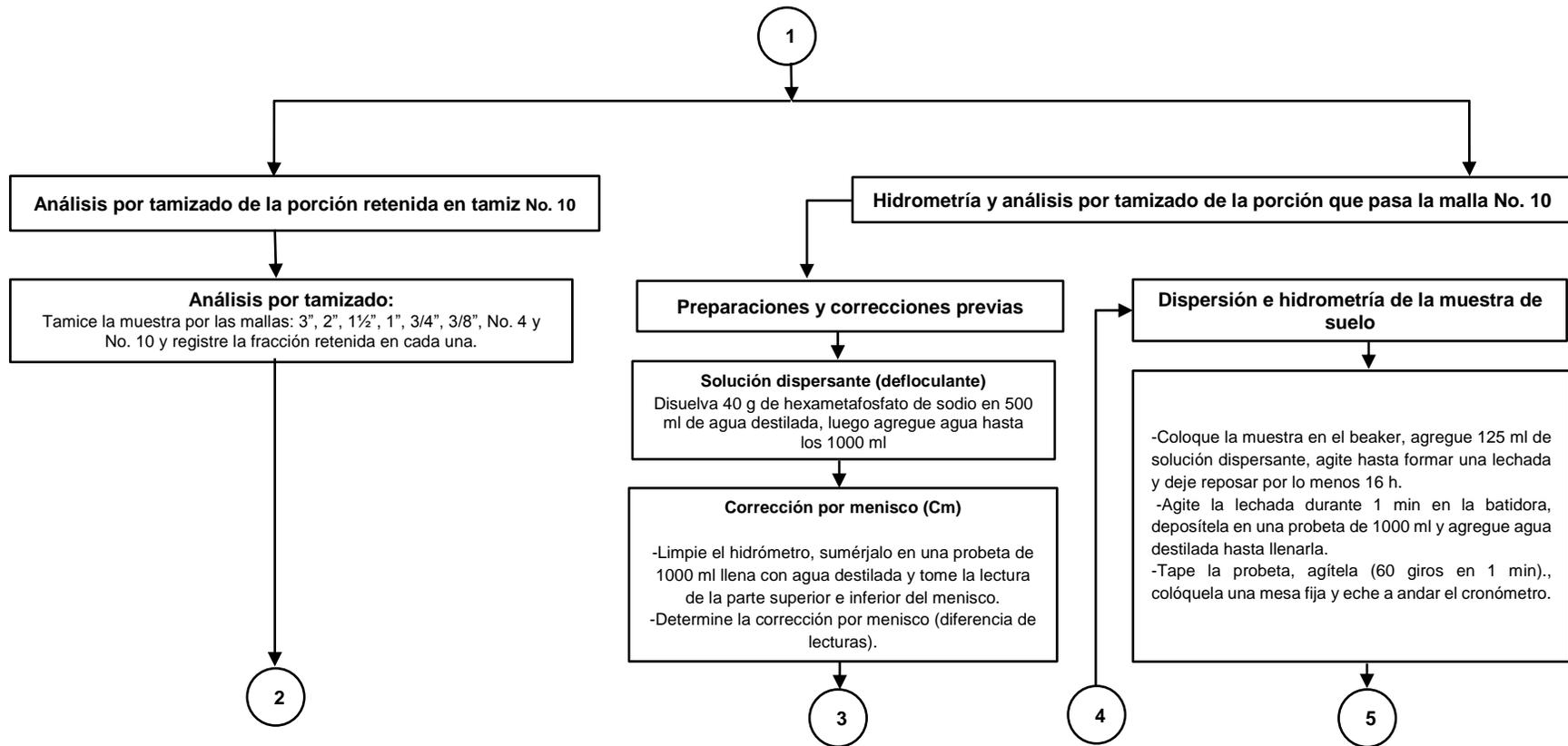
Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS
PARTÍCULAS DE SUELOS
(Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).**

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 13 de 15





Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

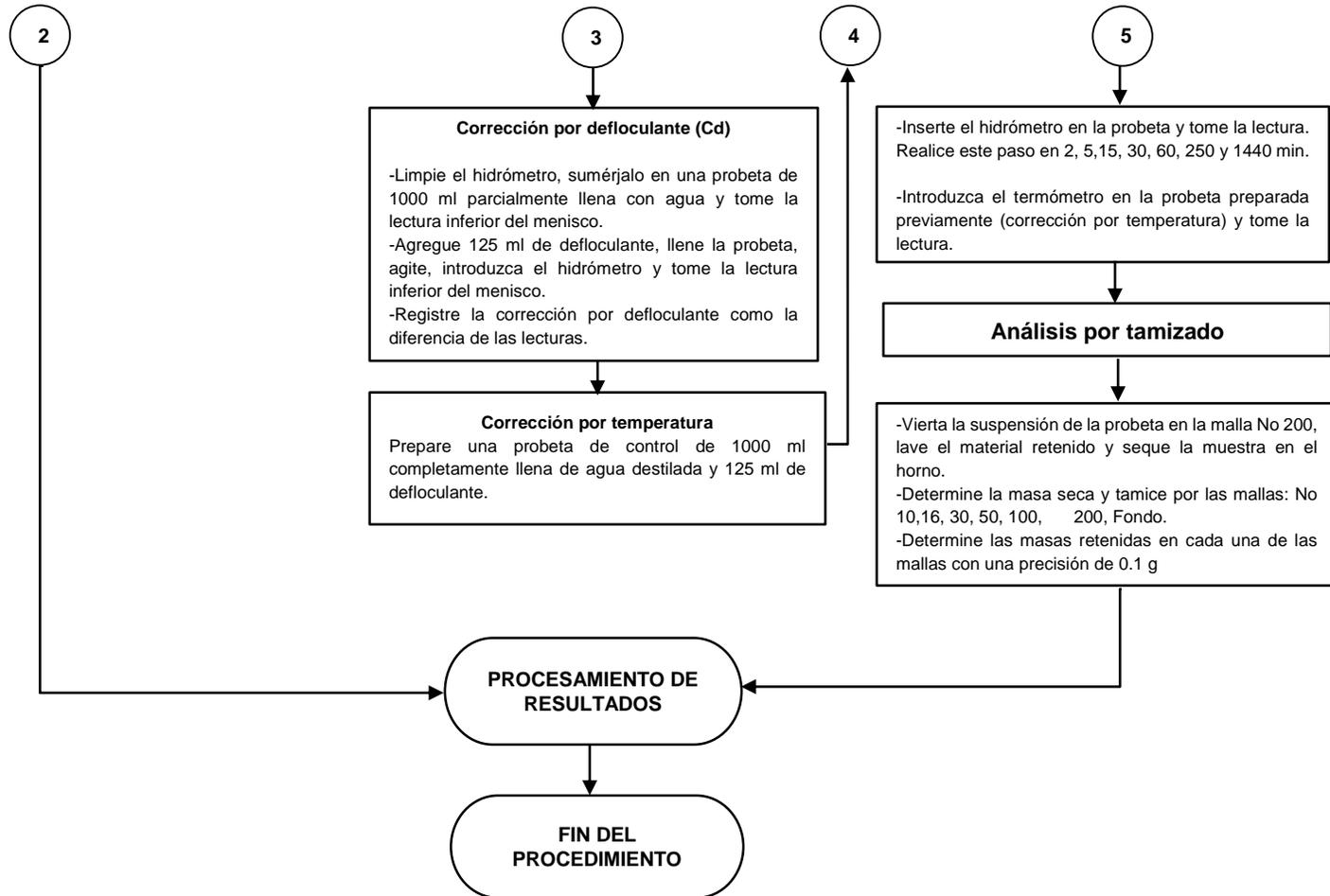
**DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS
PARTÍCULAS DE SUELOS
(Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 14 de 15



ANEXO A3
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE
LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E
ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE
SUELOS

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELO

REVISADO POR:				
	Nombre	Cargo	Firma	Fecha (dd-mm-aaaa)
APROBADO POR:				
	Nombre	Cargo	Firma	Fecha (dd-mm-aaaa)

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 2 de 9	

1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS (ASTM D 4318 - 03).

- Límite de Consistencia:
Es la facilidad relativa con la que un suelo puede deformarse.
- Límites de Consistencia:
Se refiere normalmente al límite líquido, límite plástico y en algunas referencias al límite de contracción.
- Límite líquido (LL):
En suelos cohesivos, es el contenido de humedad en porcentaje definido arbitrariamente como la frontera entre los estados plástico y semilíquido.
- Límite plástico (LP):
En suelos cohesivos, es el contenido de humedad, en porcentaje; definido arbitrariamente como la frontera entre los estados semisólido y plástico.
- Índice plástico (IP):
En suelos cohesivos, se define como el rango de contenido de humedad, en el cual un suelo se comporta plásticamente. Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

2. OBJETIVO.

- Determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.

3. ALCANCES.

- Este método de ensayo cubre la determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.
- Este método proporciona 2 procedimientos para la preparación de especímenes de ensayo: método de preparación húmeda y método de preparación seca.
- Este método de ensayo proporciona 2 procedimientos para determinar el límite líquido de un suelo: ensayo por múltiples puntos (método A) y por un punto (método B).
- El método descrito en este ensayo se realiza solo en la parte de suelo que pasa la malla No 40.

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 3 de 9	

4. MATERIAL Y EQUIPO.

Límite líquido

- Copa de Casagrande
- Ranurador
- Agua destilada
- Vidrio reloj
- Capsulas de porcelana
- Espátula
- Balanza, con una legibilidad de 0.01 g

Límite plástico

- Tamices No 40 y No 10
- Mortero y pistilo
- Piseta
- Charola
- Horno de secado
- Placa de vidrio
- Misceláneos: cepillo, franelas, bolsas plásticas.

5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO.

5.1 Selección del método de preparación de la muestra: Seca o Húmeda.

5.1.1 Método de Preparación seca

- 5.1.1.1 Seque el suelo al aire o al horno, pulverice y tamícelo por la malla No. 40.
- 5.1.1.2 Tome 150 - 200 g de suelo, agregue agua, mezcle hasta una consistencia adecuada para N entre 25-35 y déjelo reposar por lo menos 16 horas.
- 5.1.1.3 Proceda a la preparación del equipo (5.2).

5.1.2 Método de Preparación húmeda

- 5.1.2.1 Poco o nada de partículas retenidas en malla No 40:
 - 5.1.2.1.1 Tamice la muestra de suelo por la malla No 40, agregue agua, mézclelo y déjelo reposar por lo menos 16 horas hasta obtener una consistencia adecuada para el primer punto (N entre 25-35).
 - 5.1.2.1.2 Proceda a la preparación del equipo (5.2).
- 5.1.2.2 Contiene partículas retenidas en la malla No 40:
 - 5.1.2.2.1 Remoje la muestra de suelo en un recipiente con agua.
 - 5.1.2.2.2 Coloque la malla No 10 sobre No 40 y vierta la muestra para separar el material retenido en ambas mallas.
 - 5.1.2.2.3 Coloque el material que pasa ambas mallas en una cápsula de porcelana, mezcle y déjelo reposar por lo menos 16 horas hasta obtener una consistencia adecuada para el primer punto (N entre 15-35).
 - 5.1.2.2.4 Proceda a la preparación del equipo (5.2).

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 4 de 9	

5.2 Preparación del Equipo:

- 5.2.1 Verificar que la huella sobre la base no tenga un desgaste > 10 mm.
- 5.2.2 Verificar que la zona donde se divide la muestra en la copa de Casagrande, no tenga un desgaste > 0.1 mm.
- 5.2.3 Verificar que el pivote de soporte de la copa no permita un movimiento lateral > 3 mm.
- 5.2.4 Verificar que la altura de caída de la copa sea 10 ± 0.2 mm

5.3 Determinación del límite líquido.

- 5.3.1 Seleccionar el método a utilizar: método de múltiples puntos (5.3.1.1) o método de un punto (5.3.1.2).

Nota 1 - El procedimiento a emplear deberá ser especificado por el solicitante del ensayo y en el caso de que no sea definido, se deberá utilizar el método A (5.3.1.1).

5.3.1.1 Método de múltiples puntos (Método A)

- 5.3.1.1.1 Remezcle la pasta de suelo y coloque una porción en la copa de Casagrande.
- 5.3.1.1.2 Separe el suelo en dos mitades con el ranurador.
- 5.3.1.1.3 Gire la manivela de la copa hasta que las dos mitades de suelo se unan una distancia de 13 mm ($\frac{1}{2}$ pulg.)
- 5.3.1.1.4 Registre el número de golpes (N) y determine el contenido de agua de la muestra colocada.

Nota 2 – Realice los pasos de 5.3.1.1.1 al 5.3.1.1.4 para tres contenidos de humedad diferentes (añadiendo agua a la muestra) correspondientes a los rangos de N: 15-25; 20-30 y 25-35.

5.3.1.2 Método de un punto (Método B)

- 5.3.1.2.1 Proceda como se describe en el Método A (5.3.1.1 al 5.3.1.4) para N entre 20-30.
- 5.3.1.2.2 Repita el paso anterior y si la diferencia $N \leq 2$ determine el contenido de agua, en caso contrario (diferencia $N > 2$) vuelva a mezclar el espécimen y repita el procedimiento del método.

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 5 de 9	

5.4 Procedimiento de prueba del límite plástico

- 5.4.1 Tome 20 g y seque hasta una consistencia adecuada para ejecutar el ensayo.
- 5.4.2 Tome una porción y role hasta formar un hilo de 1/8”.
- 5.4.3 Tome porciones hasta formar un espécimen ≥ 6 g y determine el contenido de humedad de acuerdo a norma ASTM D-2216.
- 5.4.4 Repita los pasos anteriores (5.4.1 al 5.4.3) para obtener otro espécimen para la determinación del límite plástico.

6. CÁLCULOS.

- **Límite líquido**

6..1. Método A (Método de múltiples puntos)

- 6..1.1. Construya la curva de fluidez en papel semilogarítmico, graficando contenido de humedad (con precisión 0.01 g) en el eje de las ordenadas y número de golpes (N) en el eje de las abscisas. Trace la mejor línea recta que una los puntos graficados.
- 6..1.2. Seleccione la abscisa de 25 golpes y ubique el contenido de agua correspondiente. Registre dicho valor, como el límite líquido (LL) del suelo y redondee al número entero más cercano.

6..2. Método B (Método de un punto):

- 6..2.1. Determine el límite líquido para los 2 contenidos de agua del espécimen, utilizando cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$LL^n = \omega^n \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad \text{ó} \quad LL^n = k \times \omega^n$$

Donde:

LLⁿ = Límite líquido de un suelo, calculado por el método de un punto, %,

N = Número de golpes requeridos para el cierre de la ranura.

ω^n = Contenido de agua correspondiente al número de golpes, %

k = Factor obtenido de la **Tabla No.1**.

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:		Fecha de Emisión: Página 6 de 9

Número de golpes (N)	Factor para límite líquido (k)
20	0.973
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

Tabla No. 1: Factores para determinar el límite líquido
 Fuente: Norma ASTM D 4318 - 03. Volumen 04.08.

- Determine el límite líquido como el promedio de los dos resultados del ensayo realizado y redondee al número entero más cercano.

Nota 3 - Si la diferencia entre los dos valores de ensayo del límite líquido es mayor que el 1%, repita el ensayo como se describe en el método B (5.3.1.2).

6..3. Límite plástico

- Calcule el límite plástico del suelo como el promedio de los contenidos de agua determinados en el ensayo del límite plástico.

Nota 4 – Si la diferencia entre los dos valores de ensayo del límite plástico es mayor que el 1%, repita el ensayo (5.4).

6..4. Índice de plasticidad

- Determine utilizando la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = Índice de plasticidad (%)

LL = Límite líquido (%)

LP = Límite plástico (%)

Nota 5 - Si el límite plástico es igual que el límite líquido, o ambos no pueden determinarse, reporte como suelo no plástico (NP).

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 7 de 9	

6..5. Índice de liquidez

- Determine el índice de liquidez de la muestra utilizando la siguiente ecuación:

$$IL = \frac{\omega\% - LP}{IP}$$

Donde:

$\omega\%$ = Contenido de agua (%)

LP = Límite plástico (%)

IP = Índice de plasticidad (%)

6..6. Número de actividad

- Determine el número de actividad de la muestra utilizando la siguiente ecuación:

$$A = IP / \% \text{ partículas } < 0.002 \text{ mm}$$

Donde:

A = Número de Actividad

IP = Índice de Plasticidad (%)

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Norma ASTM D 4318 - 03 “Métodos de prueba estándar para Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos”
- Norma ASTM D 653 - 03 “Terminología estándar relacionada con suelos, rocas y fluidos contenidos”

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 8 de 9	

8. FORMATO DE REGISTRO.

Proyecto: _____ Fecha: _____
 Ubicación: _____ Laboratorio: _____
 Método Empleado: _____

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
Muestra						
No. de golpes						
No. de recipiente						
Masa de recipiente (g)						
Masa de suelo húmedo + recipiente (g)						
Masa de suelo seco + recipiente (g)						
Masa de agua (g)						
Masa de suelo seco (g)						
Contenido de agua (%)						



LÍMITE LÍQUIDO (%)		LÍMITE PLÁSTICO (%)		ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	
--------------------	--	---------------------	--	---------------------------	--

Observaciones: _____



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
 E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).

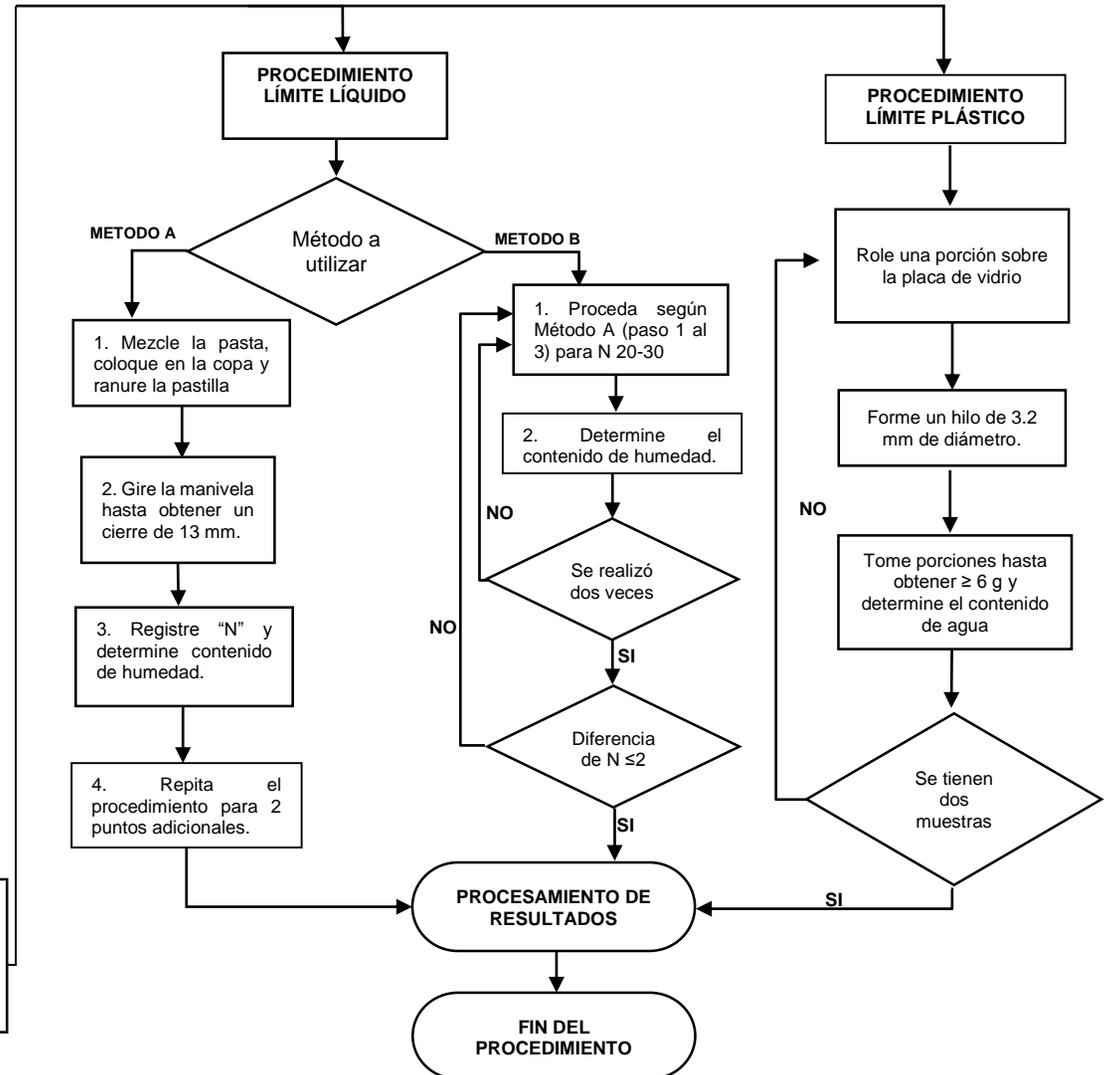
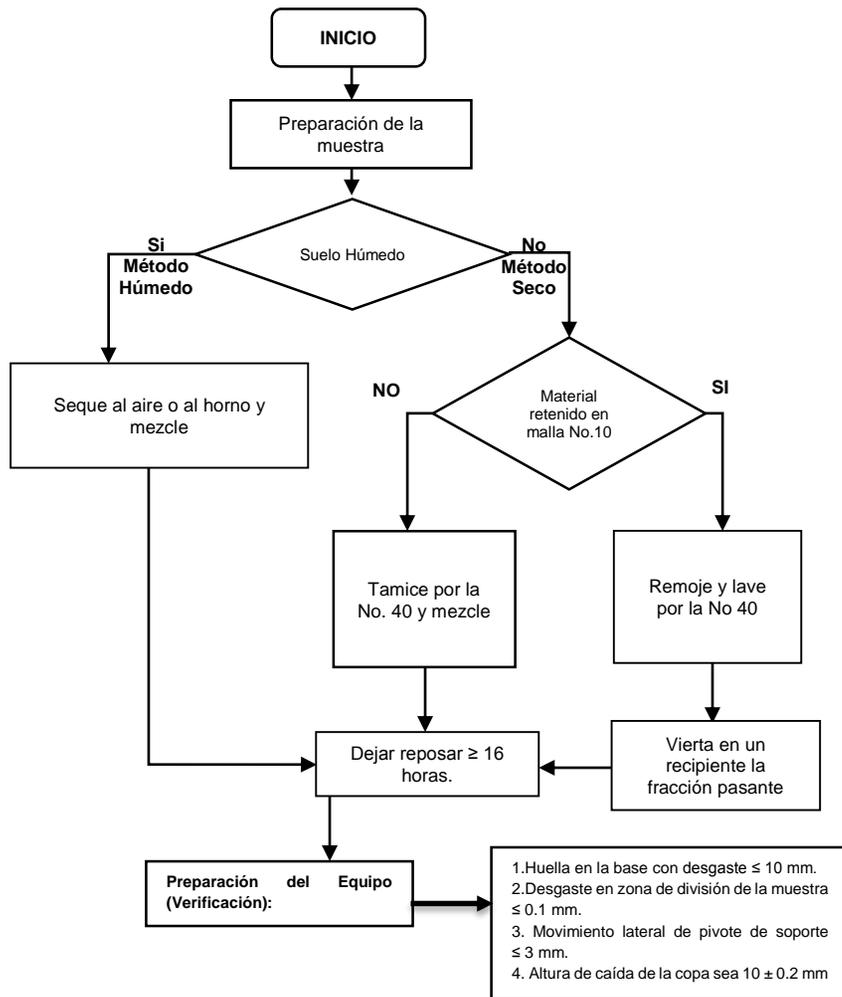


PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 9 de 9

9. DIAGRAMA DE FLUJO



ANEXO A4
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE
LÍQUIDO DE SUELOS POR EL
MÉTODO CONO DE
PENETRACIÓN



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS
POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN**
(Basado en la Norma BS 1377-2:1990).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 1 de 7

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN.

REVISADO POR:				
	Nombre	Cargo	Firma	Fecha (dd-mm-aaaa)
APROBADO POR:				
	Nombre	Cargo	Firma	Fecha (dd-mm-aaaa)

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 2 de 9	

1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS (BS 1377-01:1990).

- Límite Líquido:
Contenido de humedad en que un suelo pasa del estado líquido al plástico, según se determina por la prueba del límite líquido.
- Límite Plástico:
Contenido de humedad en que un suelo se vuelve demasiado seco para estar en condición plástica.
- Índice de Plasticidad:
Diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo.
- Suelo no Plástico:
Suelo con índice de plasticidad igual a 0 o en el cual no se puede determinar el límite plástico.
- Índice de Liquidez:
Relación de la diferencia entre el contenido de humedad y el límite plástico de un suelo al índice de plasticidad.

2. OBJETIVO.

- Establecer el procedimiento para la determinación del límite líquido de un suelo mediante la utilización del cono de penetración.

3. ALCANCE.

- Este método cubre la determinación del límite líquido de una muestra de suelo en su estado natural o de una muestra de suelo a partir de la cual el material retenido por la malla No 40 ha sido removido.

4. MATERIAL Y EQUIPO.

- Malla No 40 (425µm)
- Equipo cono de penetración (incluye aguja y base de equipo)
- Recipiente metálico para ensayo de la muestra con diámetro 55 ± 2 mm y altura 40 ± 2 mm
- Balanza (precisión 0.01 g)
- Recipiente de mezclado
- Horno de Secado (105-110 °C)
- Agua destilada
- Piseta
- Misceláneos (guantes, franelas, etc.)
- Recipientes para contenido de agua

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 3 de 9	

5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO.

5.1. Seleccione el método de preparación de la muestra según cantidad de material retenido en malla No. 40: Poco o ningún material retenido (5.1.1) o material retenido (5.1.2).

5.1.1. Suelos con poco o ningún material retenido por malla No 40.

5.1.1.1. Tomar una muestra de aproximadamente 500 g y eliminar cualquier partícula retenida en malla No 40.

5.1.1.2. Agregar agua a la muestra en un recipiente, mezclar hasta obtener una consistencia adecuada para el primer punto de ensayo (deformación cercana a los 15 mm) y dejar reposar 24 h.

Nota 1– Se recomienda un período de 24 horas para la mayoría de los suelos plásticos, pero un tiempo más corto puede ser aceptado para suelos con bajo contenido de arcilla. Los suelos con alto contenido de limos pueden ser analizados inmediatamente después de la mezcla.

5.1.1.3. Proceder a la preparación del equipo Cono de Penetración (5.2)

5.1.2. Para suelos con material retenido en malla No 40.

5.1.2.1. Tomar una muestra de suelo suficiente para obtener un mínimo de 300 g de muestra que pase la malla No 40.

5.1.2.2. Colocar en un recipiente y agregar agua para deshacer los grumos presentes.

5.1.2.3. Verter la lechada en malla No 40 y dejar secar hasta obtener una consistencia adecuada para el primer punto de ensayo (deformación cercana a los 15 mm).

5.1.2.4. Proceder a la preparación del equipo Cono de Penetración (5.2).

5.2. Preparación del Equipo Cono de Penetración

5.2.1. Nivele el equipo en el lugar donde se realizará el ensayo utilizando el nivel de burbuja incorporado.

5.2.2. Ajuste el cono al equipo y coloque en su posición inicial (parte superior del vástago).

5.2.3. Presione el interruptor en la parte trasera del equipo Cono de Penetración y el botón del deformímetro para el encendido de ambos.

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 4 de 9	

5.3. Determinación del límite líquido.

5.3.1. Seleccione el método a utilizar para la determinación del límite líquido: Múltiples puntos (5.3.1.1) o un punto (5.3.1.2).

Nota 2 – El procedimiento deberá ser especificado por el solicitante y en el caso de que no sea definido, se deberá utilizar el método de múltiples puntos.

5.3.1.1. Método de múltiples puntos

- 5.3.1.1.1. Remezcle el suelo preparado de los pasos anteriores (5.1.1 o 5.1.2) por un tiempo aproximado de 10 minutos, hasta obtener una consistencia para deformaciones cercanas a los 15 mm.
- 5.3.1.1.2. Llene el recipiente metálico (diámetro 55 ± 2 mm y altura 40 ± 2 mm) para ensayo de la muestra, evitando dejar burbujas de aire atrapado y enrase.
- 5.3.1.1.3. Coloque el recipiente metálico en la base del equipo Cono de Penetración y ajuste la altura del cono, de tal manera que este tenga un ligero contacto con la superficie de la muestra.
- 5.3.1.1.4. Verifique que el deformímetro marque la lectura de 0 mm.
- 5.3.1.1.5. Active el controlador automático para la caída del Cono de Penetración y anote la deformación después de 5 ± 1 segundos con precisión de 0.01 mm
- 5.3.1.1.6. Levante y limpie la punta del cono
- 5.3.1.1.7. Añada suelo en el área de la inserción, enrase y realice una nueva lectura en la muestra (5.3.1.1.3).
- 5.3.1.1.8. Valide las lecturas de deformación realizadas de la siguiente manera:
 - 5.3.1.1.8.1. Si la diferencia de ambas lecturas es ≤ 0.5 mm, obtener el promedio de ellas y registrarlo con precisión del 0.01 mm. Posteriormente, continúe con el ítem 5.3.1.1.9
 - 5.3.1.1.8.2. Si la diferencia de ambas lecturas es $0.5 \text{ mm} < \Delta L \leq 1 \text{ mm}$ realizar una nueva inserción según ítems 5.3.1.1.3 al 5.3.1.1.5 para obtener una tercera lectura y luego comprobar lo siguiente:
 - 5.3.1.1.8.2.1. Si la diferencia de las 3 lecturas es ≤ 1 mm, obtener el promedio de ellas y registrarlo con precisión del 0.01 mm. Continuar con el ítem 5.3.1.1.9.

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 5 de 9	

5.3.1.1.8.2.2. Si la diferencia de las 3 lecturas es > 1 mm descartar los resultados y repetir los ítems del 5.3.1.1.1 al 5.3.1.1.8 hasta obtener una variación ≤ 1 mm en las lecturas de deformación.

5.3.1.1.9. Determine el contenido de agua de la muestra tomando como mínimo 10 g del área donde se realizó la inserción según norma BS 1377:1990 parte 2, sección 3.2 o en su defecto con base a la norma ASTM D2216-03 y una precisión de 0.01%.

5.3.1.1.10. Realice los ítems 5.3.1.1.1 al 5.3.1.1.9 para dos contenidos de humedad adicionales, añadiendo agua a la muestra de tal manera que se obtengan deformaciones cercanas a los 20 y 25 mm respectivamente.

5.3.1.1.11. Proceder a la realización de cálculos (ítem 6.1).

5.3.1.2. Método de un punto

5.3.1.2.1. Tome 300 g de muestra preparada previamente en el ítem 5.1.1 (Suelos con poco o ningún material retenido por malla No 40.) o en el ítem 5.1.2 (Para suelos con material retenido en malla No 40).

5.3.1.2.2. Proceda como se describe en el método de múltiples puntos ítems 5.3.1.1.1 al 5.3.1.1.9 para un contenido de agua correspondiente a un rango de valores de deformación entre 15 y 25 mm.

5.3.1.2.3. Proceder a la realización de cálculos (ítem 6.2).

6. CÁLCULOS.

6.1. Método de múltiples puntos

6.1.1. Graficar en escala lineal la penetración en mm (eje de abscisas) y contenido de agua en % (eje de ordenadas).

6.1.2. Trazar la línea de tendencia que mejor se ajuste a los puntos graficados.

6.1.3. Seleccionar la abscisa de 20 mm de deformación y ubicar el contenido de agua correspondiente en la escala de las ordenadas, dicho valor de humedad será el límite líquido del suelo reportado al entero más cercano.

	Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina” DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 6 de 9	

6.2. Método de un punto

6.2.1. Determinar el límite líquido del suelo utilizando la siguiente ecuación y reportando el resultado al entero más cercano.

$$LL = K \cdot w$$

Donde:

LL= Valor límite líquido (%)

K = Factor de corrección (Tabla No.1)

W% = Contenido de agua (%)

Tabla No. 1: Factores de corrección para determinar por método puntual el límite líquido.
 Fuente: BS 1377-2. (1990). Métodos de ensayo para Suelos para propósitos de Ingeniería Civil. Parte 2: Ensayos de clasificación. Estándar Británico.

Penetración del cono (mm)	Factor dependiente del contenido de humedad		
	Menor del 35%	Del 35% al 50%	Mayor del 50%
15	1.057	1.094	1.098
16	1.052	1.076	1.075
17	1.042	1.058	1.055
18	1.030	1.039	1.036
19	1.015	1.020	1.018
20	1.000	1.000	1.000
21	0.984	0.984	0.984
22	0.971	0.968	0.967
23	0.961	0.954	0.949
24	0.955	0.943	0.929
25	0.954	0.934	0.909
Plasticidad	Baja	Intermedia	Alta

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Norma BS 1377-01:1990 “Requisitos generales y preparación de la muestra”
- Norma BS 1377-02:1990 “Métodos de ensayo de clasificación de suelos para propósitos de Ingeniería Civil”



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 7 de 9

8. FORMATO DE REGISTRO.

Proyecto: _____ Fecha: _____
 Ubicación: _____ Laboratorio: _____
 Método Empleado: _____

No. Ensayo	1	2	3
Deformaciones			
Deformación (mm)			
Diferencia entre deformaciones (mm)			
Deformación Promedio (mm)			
Contenido de Agua			
Masa Recipiente (g)			
Masa de suelo húmedo + recipiente (g)			
Masa de suelo seco + recipiente (g)			
Masa de agua (g)			
Masa de suelo seco (g)			
Contenido de Agua (%)			

Gráfico Deformación vr Humedad



Observaciones: _____



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS
POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN**
(Basado en la Norma BS 1377-2:1990)

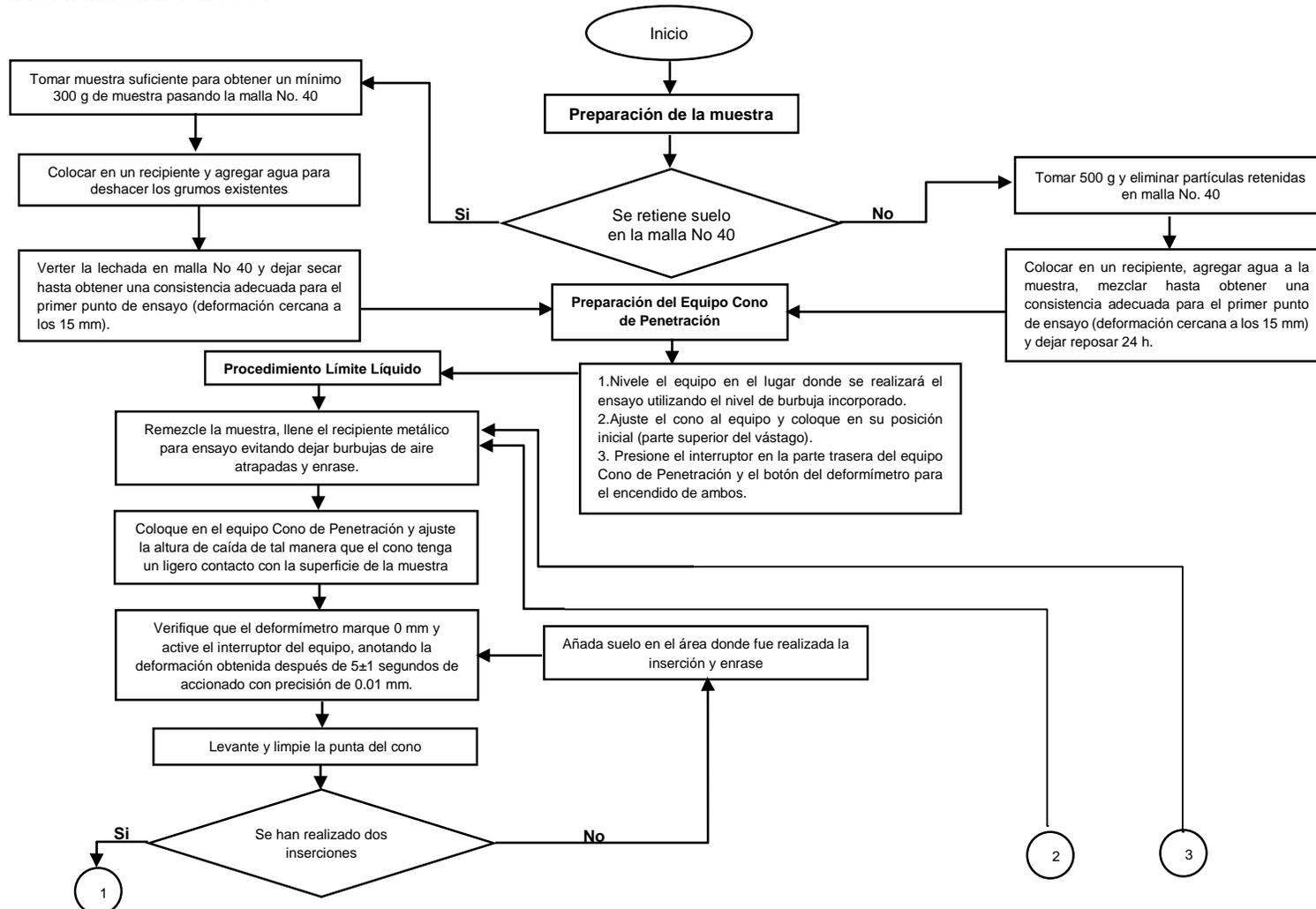


PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 8 de 9

9. DIAGRAMA DE FLUJO.





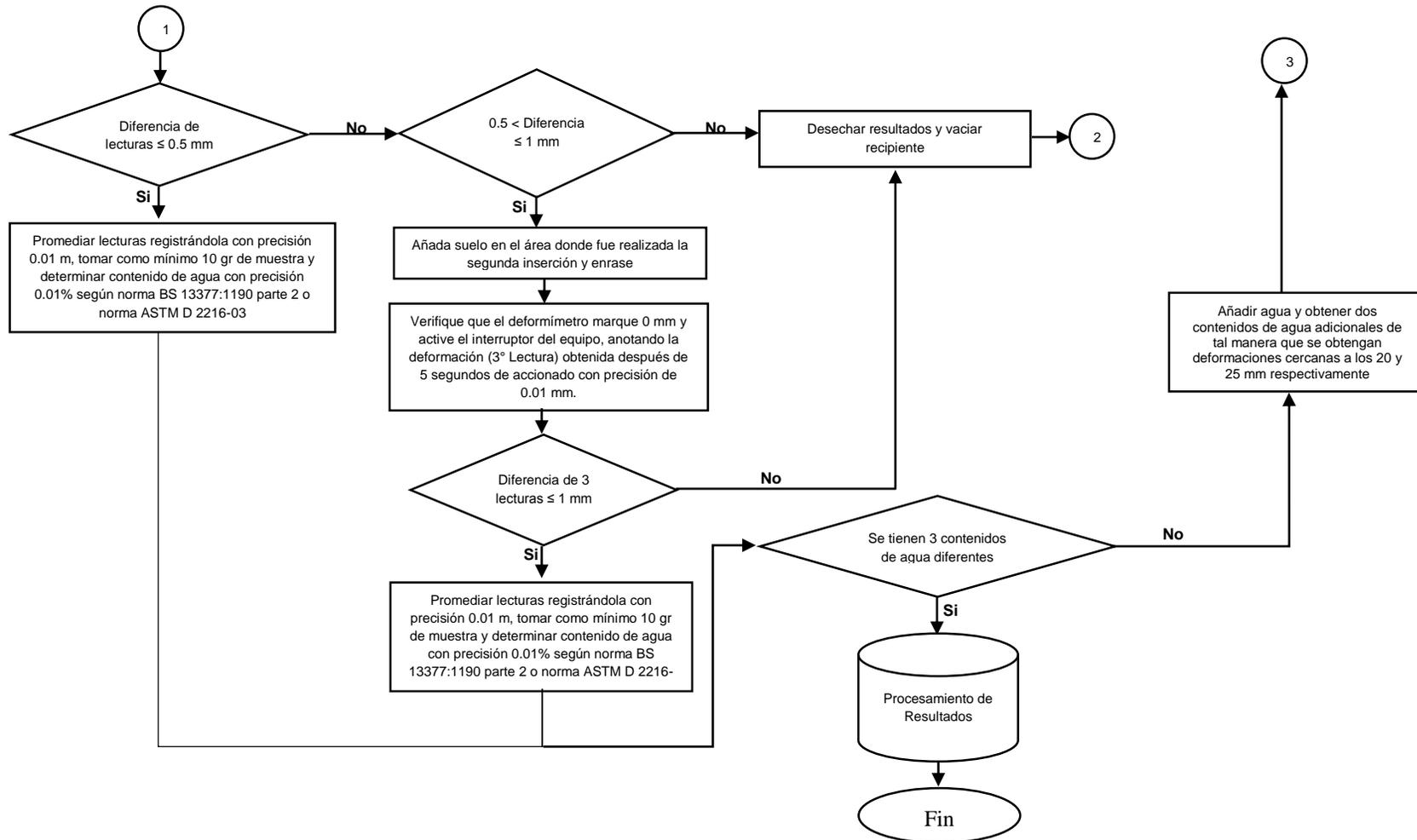
Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS
POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
(Basado en la Norma BS 1377-2:1990)**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 9 de 9



ANEXO B

PUNTOS DE MUESTREO

ANEXO B1 UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO



ANEXO B2 FICHAS DE CAMPO DE PUNTOS DE MUESTREO.

DATOS GENERALES DEL PUNTO DE MUESTREO.	
Lugar: Talud Este a Plaza Libertad de Expresión	
Municipio: Antigua Cuscatlán	Departamento: La Libertad
Nombre: Muestra #26	
Coordenadas (UTM):	Latitud: 13°39'39.5"N
	Longitud: 89°14'04.9"W
Descripción del lugar: Talud con alta vegetación con presencia de dos estratos, bastantes compactos. Estrato superior con apariencia arenosa. Perteneciente a la formación Bálsamo con litología efusivas básicas- intermedias	
Técnica de muestreo: Sondeo manual	
Instrumentos usados: Cucharones, Chuzos, GPS, Cuchillos y Corvo	
DATOS DE LA MUESTRA	
ID: #26	Fecha de muestreo: 12/07/2019
Altura de toma de muestra: 1.0 m del pie de talud	Color: Café claro
Textura: Fina	Humedad: Muestra con poca humedad
Cantidad de muestra: 2 a 3 kilogramos	Tipo de muestra: Alterada
Croquis de ubicación:	Fotografía:
	
Antigua Cuscatlán, al este de plaza libertad de expresión.	Ubicación de punto sobre talud donde se obtuvo la muestra.

Tabla: Ficha de campo No. 2 (ID 26)

Fuente: Elaboración propia.

DATOS GENERALES DEL PUNTO DE MUESTREO.		
Lugar: Talud Noreste a Plaza Libertad de Expresión.		
Municipio: Antiguo Cuscatlán		Departamento: La Libertad
Nombre: Muestreo #27		
Coordenadas (UTM):	Latitud: 13°39'39.5"N	Longitud: 89°14'04.9"W
Descripción del lugar: Muestra obtenida a 4 metros del pie del talud, conformado por dos estratos, el superior con presencia de arena y el inferior con granulometría fina. Perteneciente a la formación Bálsamo con litología efusivas básicas-intermedias		
Técnica de muestreo: Sondeo manual		
Instrumentos usados: Cucharones, Chuzos, GPS, Cuchillos y Corvo		
DATOS DE LA MUESTRA		
ID: #27		Fecha de muestreo: 12/07/2019
Altura de toma de muestra: 4.0 m del pie de talud		Color: Amarillo claro
Textura: Fina		Humedad: Muestra en estado seco
Cantidad de muestra: 2 a 3 kilogramos		Tipo de muestra: Alterada
Croquis de ubicación:		Fotografía:
		
<p>Antiguo Cuscatlán, al este de plaza libertad de expresión.</p>		<p>Punto de obtención de muestra, aproximadamente a 4 m de pie de talud</p>

Tabla: Ficha de campo No. 3 (ID 27)

Fuente: Elaboración propia.

DATOS GENERALES DEL PUNTO DE MUESTREO.		
Lugar: Corte Frente al Centro Cultural Buenos Aires		
Municipio: Antigua Cuscatlán		Departamento: La Libertad
Nombre: Muestreo #28		
Coordenadas (UTM):	Latitud: 13°39'23.9"N	Longitud: 89°15'19.6"W
Descripción del lugar: Corte de aproximadamente 2 metros de altura en Calle de acceso a Antigua Cuscatlán, zona con presencia alta presencia de vegetación, suelo con un grado de humedad medio. Perteneciente a la formación Bálsamo con litología efusivas básicas- intermedias.		
Técnica de muestreo: Sondeo manual		
Instrumentos usados: Cucharones, Chuzos, GPS, Cuchillos y Corvo		
DATOS DE LA MUESTRA		
ID: #28		Fecha de muestreo: 12/07/2019
Altura de toma de muestra: 1.5 m de corona de corte		Color: Café oscuro
Textura: Fina		Humedad: Muestra en estado seco
Cantidad de muestra: 2 a 3 kilogramos		Tipo de muestra: Alterada
Croquis de ubicación:		Fotografía:
 <p>Antigua Cuscatlán, al norte de final Bulevar Cuscatlán.</p>		 <p>Muestra obtenida a 1.5 m de corona de corte en área libre de vegetación</p>

Tabla: Ficha de campo No. 4 (ID 28)

Fuente: Elaboración propia.

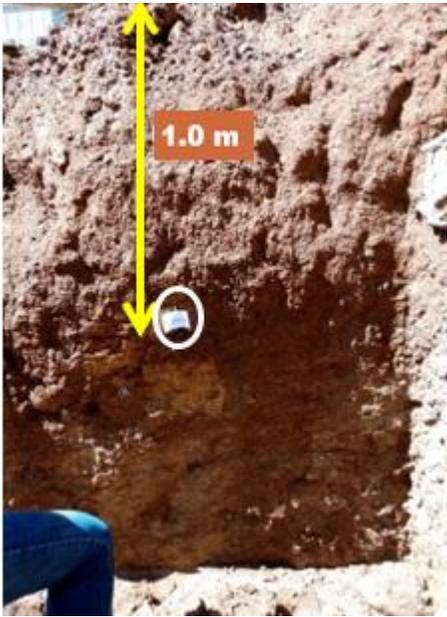
DATOS GENERALES DEL PUNTO DE MUESTREO.		
Lugar: Corte en Construcción Senda Alondra		
Municipio: Nuevo Cuscatlán		Departamento: La Libertad
Nombre: Muestreo #29		
Coordenadas (UTM):	Latitud: 13°39'20.8"N	Longitud: 89°15'20.7"W
Descripción del lugar: Se obtuvo la muestra a partir de un corte realizado en la excavación hecha para fundación, con una altura aproximada de 2.5 m. El suelo se observa bastante saturado, de color rojizo y granulometría fina. Perteneciente a la formación S.S con litología Cenizas volcánicas y tobas de lapilli.		
Técnica de muestreo: Sondeo manual		
Instrumentos usados: Cucharones, Chuzos, GPS, Cuchillos y Corvo		
DATOS DE LA MUESTRA		
ID: #29		Fecha de muestreo: 12/07/2019
Profundidad de toma de muestra: 1.0 m desde el nivel de calle		Color: Rojizo
Textura: Fina		Humedad: Muestra en estado húmedo
Cantidad de muestra: 2 a 3 kilogramos		Tipo de muestra: Alterada
Croquis de ubicación:		Fotografía:
		
Antigua Cuscatlán, final Bulevar Cuscatlán.		Ubicación de punto de obtención de muestra a una profundidad de 1 m de nivel de rasante

Tabla: Ficha de campo No. 5 (ID 29)

Fuente: Elaboración propia.

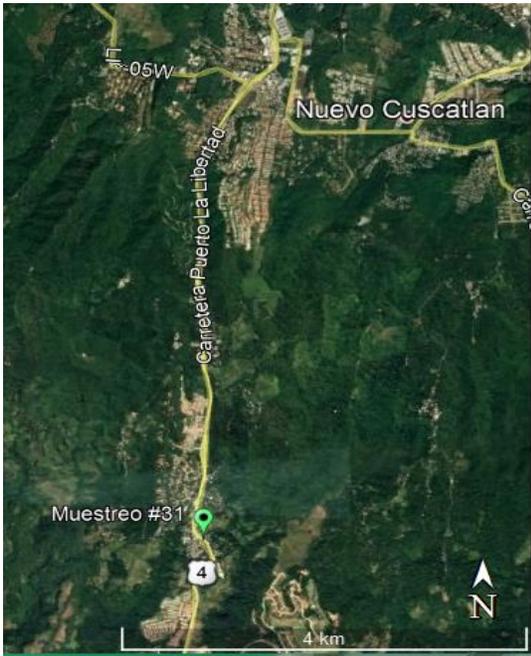
DATOS GENERALES DEL PUNTO DE MUESTREO.		
Lugar: Carretera al Puerto de La Libertad		
Municipio: Zaragoza	Departamento: La Libertad	
Nombre: Muestreo #31		
Coordenadas (UTM):	Latitud: 13°36'30.1"N	Longitud: 89°17'05.8"W
Descripción del lugar: Muestra obtenida de talud con altura aproximada de 7 metros, se observa poca vegetación alrededor del lugar de toma de muestra, material con poca humedad y color marrón claro. Perteneciente a la formación Cuscatlán con litología efusivas básicas- intermedias.		
Técnica de muestreo: Sondeo manual		
Instrumentos usados: Cucharones, Chuzos, GPS, Cuchillos y Corvo		
DATOS DE LA MUESTRA		
ID: #31	Fecha de muestreo: 12/07/2019	
Altura de toma de muestra: 5.0 m del pie de talud	Color: Marrón claro en la parte alta	
Textura: Gruesa	Humedad: Muestra en estado seco	
Cantidad de muestra: 2 a 3 kilogramos	Tipo de muestra: Alterada	
Croquis de ubicación:	Fotografía:	
 <p>Carretera al puerto de la Libertad, al norte del municipio de Zaragoza</p>	 <p>Punto de obtención de muestra en talud a 5 m de pie de talud</p>	

Tabla: Ficha de campo No. 6 (ID 31)

Fuente: Elaboración propia.

DATOS GENERALES DEL PUNTO DE MUESTREO.		
Lugar: Carretera al Puerto de La Libertad		
Municipio: Zaragoza	Departamento: La Libertad	
Nombre: Muestreo #32		
Coordenadas (UTM):	Latitud: 13°34'51.3"N	Longitud: 89°17'13.6"W
Descripción del lugar: La muestra fue tomada de un talud con altura aproximada de 3 metros, se observa vegetación por encima del lugar de toma de muestra. Perteneciente a la formación Cuscatlán con litología piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas.		
Técnica de muestreo: Sondeo manual		
Instrumentos usados: Cucharones, Chuzos, GPS, Cuchillos y Corvo		
DATOS DE LA MUESTRA		
ID: #32	Fecha de muestreo: 12/07/2019	
Altura de toma de muestra: 1.5 m del pie de talud	Color: Café claro	
Textura: Fina	Humedad: Muestra en estado húmedo	
Cantidad de muestra: 2 a 3 kilogramos	Tipo de muestra: Alterada	
Croquis de ubicación:	Fotografía:	
 <p>Carretera al puerto de la Libertad, al este del municipio de Zaragoza</p>	 <p>Obtención de muestra a 1.5 m de pie de talud</p>	

Tabla: Ficha de campo No. 7 (ID 32)

Fuente: Elaboración propia.

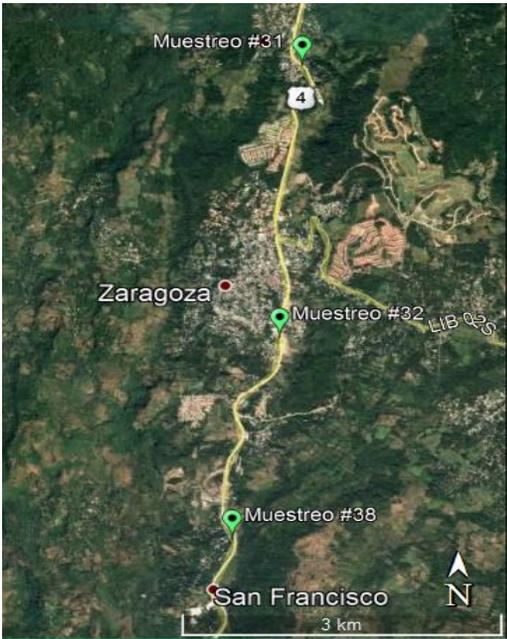
DATOS GENERALES DEL PUNTO DE MUESTREO.	
Lugar: Carretera al Puerto de La Libertad	
Municipio: Zaragoza	Departamento: La Libertad
Nombre: Muestreo #38	
Coordenadas (UTM):	Latitud: 13°33'38.7"N
	Longitud: 89°17'28.8"W
Descripción del lugar: La muestra fue obtenida de un talud con altura aproximada de 8 metros, formado con material de granulometría fina y con presencia de rocas de gran tamaño. Perteneciente a la formación Cuscatlán con litología piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas.	
Técnica de muestreo: Sondeo manual	
Instrumentos usados: Cucharones, Chuzos, GPS, Cuchillos y Corvo	
DATOS DE LA MUESTRA	
ID: #38	Fecha de muestreo: 12/07/2019
Altura de toma de muestra: 1.0 m del pie de talud	Color: Café
Textura: Fina	Humedad: Muestra en estado húmedo
Cantidad de muestra: 2 a 3 kilogramos	Tipo de muestra: Alterada
Croquis de ubicación:	Fotografía:
 <p style="text-align: center;">Carretera al puerto de la Libertad, al sur del municipio de Zaragoza</p>	 <p style="text-align: center;">Muestra obtenida a 1 m de pie de talud</p>

Tabla: Ficha de campo No. 8 (ID 38).

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO C
DATOS
Y
RESULTADOS OBTENIDOS

**ANEXO C1
RESULTADOS
DETERMINACIÓN DEL
CONTENIDO DE AGUA
(HUMEDAD) DE UN SUELO EN
LABORATORIO, POR MASA**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 1 de 20

LIMOS DE ALTA COMPRESIBILIDAD (MH)

Proyecto: _____ Trabajo de Investigación
Ubicación: _____ Guazapa, San Salvador
Temperatura de Secado: _____ 110±5°C

Fecha: _____ 06/05/2019
Laboratorista: _____ J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#1 (ID 6)	
	1	2
No. de recipiente	1	2
Masa de recipiente (g)	10.33	10.01
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	86.36	85.44
Masa de suelo seco + recipiente (g)	76.24	75.04
Masa de agua (g)	10.12	10.40
Masa de suelo seco (g)	65.91	65.03
Contenido de agua %	15.4	16.0
Contenido de agua promedio %	15.7	

Observaciones: _____ Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 2 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Apaneca, Ahuachapán
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 06/05/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#2 (ID 7)	
No. de recipiente	14	4
Masa de recipiente (g)	10.74	10.22
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	95.24	97.27
Masa de suelo seco + recipiente (g)	62.02	62.92
Masa de agua (g)	33.22	34.35
Masa de suelo seco (g)	51.28	52.7
Contenido de agua %	64.8	65.2
Contenido de agua promedio %	65.0	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **3** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Sensuntepeque, Cabañas
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 06/05/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#3 (ID 8)	
No. de recipiente	12	1
Masa de recipiente (g)	10.45	11.25
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	75.45	80.91
Masa de suelo seco + recipiente (g)	71.97	77.31
Masa de agua (g)	3.48	3.60
Masa de suelo seco (g)	61.52	66.06
Contenido de agua %	5.7	5.4
Contenido de agua promedio %	5.6	

Observaciones: **Limos de Alta Compresibilidad (MH)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **4** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Apaneca, Ahuachapán
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 06/05/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#4 (ID 10)	
No. de recipiente	3	24
Masa de recipiente (g)	9.72	10.48
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	67.58	73.62
Masa de suelo seco + recipiente (g)	48.16	52.28
Masa de agua (g)	19.42	21.34
Masa de suelo seco (g)	38.44	41.8
Contenido de agua %	50.5	51.1
Contenido de agua promedio %	50.8	

Observaciones: **Limos de Alta Compresibilidad (MH)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 5 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Guacotecti, Cabañas
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 06/05/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#5 (ID 13)	
	No. de recipiente	13
Masa de recipiente (g)	11.80	10.82
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	105.64	96.61
Masa de suelo seco + recipiente (g)	83.10	75.82
Masa de agua (g)	22.54	20.79
Masa de suelo seco (g)	71.30	65.00
Contenido de agua %	31.6	32.0
Contenido de agua promedio %	31.8	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **6** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Sonsonate, Sonsonate
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 15/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#6 (ID 20)	
No. de recipiente	31	22
Masa de recipiente (g)	18.10	10.81
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	99.21	104.97
Masa de suelo seco + recipiente (g)	77.51	79.68
Masa de agua (g)	21.70	25.29
Masa de suelo seco (g)	71.30	68.87
Contenido de agua %	36.5	36.7
Contenido de agua promedio %	36.6	

Observaciones: **Limos de Alta Compresibilidad (MH)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 7 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 15/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#7 (ID 26)	
	10	99
No. de recipiente	10.08	10.30
Masa de recipiente (g)	50.55	41.21
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	39.91	33.11
Masa de agua (g)	10.64	8.10
Masa de suelo seco (g)	29.83	22.81
Contenido de agua %	35.7	35.5
Contenido de agua promedio %	35.6	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **8** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 15/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#8 (ID 29)	
	7	18
No. de recipiente	7	18
Masa de recipiente (g)	11.02	9.71
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	43.60	40.51
Masa de suelo seco + recipiente (g)	35.50	32.88
Masa de agua (g)	8.10	7.63
Masa de suelo seco (g)	24.48	23.17
Contenido de agua %	33.1	32.9
Contenido de agua promedio %	33.0	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **9** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Zaragoza, La Libertad
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 15/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#9 (ID 32)	
	7	18
No. de recipiente	7	18
Masa de recipiente (g)	10.25	11.26
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	43.19	43.55
Masa de suelo seco + recipiente (g)	34.70	35.27
Masa de agua (g)	8.49	8.28
Masa de suelo seco (g)	24.45	24.01
Contenido de agua %	34.7	34.5
Contenido de agua promedio %	34.6	

Observaciones: **Limos de Alta Compresibilidad (MH)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **10** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Zaragoza, La Libertad
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 15/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#10 (ID 38)	
No. de recipiente	17	8
Masa de recipiente (g)	10.59	11.02
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	36.02	38.54
Masa de suelo seco + recipiente (g)	28.64	30.57
Masa de agua (g)	7.38	7.97
Masa de suelo seco (g)	18.05	24.01
Contenido de agua %	40.9	19.5
Contenido de agua promedio %	40.8	

Observaciones: **Limos de Alta Compresibilidad (MH)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **11** de **20**

LIMOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD (ML).

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 06/05/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#1 (ID 9)	
No. de recipiente	17	8
Masa de recipiente (g)	10.62	10.33
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	86.32	86.18
Masa de suelo seco + recipiente (g)	81.34	81.31
Masa de agua (g)	4.98	4.87
Masa de suelo seco (g)	70.72	70.98
Contenido de agua %	7.0	6.9
Contenido de agua promedio %	7.0	

Observaciones: **Limos de Baja Compresibilidad (ML)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **12** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 06/05/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#2 (ID 11)	
No. de recipiente	13	28
Masa de recipiente (g)	9.39	10.39
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	70.59	73.53
Masa de suelo seco + recipiente (g)	63.50	65.90
Masa de agua (g)	7.09	7.63
Masa de suelo seco (g)	54.11	55.51
Contenido de agua %	13.1	13.7
Contenido de agua promedio %	13.4	

Observaciones: **Limos de Baja Compresibilidad (ML)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **13** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Santa Ana, Santa Ana
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 06/05/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#3 (ID 12)	
	No. de recipiente	13
Masa de recipiente (g)	10.83	10.24
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	84.91	84.26
Masa de suelo seco + recipiente (g)	67.58	66.96
Masa de agua (g)	17.33	17.30
Masa de suelo seco (g)	56.75	56.72
Contenido de agua %	30.5	30.5
Contenido de agua promedio %	30.5	

Observaciones: **Limos de Baja Compresibilidad (ML)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **14** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 15/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#4 (ID 18)	
	15	44
No. de recipiente	15	44
Masa de recipiente (g)	10.35	10.10
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	93.31	88.10
Masa de suelo seco + recipiente (g)	76.02	71.93
Masa de agua (g)	17.29	16.17
Masa de suelo seco (g)	65.67	61.83
Contenido de agua %	26.3	26.2
Contenido de agua promedio %	26.2	

Observaciones: **Limos de Baja Compresibilidad (ML)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **15** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Zaragoza, La Libertad
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 15/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#5 (ID 19)	
	No. de recipiente	12
Masa de recipiente (g)	10.24	10.65
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	94.49	110.37
Masa de suelo seco + recipiente (g)	74.78	87.12
Masa de agua (g)	19.71	23.25
Masa de suelo seco (g)	64.54	76.47
Contenido de agua %	30.5	30.4
Contenido de agua promedio %	30.5	

Observaciones: **Limos de Baja Compresibilidad (ML)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **16** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Quelepa, San Miguel
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 15/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#6 (ID 21)	
	No. de recipiente	25
Masa de recipiente (g)	11.27	11.01
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	101.29	103.40
Masa de suelo seco + recipiente (g)	92.79	94.61
Masa de agua (g)	8.50	8.79
Masa de suelo seco (g)	81.52	83.60
Contenido de agua %	10.4	10.5
Contenido de agua promedio %	10.5	

Observaciones: **Limos de Baja Compresibilidad (ML)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 17 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: San Salvador, San Salvador
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 23/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#7 (ID 23)	
No. de recipiente	34	99
Masa de recipiente (g)	14.57	10.29
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	38.69	41.73
Masa de suelo seco + recipiente (g)	32.88	34.17
Masa de agua (g)	5.81	7.56
Masa de suelo seco (g)	18.31	23.88
Contenido de agua %	31.7	31.7
Contenido de agua promedio %	31.7	

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **18** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 15/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#8 (ID 27)	
	41	17
No. de recipiente	41	17
Masa de recipiente (g)	17.95	18.00
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	46.26	43.10
Masa de suelo seco + recipiente (g)	39.08	36.75
Masa de agua (g)	7.18	6.35
Masa de suelo seco (g)	21.13	18.75
Contenido de agua %	34.0	33.9
Contenido de agua promedio %	33.9	

Observaciones: **Limos de Baja Compresibilidad (ML)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **19** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 24/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#9 (ID 28)	
	18	7
No. de recipiente	18	7
Masa de recipiente (g)	10.62	9.40
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	35.64	35.48
Masa de suelo seco + recipiente (g)	30.43	30.07
Masa de agua (g)	5.21	5.41
Masa de suelo seco (g)	19.81	20.67
Contenido de agua %	26.3	26.2
Contenido de agua promedio %	26.2	

Observaciones: **Limos de Baja Compresibilidad (ML)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA
(Basado en la Norma ASTM D 2216 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **20** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Zaragoza, La Libertad
Temperatura de Secado: 110±5°C

Fecha: 15/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Contenido de Humedad

Muestra	#10 (ID 31)	
	18	7
No. de recipiente	18	7
Masa de recipiente (g)	10.33	17.77
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	60.34	59.23
Masa de suelo seco + recipiente (g)	47.98	49.00
Masa de agua (g)	12.36	10.23
Masa de suelo seco (g)	37.65	31.23
Contenido de agua %	32.8	32.8
Contenido de agua promedio %	32.8	

Observaciones: **Limos de Baja Compresibilidad (ML)**

ANEXO C2
RESULTADOS DE GRAVEDAD
ESPECÍFICA



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
 DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
 DEL PICNOMETRO CON AGUA
 (Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 1 de 20

Nota: Debido a que en algunos casos la diferencia entre ambos resultados es mayor a lo permitido en la norma, se seleccionó el valor a utilizarse basado en las características granulométricas de cada muestra.

LIMOS DE ALTA COMPRESIBILIDAD (MH).

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Guazapa, San Salvador
 Método Empleado: Método B

Fecha: 16/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	# 1 (ID 6)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.8	25.8
Densidad del agua a temperatura de ensayo, g/ml	0.99684	0.99684
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	675.00	674.35
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	708.20	708.41
No. de recipiente	12	X4
Masa de recipiente, g	9.39	10.29
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	63.76	65.70
Masa de los sólidos del suelo, g	54.37	55.41
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.57	2.60
Coeficiente de temperatura	0.99863	0.99863
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.56	2.58
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.58	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 2 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Apaneca, Ahuachapán
Método Empleado: Método B

Fecha: 25/09/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	# 2 (ID 7)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.8	25.5
Densidad del agua a temperatura de ensayo, g/ml	0.99684	0.99692
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	700.6	723.6
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	674.97	690.35
No. de recipiente	A4	23
Masa de recipiente, g	11.27	11.01
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	52.07	63.81
Masa de los sólidos del suelo, g	40.8	52.8
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.69	2.70
Coefficiente de temperatura	0.99863	0.99871
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.69	2.70
Gravedad específica a temperatura de 20° C, promedio (G_s)	2.69	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 3 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Sensuntepeque, Cabañas
Método Empleado: Método B

Fecha: 25/09/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	# 3 (ID 8)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.5	25.5
Densidad del agua a temperatura de ensayo, g/ml	0.99692	0.99692
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	705.9	705.9
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	675.05	674.45
No. de recipiente	12	X4
Masa de recipiente, g	9.39	10.29
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	59.39	60.79
Masa de los sólidos del suelo, g	50	50.5
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.61	2.65
Coefficiente de temperatura	0.99871	0.99871
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.61	2.65
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.65	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
 DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
 DEL PICNOMETRO CON AGUA
 (Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 4 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Apaneca, Ahuachapán
 Método Empleado: Método B

Fecha: 14/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	# 4 (ID 10)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.2	25.5
Densidad del agua a temperatura. de ensayo, g/ml	0.99700	0.99692
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	713.82	726.24
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	674.5	690.4
No. de recipiente	A4	23
Masa de recipiente, g	11.27	11.01
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	65.45	68.19
Masa de los sólidos del suelo, g	54.18	57.18
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.65	2.68
Coefficiente de temperatura	0.99868	0.99871
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.65	2.68
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.65	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
 DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
 DEL PICNOMETRO CON AGUA
 (Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 5 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Guacotecti, Cabañas
 Método Empleado: Método B

Fecha: 16/05/2019
 Laboratorio: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	# 5 (ID 13)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.0	25.0
Densidad del agua a temperatura de ensayo, g/ml	0.99705	0.99705
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	726.5	709.8
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	690.5	674.55
No. de recipiente	12	X4
Masa de recipiente, g	9.39	10.29
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	66.21	65.72
Masa de los sólidos del suelo, g	56.82	55.43
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.73	2.75
Coefficiente de temperatura	0.99884	0.99884
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.73	2.74
Gravedad específica a temperatura de 20° C, promedio (G_s)	2.73	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 6 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Sonsonate, Sonsonate
Método Empleado: Método B

Fecha: 29/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#6 (ID 20)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	24.1	24.3
Densidad del agua a temperatura. de ensayo, g/ml	0.99727	0.99723
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	703.26	711.92
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	666.3	674.65
No. de recipiente	A4	23
Masa de recipiente, g	11.27	11.01
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	68.09	66.44
Masa de los sólidos del suelo, g	56.82	55.43
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.73	2.75
Coeficiente de temperatura	0.99884	0.99884
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.73	2.74
Gravedad específica a temperatura de 20° C, promedio (G_s)	2.73	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 7 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
Método Empleado: Método B

Fecha: 02/09/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#7 (ID 26)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.8	25.5
Densidad del agua a temperatura de ensayo, g/ml	0.99684	0.99692
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	700.6	723.6
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	674.97	690.35
No. de recipiente	12	X4
Masa de recipiente, g	9.39	10.29
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	55.59	56.49
Masa de los sólidos del suelo, g	46.2	46.2
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.65	2.62
Coeficiente de temperatura	0.99881	0.99884
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.65	2.61
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.65	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 8 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
Método Empleado: Método B

Fecha: 29/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#8 (ID 29)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.2	25.1
Densidad del agua a temperatura. de ensayo, g/ml	0.99700	0.99702
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	709.25	725.51
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	675.1	690.45
No. de recipiente	A4	23
Masa de recipiente, g	11.27	11.01
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	61.77	66.33
Masa de los sólidos del suelo, g	50.5	55.32
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.71	2.73
Coeficiente de temperatura	0.99879	0.99881
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.71	2.73
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.73	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 9 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación

Fecha: 02/09/2019

Ubicación: Zaragoza, La Libertad

Laboratorista: J.A.P.G

Método Empleado: Método B

Gravedad Específica

Muestra	#9 (ID 32)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.0	25.0
Densidad del agua a temperatura. de ensayo, g/ml	0.99705	0.99705
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	684.9	694.7
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	656.9	666.18
No. de recipiente	12	X4
Masa de recipiente, g	9.39	10.29
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	64.46	56.29
Masa de los sólidos del suelo, g	55.07	46.0
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.64	2.63
Coeficiente de temperatura	0.99881	0.99879
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.63	2.63
Gravedad específica a temperatura de 20° C, promedio (G_s)	2.63	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
 DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
 DEL PICNOMETRO CON AGUA
 (Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **10** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad
 Método Empleado: Método B

Fecha: 24/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#10 (ID 38)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	26.5	26.2
Densidad del agua a temperatura. de ensayo, g/ml	0.99665	0.99673
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	708.1	707.3
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	674.28	674.95
No. de recipiente	A4	23
Masa de recipiente, g	11.27	11.01
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	56.37	64.37
Masa de los sólidos del suelo, g	45.1	53.36
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.51	2.54
Coeficiente de temperatura	0.99844	0.99852
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.51	2.54
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.54	

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
 DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
 DEL PICNOMETRO CON AGUA
 (Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **11** de **20**

LIMOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD (ML).

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Método B

Fecha: 13/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#1 (ID 9)	
	Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.2
Densidad del agua a temperatura. de ensayo, g/ml	0.99700	0.99702
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	724.83	710.76
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	690.3	674.45
No. de recipiente	A4	23
Masa de recipiente, g	11.27	11.01
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	65.45	68.33
Masa de los sólidos del suelo, g	54.18	57.32
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.76	2.73
Coefficiente de temperatura	0.99879	0.99881
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.75	2.72
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.72	

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
 DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
 DEL PICNOMETRO CON AGUA
 (Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 12 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Método B

Fecha: 15/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#2 (ID 11)	
	Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.2
Densidad del agua a temperatura. de ensayo, g/ml	0.99700	0.99702
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	724.99	708.25
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	692.65	675.15
No. de recipiente	12	X4
Masa de recipiente, g	9.39	10.29
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	60.10	62.32
Masa de los sólidos del suelo, g	50.71	52.03
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.76	2.75
Coefficiente de temperatura	0.99879	0.99881
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.76	2.75
Gravedad específica a temperatura de 20° C, promedio (G_s)	2.75	

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
 DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
 DEL PICNOMETRO CON AGUA
 (Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 13 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Santa Ana, Santa Ana
 Método Empleado: Método B

Fecha: 15/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#3 (ID 12)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.2	25.2
Densidad del agua a temperatura. de ensayo, g/ml	0.99700	0.99700
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	723.99	707.58
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	690.45	674.55
No. de recipiente	A4	23
Masa de recipiente, g	11.27	11.01
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	64.13	63.56
Masa de los sólidos del suelo, g	52.86	52.55
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.74	2.69
Coefficiente de temperatura	0.99879	0.99879
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.73	2.69
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar	2.69	

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 14 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
Método Empleado: Método B

Fecha: 25/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestras	#4 (ID 18)	
	Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.0
Densidad del agua a temperatura de ensayo, g/ml	0.99705	0.99715
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	726.60	710.28
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	690.45	675.2
No. de recipiente	12	X4
Masa de recipiente, g	9.39	10.29
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	66.57	67.22
Masa de los sólidos del suelo, g	57.18	56.93
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.63	2.61
Coeficiente de temperatura	0.99871	0.99894
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.62	2.60
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.60	

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 15 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Zaragoza, La Libertad
Método Empleado: Método B

Fecha: 24/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#5 (ID 19)	
	Temperatura de ensayo (T_e), °C	27.2
Densidad del agua a temperatura de ensayo, g/ml	0.99646	0.99649
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	707.71	708.95
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	674.15	674.80
No. de recipiente	A4	23
Masa de recipiente, g	11.27	11.01
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	68.20	69.40
Masa de los sólidos del suelo, g	56.93	58.39
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.62	2.62
Coeficiente de temperatura	0.99894	0.99884
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.62	2.62
Gravedad específica a temperatura de 20° C, promedio (G_s)	2.62	

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
 DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
 DEL PICNOMETRO CON AGUA
 (Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 16 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Quelepa, San Miguel
 Método Empleado: Método B

Fecha: 27/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#6 (ID 21)	
	Temperatura de ensayo (T_e), °C	27.2
Densidad del agua a temperatura. de ensayo, g/ml	0.99646	0.99646
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	722.6	724.34
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	689.6	690.1
No. de recipiente	12	X4
Masa de recipiente, g	9.39	10.29
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	64.05	66.61
Masa de los sólidos del suelo, g	54.66	56.32
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.52	2.55
Coeficiente de temperatura	0.99825	0.99825
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.52	2.55
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.52	

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página 17 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: San Salvador, San Salvador
Método Empleado: Método B

Fecha: 25/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#7 (ID 23)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	26.1	26.2
Densidad del agua a temperatura de ensayo, g/ml	0.99676	0.99673
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	710.28	685.2
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	675.2	657.0
No. de recipiente	A4	23
Masa de recipiente, g	11.27	11.01
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	68.20	57.21
Masa de los sólidos del suelo, g	56.93	46.20
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.61	2.58
Coeficiente de temperatura	0.99894	0.99852
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.60	2.58
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.58	

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
 DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
 DEL PICNOMETRO CON AGUA
 (Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 18 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Método B

Fecha: 16/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#8 (ID 27)	
	Temperatura de ensayo (T_e), °C	26.1
Densidad del agua a temperatura. de ensayo, g/ml	0.99676	0.99679
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	703.8	711.5
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	666.5	674.85
No. de recipiente	12	X4
Masa de recipiente, g	9.39	10.29
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	72.99	72.59
Masa de los sólidos del suelo, g	63.60	63.30
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.42	2.38
Coeficiente de temperatura	0.99855	0.99858
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.41	2.37
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.41	

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
DEL PICNOMETRO CON AGUA
(Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **19** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
Método Empleado: Método B

Fecha: 25/07/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#9 (ID 28)	
Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.9	26.1
Densidad del agua a temperatura de ensayo, g/ml	0.99681	0.99676
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	715.8	704.3
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	690.6	674.35
No. de recipiente	A4	23
Masa de recipiente, g	11.27	11.01
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	53.77	61.51
Masa de los sólidos del suelo, g	42.20	50.50
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.48	2.46
Coeficiente de temperatura	0.9986	0.99855
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.48	2.45
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.45	

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
 DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO
 DEL PICNOMETRO CON AGUA
 (Basado en la Norma ASTM D 854 – 03).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 20 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Método B

Fecha: 12/09/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Gravedad Específica

Muestra	#10 (ID 31)	
	Temperatura de ensayo (T_e), °C	25.2
Densidad del agua a temperatura. de ensayo, g/ml	0.99700	0.99702
Masa de picnómetro + suelo + agua a T_e , g	701.83	707.93
Masa de picnómetro + agua a T_e , g	666.17	674.54
No. de recipiente	12	X4
Masa de recipiente, g	9.39	10.29
Masa de sólidos del suelo+ recipiente, g	67.35	65.36
Masa de los sólidos del suelo, g	57.96	55.07
Gravedad específica a temperatura de ensayo, (G_t)	2.60	2.54
Coeficiente de temperatura	0.99879	0.99881
Gravedad específica a temperatura de 20° C, (G_s)	2.60	2.54
Gravedad específica a temperatura de 20° C a utilizar.	2.60	

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)

ANEXO C3
RESULTADOS DE DISTRIBUCIÓN
DEL TAMAÑO DE LAS
PARTÍCULAS DEL SUELO

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 1 de 20	

LIMOS DE ALTA COMPRESIBILIDAD (MH).

Proyecto: Trabajo de Investigación Fecha: 26/09/2019
 Ubicación: Guazapa, San Salvador Laboratorista: J.A.P.G
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

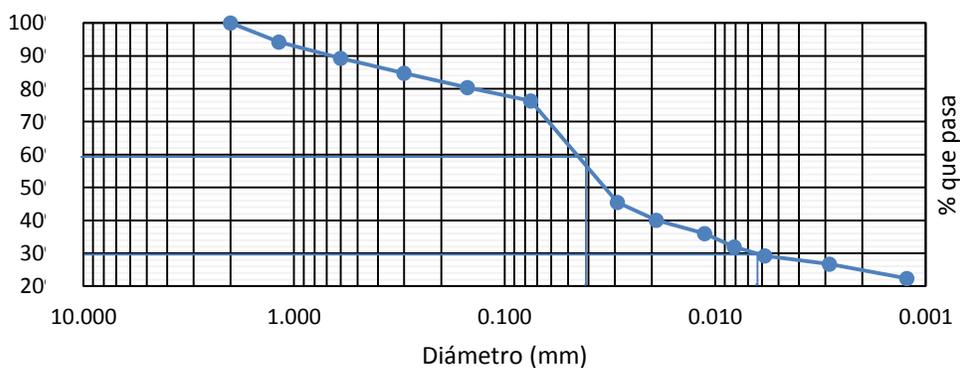
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 1 (ID 6) Gs de los sólidos: 2.57 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 1.02
 Masa Seca: 57 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	24.9	40	33.27	45.43%	41	9.7	0.01321	0.029092007
5	25	36	29.30	40.01%	37	10.4	0.01319	0.019022889
15	25.1	33	26.34	35.97%	34	10.9	0.01318	0.011235257
30	25.2	30	23.37	31.91%	31	11.4	0.01316	0.008112369
60	25.3	28	21.41	29.23%	29	11.7	0.01315	0.005806883
250	25.8	26	19.58	26.74%	27	12.0	0.01307	0.002863494
1440	25.2	23	16.37	22.35%	24	12.5	0.01318	0.001227974

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	1.8	1.8	3.30	5.8%	5.8%	94.2%
30	2.8	2.8	2.8	4.9%	10.7%	89.3%
50	2.6	2.6	2.6	4.6%	15.3%	84.7%
100	2.5	2.5	2.5	4.4%	19.6%	80.4%
200	2.3	2.3	2.3	4.0%	23.7%	76.3%
Pasa 200	0.1	43.51	43.51	76.3%	100.0%	0.0%
Total	12.1	55.51	57.01			

Curva Granulométrica Muestra 1 (MH)



D10	N/A
D30	0.007
D60	0.045
Cu	---
Cc	---

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	23.7
Finos	76.3

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 2 de 20	

Proyecto: Trabajo de Investigación Fecha: 26/09/2019
 Ubicación: Apaneca, Ahuachapán Laboratorio: J.A.P.G
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

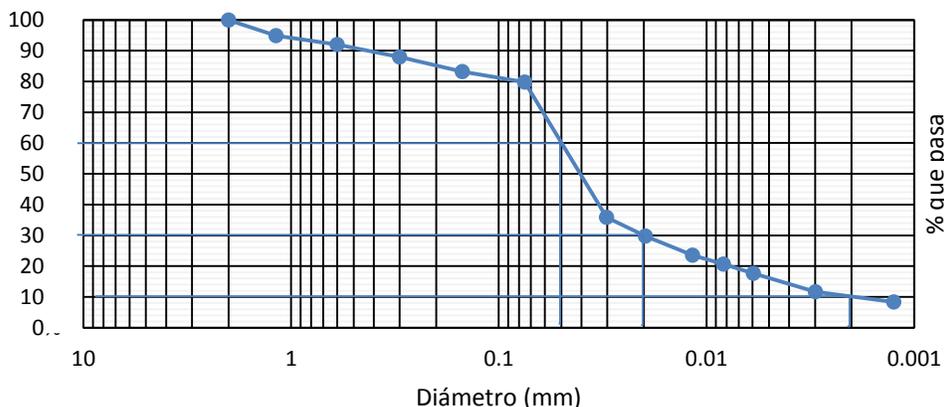
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 2 (ID 7) Gs de los sólidos: 2.69 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 0.99
 Masa Seca: 51.4 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	25.1	30	23.34	35.87%	31	11.4	0.01269	0.03029696
5	25.2	26	19.37	29.77%	27	12.0	0.01268	0.019643772
15	25.1	22	15.34	23.57%	23	12.7	0.01269	0.011676639
30	25.3	20	13.41	20.61%	21	13.0	0.01257	0.008274587
60	25.5	18	11.48	17.64%	19	13.3	0.01264	0.0059511
250	25.8	14	7.58	11.65%	15	14.0	0.012596	0.002980758
1440	25.3	12	5.41	8.31%	13	14.3	0.01257	0.001252628

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	0.5	0.5	2.60	5.1%	5.1%	94.9%
30	1.5	1.5	1.5	2.9%	8.0%	92.0%
50	2.1	2.1	2.1	4.1%	12.1%	87.9%
100	2.4	2.4	2.4	4.7%	16.7%	83.3%
200	1.8	1.8	1.8	3.5%	20.2%	79.8%
Pasa 200	0.5	40.98	40.98	79.8%	100.0%	0.0%
Total	8.8	49.28	51.38			

Curva Granulométrica Muestra 2 (MH)



D10	0.0025
D30	0.02
D60	0.05
Cu	20.0
Cc	3.2

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	20.2
Finos	79.8

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 3 de 20	

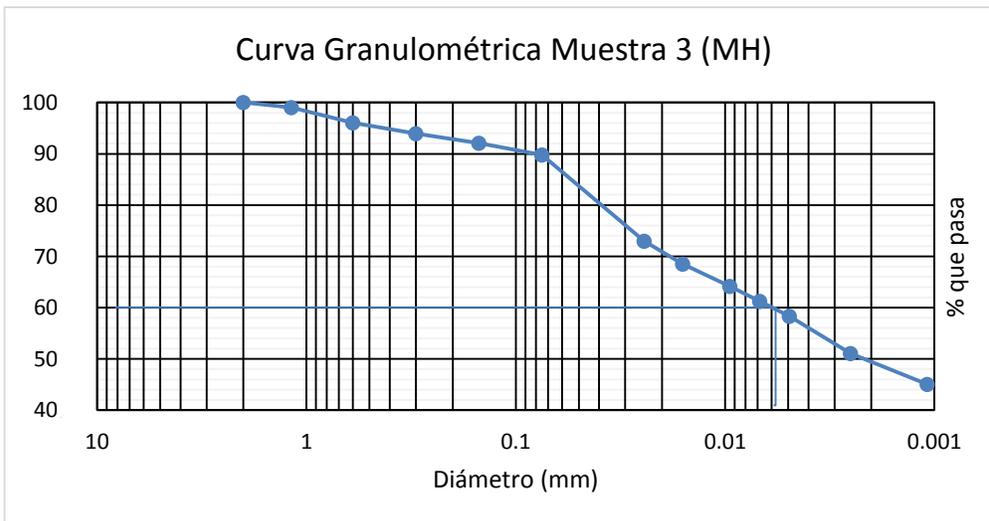
Proyecto: Trabajo de Investigación Fecha: 23/05/2019
 Ubicación: Sensuntepeque, Cabañas Laboratorista: J.A.P.G
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 3 (ID 8) Gs de los sólidos: 2.63 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 0.99
 Masa Seca: 60.8 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	25.1	30	49.37	72.95%	57	7.1	0.012912	0.024328072
5	25.2	26	46.37	68.51%	54	7.6	0.012912	0.015918983
15	25.1	22	43.41	64.14%	51	8.1	0.012898	0.009478056
30	25.3	20	41.44	61.23%	49	8.4	0.012884	0.006817572
60	25.5	18	39.48	58.33%	47	8.8	0.01287	0.004928835
250	25.8	14	34.58	51.09%	42	9.6	0.012828	0.002513764
1440	25.3	12	30.48	45.03%	38	10.2	0.01287	0.001083172

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	0.6	0.6	0.60	1.0%	1.0%	99.0%
30	1.8	1.8	1.8	3.0%	3.9%	96.1%
50	1.3	1.3	1.3	2.1%	6.1%	93.9%
100	1.1	1.1	1.1	1.8%	7.9%	92.1%
200	0.2	0.2	1.40	2.3%	10.2%	89.8%
Pasa 200	1	54.58	54.58	89.8%	100.0%	0.0%
Total	6	59.58	60.78			



	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 4 de 20	

Proyecto: Trabajo de Investigación Fecha: 21/05/2019
 Ubicación: Apaneca, Ahuachapán Laboratorista: J.A.P.G
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

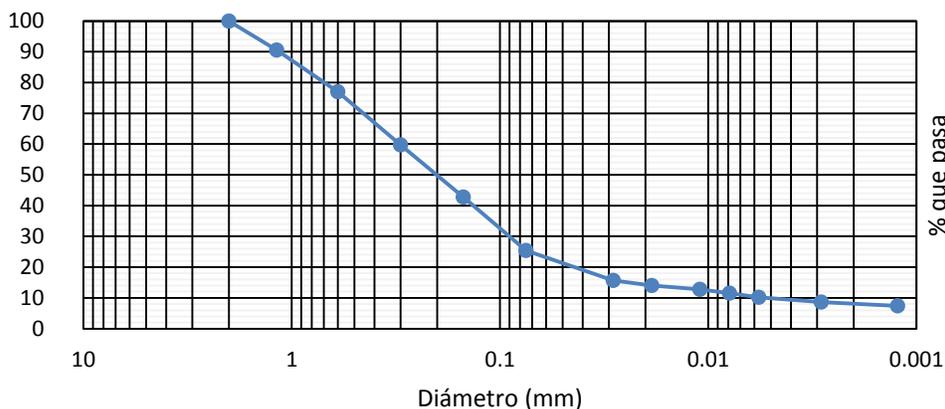
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 4 (ID 10) Gs de los sólidos: 2.66 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 1.00
 Masa Seca: 60.3 g Corrección por defloculante: 1

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	27.5	36	37.25	15.72%	37	10.4	0.012502	0.028508946
5	27.5	32	33.25	14.03%	33	11.1	0.012502	0.01862756
15	27.5	29	30.25	12.76%	30	11.5	0.012502	0.010946689
30	27.5	26	27.25	11.50%	27	12.0	0.012502	0.007906959
60	27.3	23	24.15	10.19%	24	12.5	0.012518	0.005713659
250	27.9	19	20.45	8.63%	20	13.2	0.01247	0.002865388
1440	25.9	17	17.62	7.43%	18	13.5	0.012696	0.001229285

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	5.64	5.64	5.72	9.5%	9.5%	90.5%
30	8.13	8.13	8.13	13.5%	23.0%	77.0%
50	10.44	10.44	10.44	17.3%	40.3%	59.7%
100	10.21	10.21	10.21	16.9%	57.2%	42.8%
200	10.45	10.45	10.45	17.3%	74.6%	25.4%
Pasa 200	3.52	15.33	15.33	25.4%	100.0%	0.0%
Total	48.39	60.20	60.28			

Curva Granulométrica Muestra 4 (MH)



D10	0.006
D30	0.09
D60	0.3
Cu	50.0
Cc	4.5

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	74.6
Finos	25.4

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 5 de 20	

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Guacotecti, Cabañas
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

Fecha: 21/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

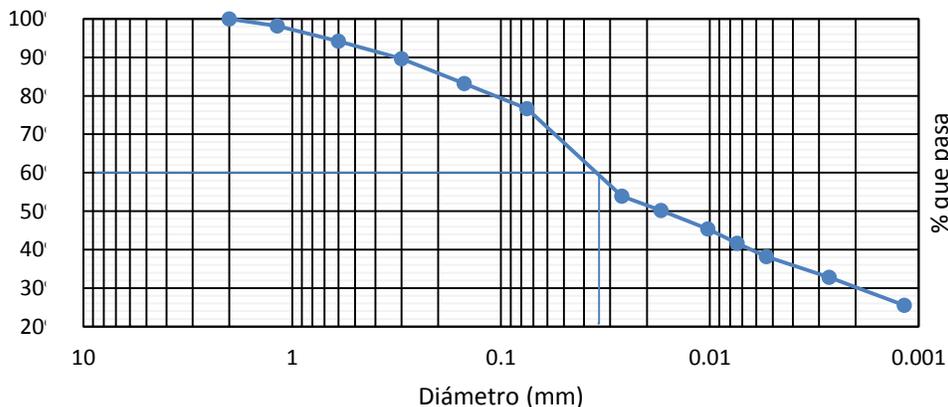
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 5 (ID 13) Gs de los sólidos: 2.73 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 0.99
 Masa Seca: 61.4 g Corrección por defloculante: 1

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	27.2	43	44.10	53.92%	44	9.2	0.012279	0.02633595
5	27.1	40	41.05	50.19%	41	9.7	0.012281	0.017104897
15	27.2	36	37.10	45.36%	37	10.4	0.012279	0.010224477
30	27.1	33	34.05	41.63%	34	10.9	0.012281	0.007402394
60	27.4	30	31.20	38.15%	31	11.4	0.012276	0.005351159
250	28.6	25	26.83	32.80%	26	12.2	0.012118	0.002676954
1440	26.7	20	20.90	25.55%	21	13.0	0.012324	0.00117096

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	1.1	1.1	1.14	1.9%	1.9%	98.1%
30	2.41	2.41	2.41	3.9%	5.8%	94.2%
50	2.82	2.82	2.82	4.6%	10.4%	89.6%
100	3.97	3.97	3.97	6.5%	16.8%	83.2%
200	4.01	4.01	4.01	6.5%	23.4%	76.6%
Pasa 200	0.24	47.08	47.08	76.6%	100.0%	0.0%
Total	14.55	61.39	61.43			

Curva Granulométrica Muestra 5 (MH)



D10	N/A
D30	0.002
D60	0.035
Cu	---
Cc	---

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	23.4
Finos	76.6

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 6 de 20	

Proyecto: Trabajo de Investigación Fecha: 24/09/2019
 Ubicación: Sonsonate, Sonsonate Laboratorista: J.A.P.G
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

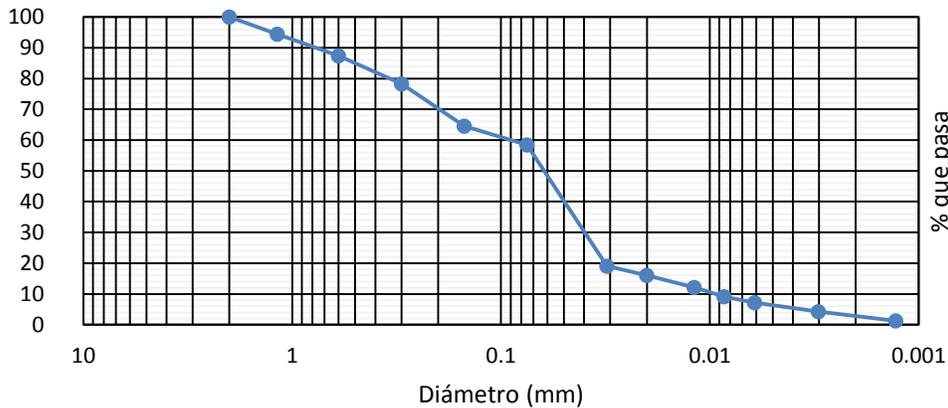
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 6 (ID 20) Gs de los sólidos: 2.73 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 0.98
 Masa Seca: 57.3 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	24.2	26	19.06	19.06%	27	12	0.012682	0.031064429
5	24.2	23	16.06	16.06%	24	12.5	0.012682	0.020052003
15	24.3	19	12.09	12.09%	20	13.2	0.012667	0.011882699
30	24.5	16	9.15	9.15%	17	13.7	0.012637	0.00853972
60	24.6	14	7.18	7.18%	15	14	0.012622	0.006097005
250	25	11	4.30	4.30%	12	14.5	0.012562	0.00302533
1440	24.7	8	1.21	1.21%	9	15	0.012607	0.001286697

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	2.7	2.7	3.20	5.6%	5.6%	94.4%
30	4	4	4	7.0%	12.6%	87.4%
50	5.2	5.2	5.2	9.1%	21.7%	78.3%
100	7.9	7.9	7.9	13.8%	35.4%	64.6%
200	3.5	3.5	3.50	6.1%	41.6%	58.4%
Pasa 200	3.4	33.47	33.47	58.4%	100.0%	0.0%
Total	26.7	56.77	57.27			

Curva Granulométrica Muestra 6 (MH)



D10	0.01
D30	0.04
D60	0.09
Cu	9.0
Cc	1.8

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	41.6
Finos	58.4

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 7 de 20	

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

Fecha: 30/09/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

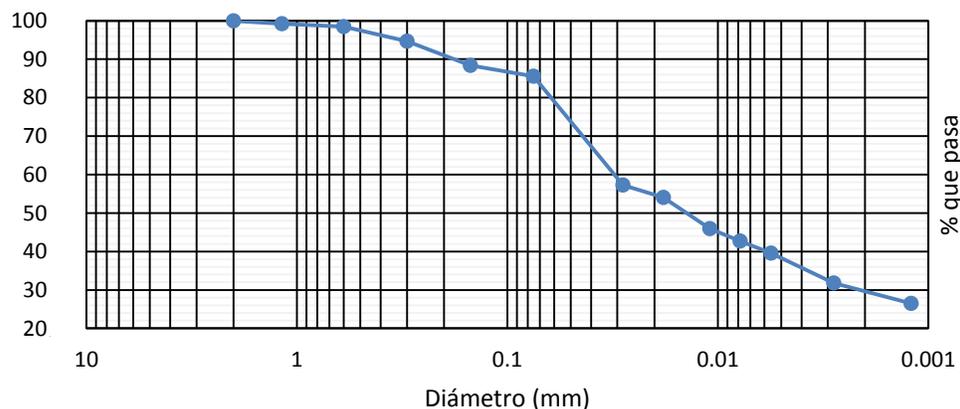
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 7 (ID 26) Gs de los sólidos: 2.63 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 1.00
 Masa Seca: 52.5 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	24.6	42	35.18	57.28%	43	9.4	0.013	0.028183328
5	24.6	40	33.18	54.02%	41	9.7	0.013	0.018106905
15	24.7	35	28.21	45.93%	36	10.6	0.012985	0.010915641
30	24.8	33	26.24	42.72%	34	10.9	0.01297	0.007817945
60	25	31	24.30	39.56%	32	11.2	0.01294	0.005590719
250	25.6	26	19.51	31.76%	27	12	0.012854	0.002816083
1440	24.9	23	16.27	26.49%	24	12.5	0.012955	0.001207011

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	0.4	0.40	0.40	0.8%	0.8%	99.2%
30	0.4	0.40	0.40	0.8%	1.5%	98.5%
50	2	2.00	2.00	3.8%	5.3%	94.7%
100	3.3	3.30	3.30	6.3%	11.6%	88.4%
200	1.5	1.50	1.50	2.9%	14.5%	85.5%
Pasa 200	2	44.94	44.94	85.5%	100.0%	0.0%
Total	9.6	52.54	52.54			

Curva Granulométrica Muestra 7 (MH)



D10	N/A
D30	0.002
D60	0.03
Cu	---
Cc	---

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	14.5
Finos	85.5

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 8 de 20	

Proyecto: Trabajo de Investigación Fecha: 24/09/2019
 Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad Laboratorio: J.A.P.G
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

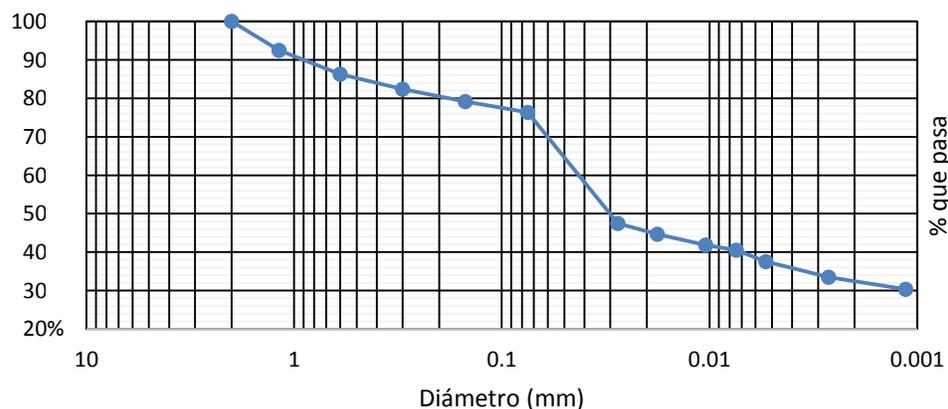
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 8 (ID 29) Gs de los sólidos: 2.72 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 0.99
 Masa Seca: 53.3 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	25.5	40	33.48	47.50%	41	9.7	0.012528	0.027590058
5	25.5	38	31.48	44.66%	39	10.1	0.012528	0.017805633
15	25.6	36	29.51	41.87%	37	10.4	0.012514	0.010419987
30	25.7	35	28.55	40.50%	36	10.6	0.0125	0.007430231
60	25.5	33	26.48	37.57%	34	10.9	0.012528	0.005339731
250	25.9	30	23.62	33.51%	31	11.4	0.012472	0.00266329
1440	25.2	28	21.37	30.32%	29	11.7	0.01257	0.001133044

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	1.3	1.3	4.00	7.5%	7.5%	92.5%
30	3.3	3.3	3.3	6.2%	13.7%	86.3%
50	2.1	2.1	2.1	3.9%	17.6%	82.4%
100	1.7	1.7	1.7	3.2%	20.8%	79.2%
200	1.5	1.5	1.50	2.8%	23.6%	76.4%
Pasa 200	0.1	40.68	40.68	76.4%	100.0%	0.0%
Total	10	50.58	53.28			

Curva Granulométrica Muestra 8 (MH)



D10	N/A
D30	0.001
D60	0.04
Cu	---
Cc	---

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	23.6
Finos	76.4

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 9 de 20	

Proyecto: Trabajo de Investigación Fecha: 30/09/2019
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad Laboratorista: J.A.P.G
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

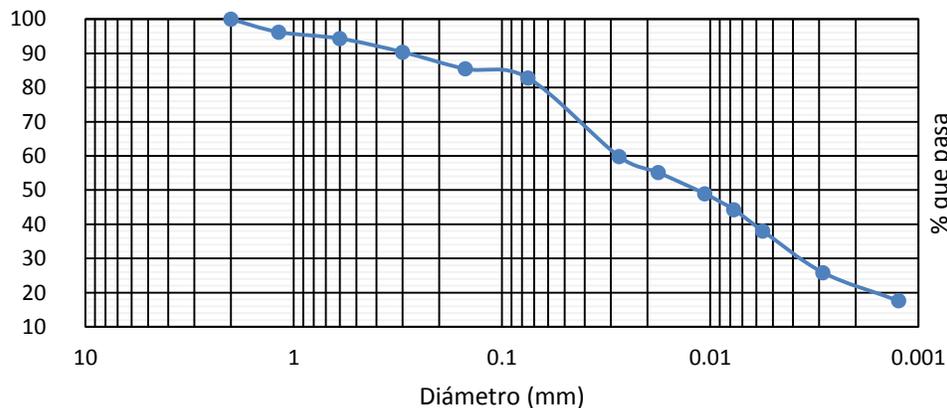
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 9 (ID 32) Gs de los sólidos: 2.63 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 1.00
 Masa Seca: 53.0 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	24.8	45	38.24	59.78%	46	8.9	0.01297	0.027360245
5	24.9	42	35.27	55.14%	43	9.4	0.012955	0.017763001
15	25	38	31.30	48.93%	39	10.1	0.01294	0.010618162
30	25	35	28.30	44.24%	36	10.6	0.01294	0.007691775
60	25.1	31	24.34	38.05%	32	11.2	0.012926	0.005584497
250	25.7	23	16.55	25.87%	24	12.5	0.012839	0.002870932
1440	24.9	18	11.27	17.62%	19	13.3	0.012955	0.001245036

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	0.1	0.10	2.00	3.8%	3.8%	96.2%
30	1	1.00	1.00	1.9%	5.7%	94.3%
50	2.1	2.10	2.10	4.0%	9.6%	90.4%
100	2.6	2.60	2.60	4.9%	14.5%	85.5%
200	1.4	1.40	1.40	2.6%	17.2%	82.8%
Pasa 200	0.7	43.88	43.88	82.8%	100.0%	0.0%
Total	7.9	51.08	52.98			

Curva Granulometría Muestra 9 (MH)



D10	N/A
D30	0.004
D60	0.03
Cu	---
Cc	---

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	17.2
Finos	82.8

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 10 de 20	

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

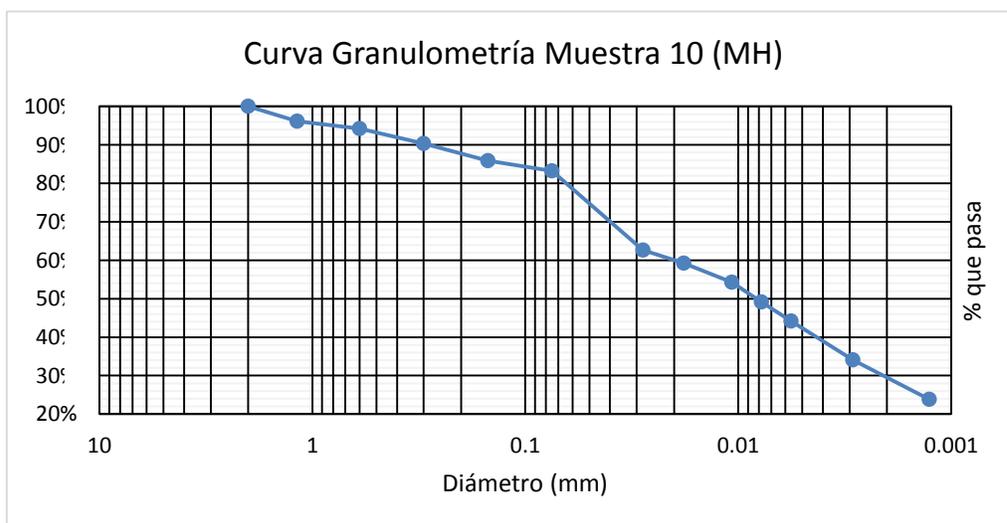
Fecha: 24/09/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 10 (ID 38) Gs de los sólidos: 2.52 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 1.03
 Masa Seca: 51.9 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	26.7	44	37.90	62.63%	45	9.1	0.013147	0.028043509
5	26.6	42	35.86	59.26%	43	9.4	0.013162	0.018046825
15	26.5	39	32.83	54.25%	40	9.9	0.013177	0.010705045
30	26.3	36	29.76	49.18%	37	10.4	0.013207	0.007776071
60	26.2	33	26.72	44.15%	34	10.9	0.013222	0.00563553
250	25.9	27	20.62	34.07%	28	11.9	0.013267	0.002894518
1440	25.3	21	14.41	23.81%	22	12.9	0.013357	0.00126422

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	0.50	0.50	2.00	3.9%	3.9%	96.1%
30	1.00	1.00	1.00	1.9%	5.8%	94.2%
50	2.00	2.00	2.00	3.9%	9.6%	90.4%
100	2.30	2.30	2.30	4.4%	14.1%	85.9%
200	1.40	1.40	1.40	2.7%	16.8%	83.2%
Pasa 200	0.20	43.18	43.18	83.2%	100.0%	0.0%
Total	7.40	50.38	51.88			



D10	N/A
D30	0.002
D60	0.02
Cu	---
Cc	---

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	16.8
Finos	83.2

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 11 de 20	

LIMOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD (ML).

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

Fecha: 23/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

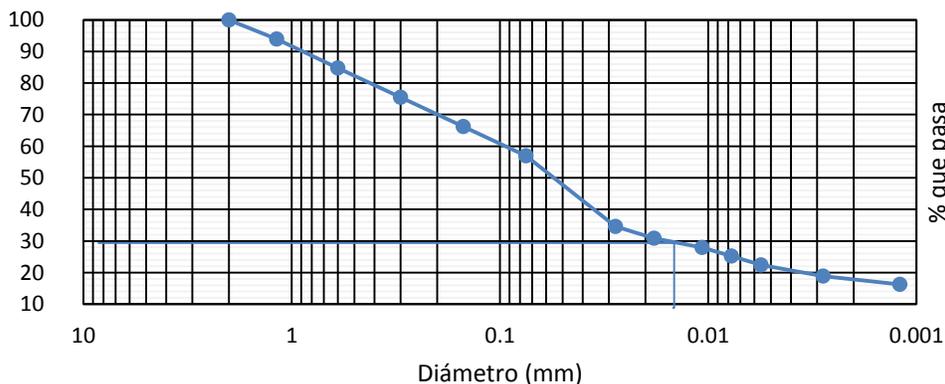
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 1 (ID 9) Gs de los sólidos: 2.74 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 0.98
 Masa Seca: 60.2 g Corrección por defloculante: 1

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	27.6	36	37.30	34.59%	37	10.4	0.012203	0.027826665
5	27.5	32	33.25	30.84%	33	11.1	0.01221	0.01819249
15	27.3	29	30.15	27.96%	30	11.5	0.012224	0.010703624
30	27.3	26	27.15	25.18%	27	12	0.012224	0.007731389
60	27.3	23	24.15	22.40%	24	12.5	0.012224	0.00557965
250	27.8	19	20.40	18.92%	20	13.2	0.012188	0.002800681
1440	25.8	17	17.58	16.30%	18	13.5	0.012406	0.001201206

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	3.55	3.55	3.66	6.1%	6.1%	93.9%
30	5.54	5.54	5.54	9.2%	15.3%	84.7%
50	5.55	5.55	5.55	9.2%	24.5%	75.5%
100	5.6	5.6	5.6	9.3%	33.8%	66.2%
200	5.56	5.56	5.56	9.2%	43.1%	56.9%
Pasa 200	1.02	34.26	34.26	56.9%	100.0%	0.0%
Total	26.82	60.06	60.17			

Curva Granulométrica Muestra 1 (ML)



D10	N/A
D30	0.018
D60	0.1
Cu	---
Cc	---

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	43.1
Finos	56.9

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 13 de 20	

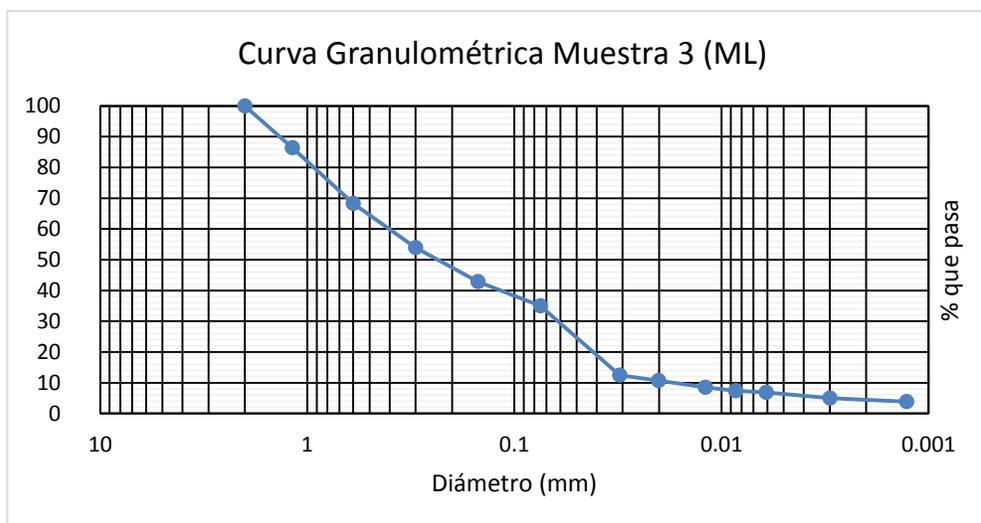
Proyecto: Trabajo de Investigación Fecha: 21/05/2019
 Ubicación: Santa Ana, Santa Ana Laboratorista: J.A.P.G
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 3 (ID 12) Gs de los sólidos: 2.71 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 0.99
 Masa Seca: 61.5 g Corrección por defloculante: 1

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	27.2	21	22.10	12.46%	22	12.9	0.01221	0.031009554
5	27.1	18	19.05	10.74%	19	13.3	0.012364	0.0201654
15	27.2	14	15.10	8.51%	15	14	0.012374	0.011954806
30	27.2	12	13.10	7.39%	13	14.3	0.012374	0.008543416
60	27.4	11	12.20	6.88%	12	14.5	0.012395	0.006093235
250	28.8	7	8.94	5.04%	8	15.2	0.01216	0.002998371
1440	26.8	6	6.93	3.91%	7	15.3	0.012382	0.001276307

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	8.35	8.35	8.35	13.6%	13.6%	86.4%
30	11.1	11.1	11.1	18.1%	31.6%	68.4%
50	8.89	8.89	8.89	14.5%	46.1%	53.9%
100	6.78	6.78	6.78	11.0%	57.1%	42.9%
200	4.76	4.76	4.83	7.9%	65.0%	35.0%
Pasa 200	0.43	21.51	21.51	35.0%	100.0%	0.0%
Total	40.31	61.39	61.46			



D10	0.02
D30	0.06
D60	0.4
Cu	20.0
Cc	0.5

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	65.0
Finos	35.0

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 15 de 20	

Proyecto: Trabajo de Investigación Fecha: 24/09/2019
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad Laboratorista: J.A.P.G
 Método Empleado: Análisis Hidrométrica

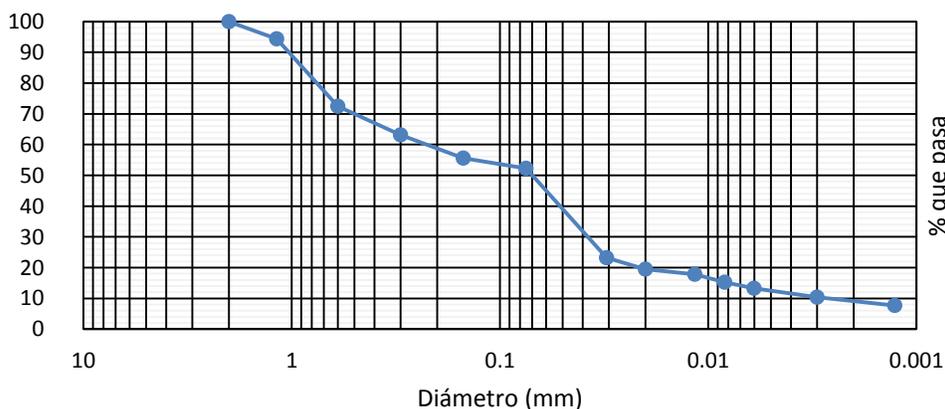
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 5 (ID 19) Gs de los sólidos: 2.62 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 1.01
 Masa Seca: 57.2 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	24.5	32	25.15	23.21%	33	11.1	0.013055	0.030755541
5	24.4	28	21.12	19.49%	29	11.7	0.01307	0.019993256
15	25.1	26	19.34	17.85%	27	12.0	0.012965	0.011596606
30	25.6	23	16.51	15.24%	24	12.5	0.012892	0.008322008
60	25.1	21	14.34	13.23%	22	12.9	0.012965	0.006011809
250	24.9	18	11.27	10.40%	19	13.3	0.012995	0.002997313
1440	25.1	15	8.34	7.70%	16	13.8	0.012965	0.001269241

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	3.2	3.2	3.20	5.6%	5.6%	94.4%
30	12.6	12.6	12.6	22.0%	27.6%	72.4%
50	5.3	5.3	5.3	9.3%	36.9%	63.1%
100	4.3	4.3	4.3	7.5%	44.4%	55.6%
200	1.9	1.9	1.90	3.3%	47.7%	52.3%
Pasa 200	0.1	32.45	29.95	52.3%	100.0%	0.0%
Total	27.4	59.75	57.25			

Curva Granulométrica Muestra 5 (ML)



D10	0.003
D30	0.04
D60	0.2
Cu	66.7
Cc	2.7

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	47.7
Finos	52.3

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 16 de 20	

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Quelepa, San Miguel
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

Fecha: 02/10/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

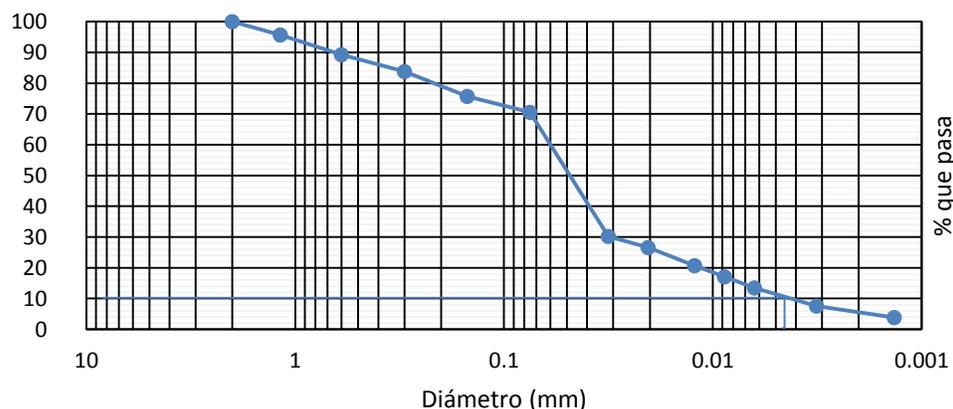
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 6 (ID 21) Gs de los sólidos: 2.53 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 1.02
 Masa Seca: 55.6 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
G	24.4	32	25.12	30.26%	33	11.1	0.01345	0.031687041
5	24.4	29	22.12	26.64%	30	11.5	0.01345	0.020398542
15	24.5	24	17.15	20.66%	25	12.4	0.013435	0.012215265
30	24.6	21	14.18	17.08%	22	12.9	0.01342	0.00879982
60	24.7	18	11.21	13.50%	19	13.3	0.013404	0.006310897
250	24.9	13	6.27	7.55%	14	14.2	0.013373	0.003187249
1440	24.7	10	3.21	3.87%	11	14.7	0.013404	0.001354311

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	2.2	2.2	2.60	4.4%	4.4%	95.6%
30	3.8	3.8	3.8	6.4%	10.7%	89.3%
50	3.3	3.3	3.3	5.5%	16.2%	83.8%
100	4.8	4.8	4.8	8.0%	24.3%	75.7%
200	3.1	3.1	3.10	5.2%	29.5%	70.5%
Pasa 200	3.9	42.14	42.14	70.5%	100.0%	0.0%
Total	21.1	59.34	59.74			

Curva Granulométrica Muestra 6 (ML)



D10	0.0048
D30	0.03
D60	0.06
Cu	12.5
Cc	3.1

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	29.5
Finos	70.5

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 17 de 20	

Proyecto: Trabajo de Investigación Fecha: 30/09/2019
 Ubicación: San Salvador, San Salvador Laboratorista: J.A.P.G
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

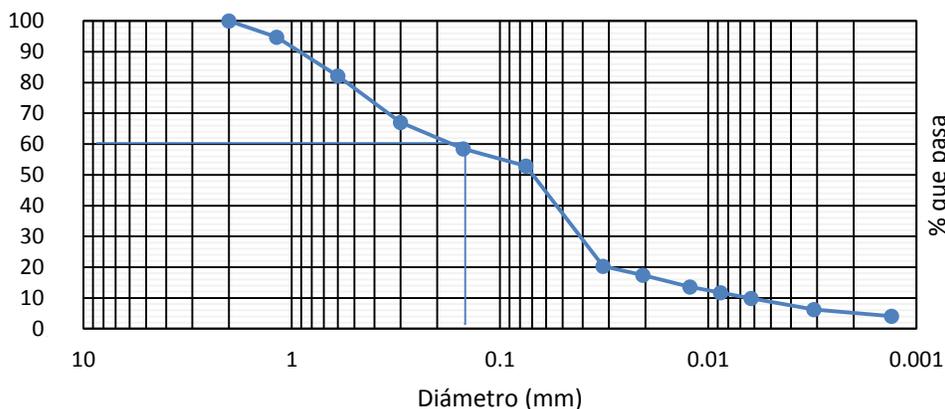
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 7 (ID 23) Gs de los sólidos: 2.59 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 1.01
 Masa Seca: 55.6 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	24.4	28	21.12	20.29%	29	11.7	0.013192	0.031907191
5	24.4	25	18.12	17.41%	26	12.2	0.013192	0.020606563
15	24.5	21	14.15	13.59%	22	12.9	0.013177	0.012219847
30	24.7	19	12.21	11.73%	20	13.2	0.013147	0.008720733
60	24.9	17	10.27	9.86%	18	13.5	0.013117	0.006221939
250	25.6	13	6.51	6.25%	14	14.2	0.013012	0.003101118
1440	24.9	11	4.27	4.10%	12	14.5	0.013117	0.001316247

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	2.4	2.4	2.90	5.2%	5.2%	94.8%
30	7	7	7	12.6%	17.8%	82.2%
50	8.4	8.4	8.4	15.1%	32.9%	67.1%
100	4.8	4.8	4.8	8.6%	41.5%	58.5%
200	3.1	3.1	3.10	5.6%	47.1%	52.9%
Pasa 200	0.5	29.40	29.40	52.9%	100.0%	0.0%
Total	26.2	55.10	55.60			

Curva Granulométrica Muestra 7 (ML)



D10	0.007
D30	0.04
D60	0.17
Cu	24.3
Cc	1.3

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	47.1
Finos	52.9

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 18 de 20	

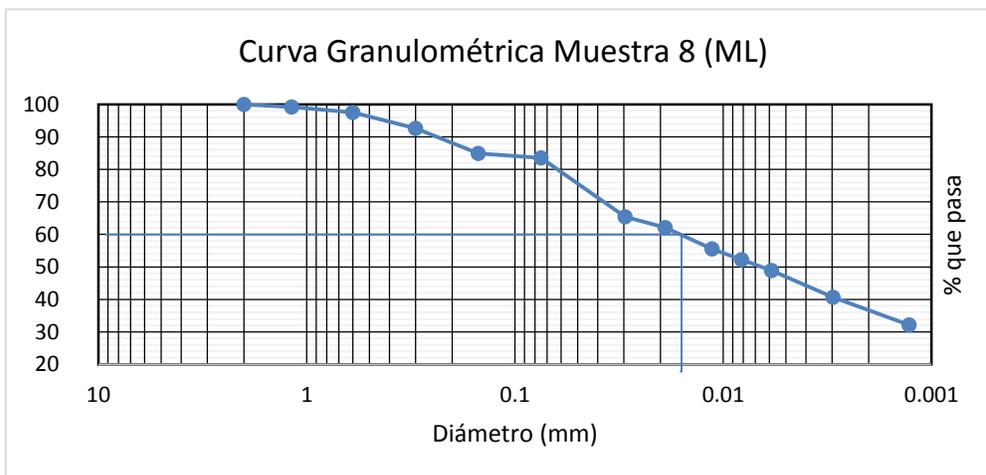
Proyecto: Trabajo de Investigación Fecha: 02/10/2019
 Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad Laboratorio: J.A.P.G
 Método Empleado: Análisis Hidrométrico

ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 8 (ID 27) Gs de los sólidos: 2.39 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 1.06
 Masa Seca: 53.0 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	24.5	46	39.15	65.47%	47	8.8	0.014076	0.029526067
5	24.5	44	37.15	62.13%	45	9.1	0.014076	0.018989562
15	24.6	40	33.18	55.49%	41	9.7	0.01406	0.011306432
30	24.7	38	31.21	52.19%	39	10.1	0.014044	0.008148748
60	24.7	36	29.21	48.85%	37	10.4	0.014044	0.005846983
250	25	31	24.30	40.64%	32	11.2	0.013996	0.002962395
1440	24.8	26	19.24	32.18%	27	12	0.014028	0.001280575

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	0.1	0.1	0.40	0.8%	0.8%	99.2%
30	0.9	0.9	0.9	1.7%	2.5%	97.5%
50	2.6	2.6	2.6	4.9%	7.4%	92.6%
100	4.1	4.1	4.1	7.7%	15.1%	84.9%
200	0.7	0.7	0.70	1.3%	16.4%	83.6%
Pasa 200	2.1	44.28	44.28	83.6%	100.0%	0.0%
Total	10.5	52.68	52.98			



Fecha: 30/09/2019

	Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina" DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS (Basado en la Norma ASTM D 422 – 03).		
	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO		
	Código: Versión: Cambio No:	Fecha de Emisión: Página 20 de 20	

Proyecto: Trabajo de Investigación Fecha: 02/10/2019
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad Laboratorista: J.A.P.G
 Método Empleado: Multipuntos

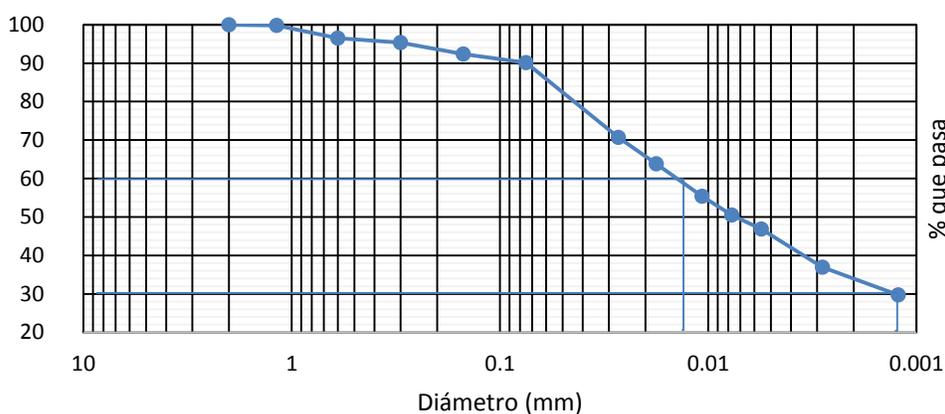
ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE LA PORCIÓN QUE PASA EL TAMIZ No 10 (2.00 mm)

Muestra: # 10 (ID 31) Gs de los sólidos: 2.57 Factor de corrección para peso
 Hidrómetro: 152H Corrección por menisco: 1 unitario de los sólidos (a): 1.02
 Masa Seca: 53.8 g Corrección por defloculante: 8

Tiempo	T °C	Lectura Real	Lectura corregida (Rc)	% que pasa	Lectura corregida por menisco (R)	L	K	D(mm)
2	25.2	48	41.37	70.65%	49	8.4	0.013156	0.026961777
5	25.2	44	37.37	63.82%	45	9.1	0.013156	0.017748414
15	25.3	39	32.41	55.35%	40	9.9	0.013141	0.010675799
30	25.7	36	29.55	50.47%	37	10.4	0.013081	0.007701884
60	25.4	34	27.44	46.86%	35	10.7	0.013126	0.005543048
250	25.9	28	21.62	36.92%	29	11.7	0.013051	0.002823363
1440	25.3	24	17.41	29.73%	25	12.4	0.013141	0.001219433

Malla	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Ajustada (g)	Masa Retenida Compensada (g)	% Retenido		% Pasa
				% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	
10	0	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
16	0.1	0.1	0.10	0.2%	0.2%	99.8%
30	1.8	1.8	1.80	3.3%	3.5%	96.5%
50	0.6	0.6	0.60	1.1%	4.6%	95.4%
100	1.6	1.6	1.60	3.0%	7.6%	92.4%
200	1.2	1.2	1.20	2.2%	9.8%	90.2%
Pasa 200	0.5	49.05	48.55	90.2%	100.0%	0.0%
Total	5.8	54.35	53.85			

Curva Granulométrica Muestra 10 (ML)



D10	N/A
D30	0.0013
D60	0.015
Cu	---
Cc	---

Tamaño de Partículas (%)	
Grava	0.0
Arena	9.8
Finos	90.2

**ANEXO C4
RESULTADOS LÍMITES DE
CONSISTENCIA**



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 1 de 20

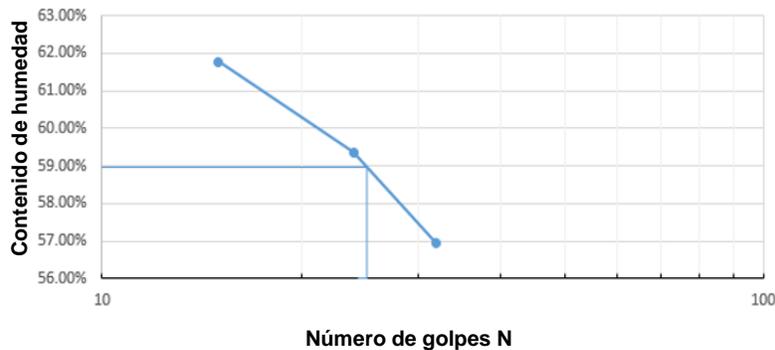
LIMOS DE ALTA COMPRESIBILIDAD (MH).

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Guazapa, San Salvador
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 07/05/2019
 Laboratorio: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	# 1 (ID 6)				
No. de golpes	15	24	32	N/A	
No. de recipiente	B-1	B	2-4	0-15	00-1
Masa de recipiente (g)	21.10	16.44	22.40	30.43	31.32
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	33.25	28.44	34.06	37.01	38.13
Masa de suelo seco + recipiente (g)	28.61	23.97	29.83	35.45	36.51
Masa de agua (g)	4.64	4.47	4.23	1.56	1.62
Masa de suelo seco (g)	7.51	7.53	7.43	5.02	5.19
Contenido de agua %	61.78	59.36	56.93	31.08	31.21

CURVA DE FLUIDEZ



LIMITE LIQUIDO (LL)	59 %	LIMITE PLÁSTICO (LP)	31%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	28%
---------------------	------	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

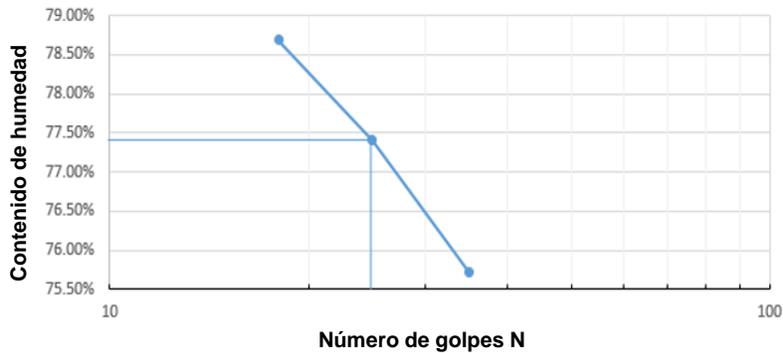
Fecha de Emisión:
 Página 2 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Apaneca, Ahuachapán
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 14/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	# 2 (ID 7)				
No. de golpes	18	25	35	N/A	
No. de recipiente	B	0-1	0-11	00-1	0-17
Masa de recipiente (g)	16.44	19.73	29.91	31.32	29.59
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	28.18	31.35	41.42	38.04	36.04
Masa de suelo seco + recipiente (g)	23.01	26.28	36.46	35.67	33.74
Masa de agua (g)	5.17	5.07	4.96	2.37	2.30
Masa de suelo seco (g)	6.57	6.85	6.55	4.35	4.15
Contenido de agua %	78.69	77.40	75.73	54.48	55.42

CURVA DE FLUIDEZ



LIMITE LIQUIDO (LL)	77%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	55%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	22%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

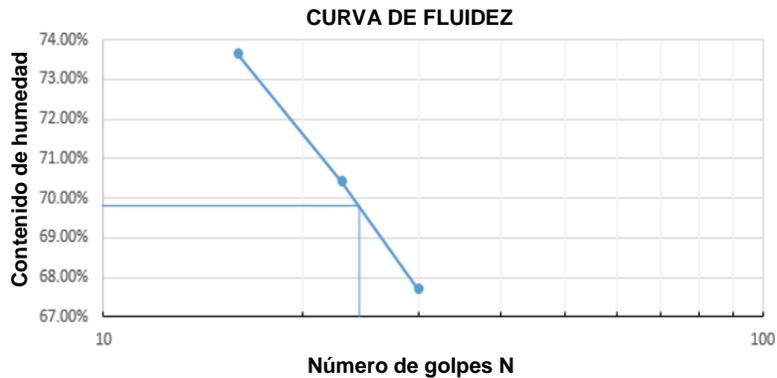
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **3** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Sensuntepeque, Cabañas
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 08/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	# 3 (ID 8)				
No. de golpes	16	23	30	N/A	
No. de recipiente	0-11	0-4	0-9	Nº 4	A
Masa de recipiente (g)	29.91	19.34	27.89	18.11	16.21
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	41.18	31.61	39.21	25.76	23.47
Masa de suelo seco + recipiente (g)	36.40	26.54	34.64	23.61	21.44
Masa de agua (g)	4.78	5.07	4.57	2.15	2.03
Masa de suelo seco (g)	6.49	7.20	6.75	5.50	5.23
Contenido de agua %	73.65	70.42	67.70	39.09	38.81



LIMITE LIQUIDO (LL)	70%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	39%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	31%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

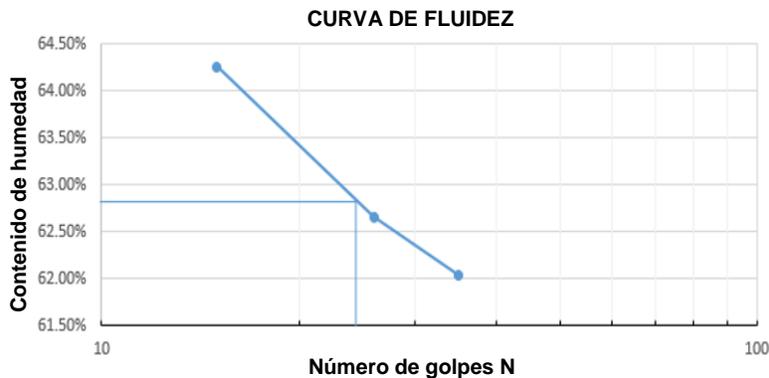
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 4 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Apaneca, Ahuachapán
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 13/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	# 4 (ID 10)				
No. de golpes	15	26	35	N/A	
No. de recipiente	00-1	XZ-1	1-A	N° 6	0-19
Masa de recipiente (g)	31.32	24.52	20.98	38.63	38.04
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	43.59	35.76	32.89	45.93	45.60
Masa de suelo seco + recipiente (g)	38.79	31.43	28.33	43.65	43.21
Masa de agua (g)	4.80	4.33	4.56	2.28	2.39
Masa de suelo seco (g)	7.47	6.91	7.35	5.02	5.17
Contenido de agua %	64.26	62.66	62.04	45.42	46.23



LIMITE LIQUIDO (LL)	63%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	46%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	17%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

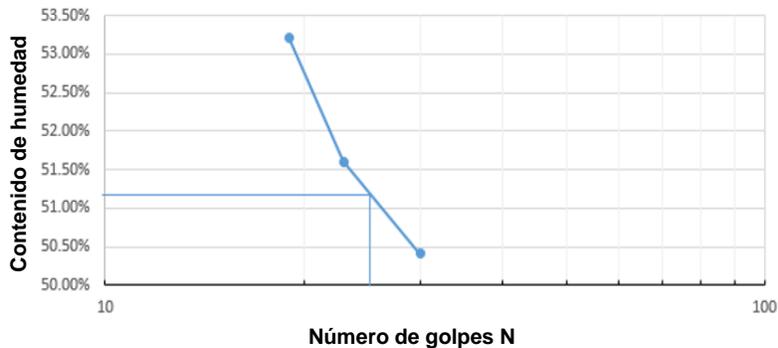
Fecha de Emisión:
 Página 5 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Guacotecti, Cabañas
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 14/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	# 5 (ID 13)				
No. de golpes	19	23	30	N/A	
No. de recipiente	0-3	1-A	Nº 1	0-16	0-15
Masa de recipiente (g)	19.90	20.98	21.08	30.64	31.32
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	31.79	33.26	35.73	38.25	37.97
Masa de suelo seco + recipiente (g)	27.66	29.08	30.82	36.34	36.10
Masa de agua (g)	4.13	4.18	4.91	1.91	1.87
Masa de suelo seco (g)	7.76	8.10	9.74	5.70	4.78
Contenido de agua %	53.22	51.60	50.41	33.51	39.12

CURVA DE FLUIDEZ



LIMITE LIQUIDO (LL)	51%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	36%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	15%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

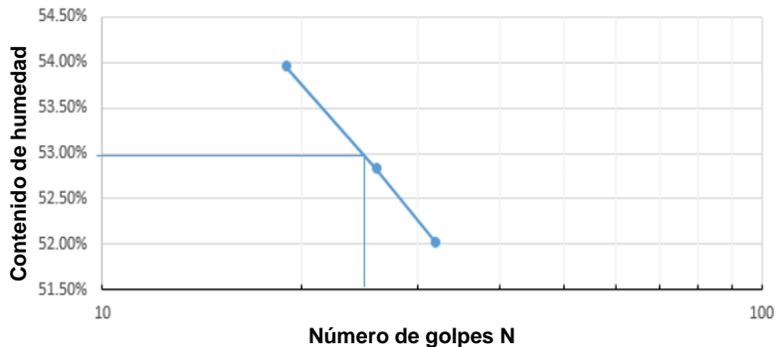
Fecha de Emisión:
 Página 6 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Sonsonate, Sonsonate
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 29/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#6 (ID 20)				
No. de golpes	19	26	32	N/A	
No. de recipiente	2-3	A-1	A	N° 4	0-3
Masa de recipiente (g)	22.31	20.97	16.21	18.11	19.90
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	32.81	32.83	26.76	25.21	27.40
Masa de suelo seco + recipiente (g)	29.13	28.73	23.15	23.17	25.24
Masa de agua (g)	3.68	4.10	3.61	2.04	2.16
Masa de suelo seco (g)	6.82	7.76	6.94	5.06	5.34
Contenido de agua %	53.96	52.84	52.02	40.32	40.45

CURVA DE FLUIDEZ



LIMITE LIQUIDO (LL)	53%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	40%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	13%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

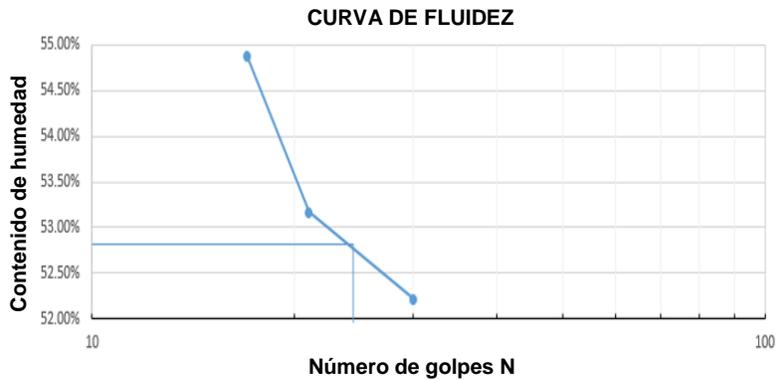
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 7 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 23/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#7 (ID 26)				
No. de golpes	17	21	30	N/A	
No. de recipiente	2-3	1-A	Nº 4	00-1	Nº 7
Masa de recipiente (g)	22.31	20.97	18.11	31.32	38.31
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	35.04	35.00	32.16	38.18	46.18
Masa de suelo seco + recipiente (g)	30.53	30.13	27.34	36.49	44.26
Masa de agua (g)	4.51	4.87	4.82	1.69	1.92
Masa de suelo seco (g)	8.22	9.16	9.23	5.17	5.95
Contenido de agua %	54.87	53.17	52.22	32.69	32.27



LIMITE LIQUIDO (LL)	53%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	32%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	21%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

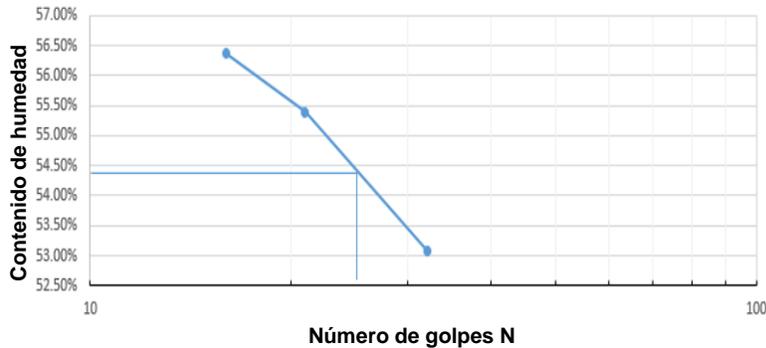
Fecha de Emisión:
 Página **8** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 24/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#8 (ID 29)				
No. de golpes	16	21	32	N/A	
No. de recipiente	N° 1	B-1	0-9	X-1	N° 6
Masa de recipiente (g)	21.08	21.10	27.89	24.52	38.64
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	34.09	34.79	40.29	31.45	45.18
Masa de suelo seco + recipiente (g)	29.40	29.91	35.99	29.76	43.62
Masa de agua (g)	4.69	4.88	4.30	1.69	1.56
Masa de suelo seco (g)	8.32	8.81	8.10	5.24	4.98
Contenido de agua %	56.37	55.39	53.09	32.25	31.33

CURVA DE FLUIDEZ



LIMITE LIQUIDO (LL)	54%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	32%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	22%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

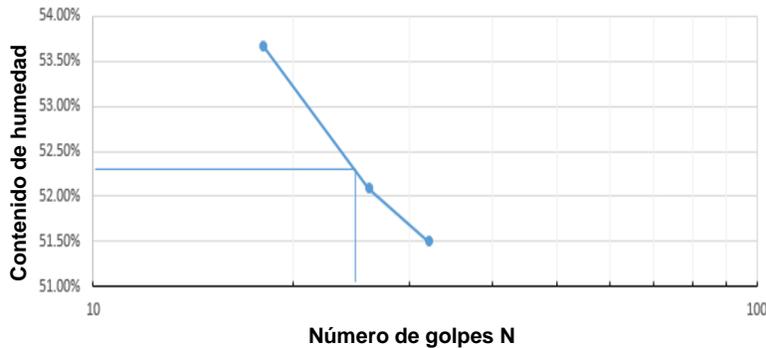
Fecha de Emisión:
 Página 9 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 24/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#9 (ID 32)				
No. de golpes	18	26	32	N/A	
No. de recipiente	A	0-3	TT-0	4X	0-16
Masa de recipiente (g)	16.21	19.89	29.90	38.80	30.64
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	29.38	34.43	41.02	44.88	37.24
Masa de suelo seco + recipiente (g)	24.78	29.45	37.24	43.31	35.53
Masa de agua (g)	4.60	4.98	3.78	1.57	1.71
Masa de suelo seco (g)	8.57	9.56	7.34	4.51	4.89
Contenido de agua %	53.68	52.09	51.50	34.81	34.97

CURVA DE FLUIDEZ



LIMITE LIQUIDO (LL)	52%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	35%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	17%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

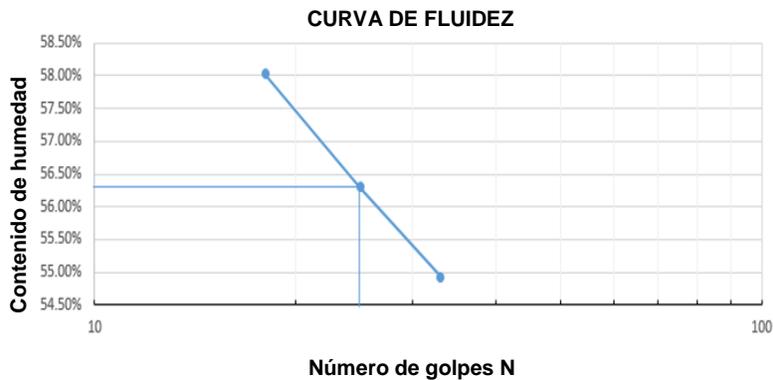
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **10** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 29/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#10 (ID 38)				
No. de golpes	18	25	33	N/A	
No. de recipiente	N° 1	0-9	0-4	X-1	0-15
Masa de recipiente (g)	21.09	27.88	19.33	24.53	30.41
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	34.68	40.29	30.50	31.18	37.45
Masa de suelo seco + recipiente (g)	29.69	35.82	26.54	29.49	35.66
Masa de agua (g)	4.99	4.47	3.96	1.69	1.79
Masa de suelo seco (g)	8.60	7.94	7.21	4.96	5.25
Contenido de agua %	58.02	56.30	54.92	34.07	34.10



LIMITE LIQUIDO (LL)	56%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	34%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	22%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

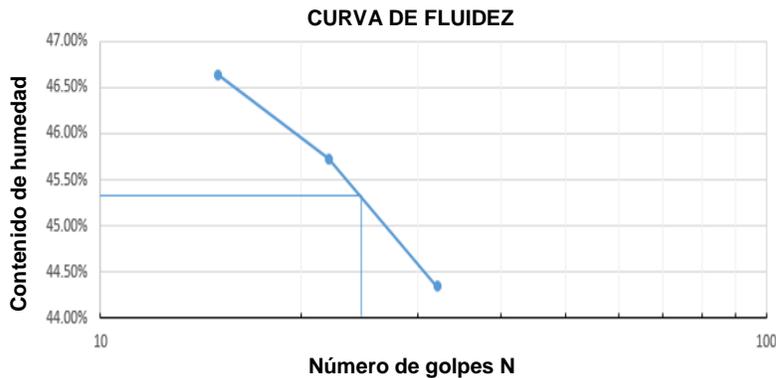
Fecha de Emisión:
 Página **11** de **20**

LIMOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD (ML).

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 08/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#1 (ID 9)				
No. de golpes	15	22	32	N/A	
No. de recipiente	2-4	2-3	0-3	N° 1	0-1
Masa de recipiente (g)	22.39	22.31	19.90	21.08	19.74
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	35.25	35.79	33.05	28.99	26.20
Masa de suelo seco + recipiente (g)	31.16	31.56	29.01	27.12	24.68
Masa de agua (g)	4.09	4.23	4.04	1.87	1.52
Masa de suelo seco (g)	8.77	9.25	9.11	6.04	4.94
Contenido de agua %	46.64	45.73	44.35	30.96	30.77



LIMITE LIQUIDO (LL)	45%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	31%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	14%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

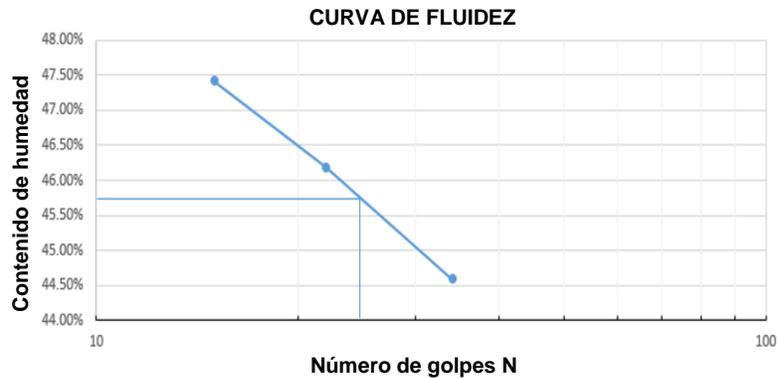
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 12 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 13/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#2 (ID 11)				
No. de golpes	15	22	34	N/A	
No. de recipiente	0-7	0-15	0-16	N° 8	B-3
Masa de recipiente (g)	30.63	30.44	30.64	44.16	40.99
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	44.93	44.62	44.00	53.37	50.25
Masa de suelo seco + recipiente (g)	40.33	40.14	39.88	51.24	48.12
Masa de agua (g)	4.60	4.48	4.12	2.13	2.13
Masa de suelo seco (g)	9.70	9.70	9.24	7.08	7.13
Contenido de agua %	47.42	46.19	44.59	30.08	28.87



LIMITE LIQUIDO (LL)	46%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	30%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	16%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

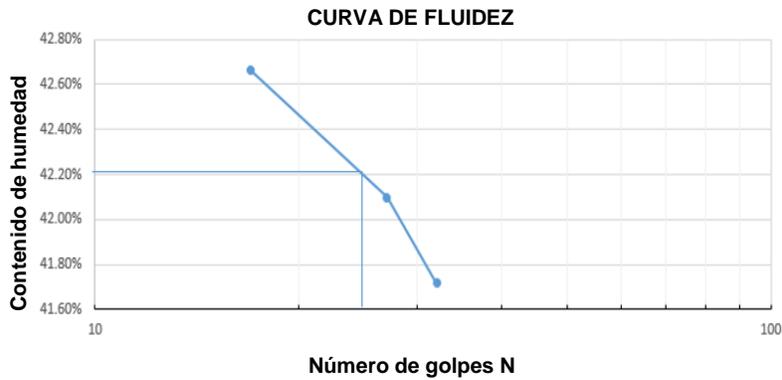
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 13 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Santa Ana, Santa Ana
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 13/05/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#3 (ID 12)				
No. de golpes	17	27	32	N/A	
No. de recipiente	Nº 10	Nº 7	Nº 8	3	0-14
Masa de recipiente (g)	38.75	38.30	29.47	30.45	29.73
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	50.32	49.27	41.02	38.28	36.58
Masa de suelo seco + recipiente (g)	46.86	46.02	37.62	36.20	34.77
Masa de agua (g)	3.46	3.25	3.40	2.08	1.81
Masa de suelo seco (g)	8.11	7.72	8.15	5.75	5.04
Contenido de agua %	42.66	42.10	41.72	36.17	35.91



LIMITE LIQUIDO (LL)	42%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	36%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	6%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	----

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

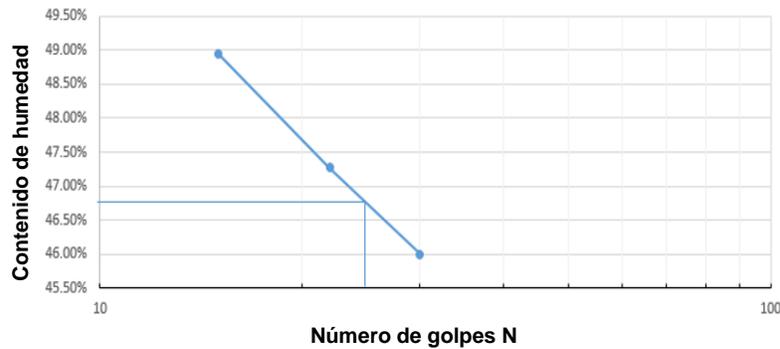
Fecha de Emisión:
 Página **14** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 29/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#4 (ID 18)				
No. de golpes	15	22	30	N/A	
No. de recipiente	0-4	2-4	0-11	4-X	B-3
Masa de recipiente (g)	19.32	22.39	29.91	38.79	41.00
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	32.07	33.45	41.21	44.08	46.91
Masa de suelo seco + recipiente (g)	27.88	29.90	37.65	42.81	45.48
Masa de agua (g)	4.19	3.55	3.56	1.27	1.43
Masa de suelo seco (g)	8.56	7.51	7.74	4.02	4.48
Contenido de agua %	48.95	47.27	45.99	31.59	31.92

CURVA DE FLUIDEZ



LIMITE LIQUIDO (LL)	47%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	32%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	15%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

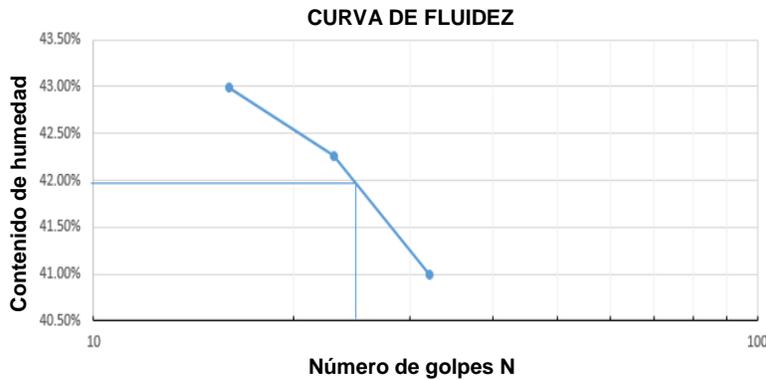
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **15** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 25/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#5 (ID 19)				
No. de golpes	16	23	32	N/A	
No. de recipiente	A	B	0-11	0-7	E-800
Masa de recipiente (g)	16.22	16.44	29.91	30.62	38.93
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	28.66	28.12	42.60	38.88	46.02
Masa de suelo seco + recipiente (g)	24.92	24.65	38.91	37.07	44.51
Masa de agua (g)	3.74	3.47	3.69	1.81	1.51
Masa de suelo seco (g)	8.70	8.24	9.00	6.45	5.58
Contenido de agua %	42.99	42.27	41.00	28.06	27.06



LIMITE LIQUIDO (LL)	42%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	28%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	15%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

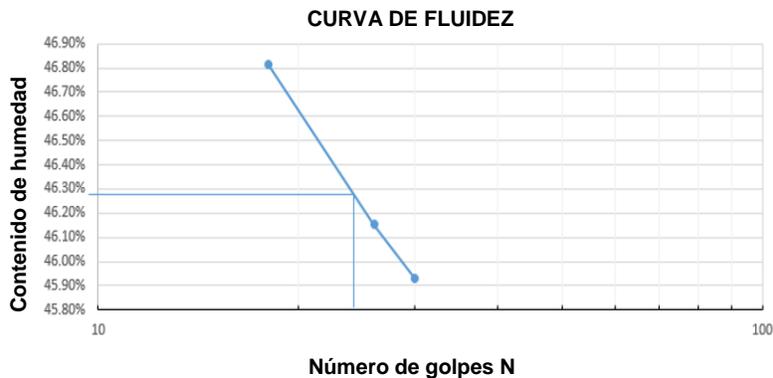
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 16 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Quelepa, San Miguel
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 29/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#6 (ID 21)				
No. de golpes	18	26	30	N/A	
No. de recipiente	B	26	2-4	N° 6	0-16
Masa de recipiente (g)	16.40	22.24	22.32	38.54	30.55
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	26.31	31.93	33.25	45.52	38.14
Masa de suelo seco + recipiente (g)	23.15	28.87	29.81	43.77	36.22
Masa de agua (g)	3.19	3.06	3.44	1.75	1.92
Masa de suelo seco (g)	6.75	6.63	7.49	5.23	5.67
Contenido de agua %	46.81	46.15	45.93	33.46	33.86



LIMITE LIQUIDO (LL)	46%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	34%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	12%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 17 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: San Salvador, San Salvador
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 23/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#7 (ID 23)				
No. de golpes	18	28	34	N/A	
No. de recipiente	0-7	Nº 6	Nº 8	H	G
Masa de recipiente (g)	30.63	38.63	30.63	44.18	44.21
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	42.49	49.39	42.49	52.24	51.07
Masa de suelo seco + recipiente (g)	38.72	46.01	38.78	50.46	49.59
Masa de agua (g)	3.77	3.38	3.71	1.78	1.48
Masa de suelo seco (g)	8.09	7.38	8.15	6.28	5.38
Contenido de agua %	46.60	45.80	45.52	28.34	27.51



LIMITE LIQUIDO (LL)	46%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	28%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	18%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

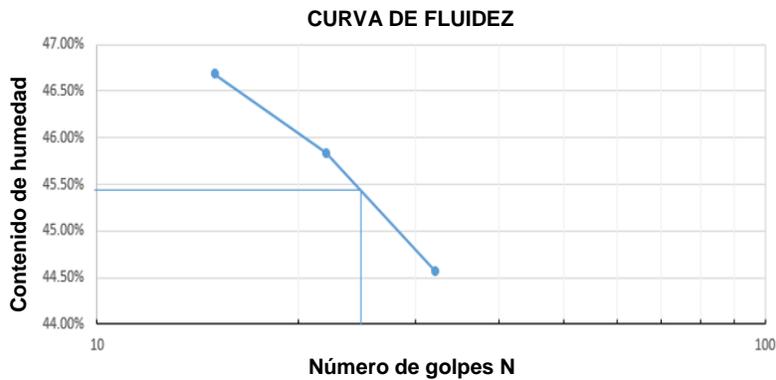
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 18 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 24/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#8 (ID 27)				
No. de golpes	15	22	32	N/A	
No. de recipiente	E-800	N° 2	M-1	7-A	H
Masa de recipiente (g)	38.93	31.73	44.00	43.96	44.20
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	52.66	44.36	57.72	52.38	52.98
Masa de suelo seco + recipiente (g)	48.29	40.39	53.49	50.44	50.98
Masa de agua (g)	4.37	3.97	4.23	1.94	2.00
Masa de suelo seco (g)	9.36	8.66	9.49	6.48	6.78
Contenido de agua %	46.69	45.84	44.57	29.94	29.50



LIMITE LIQUIDO (LL)	45%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	30%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	15%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

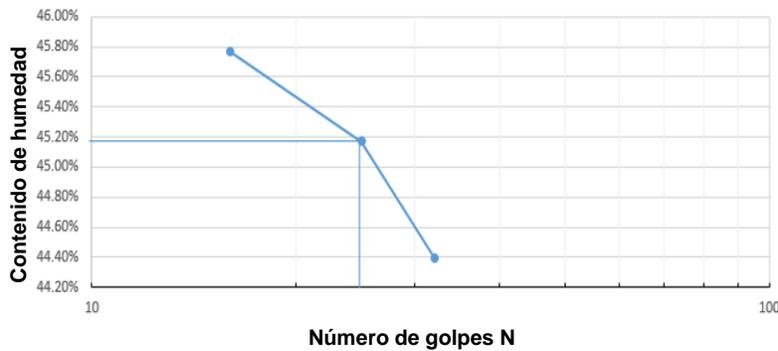
Fecha de Emisión:
 Página **19** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 25/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#9 (ID 28)				
No. de golpes	16	25	32	N/A	
No. de recipiente	94	0-3	81	H	7-A
Masa de recipiente (g)	22.40	18.89	22.31	44.18	43.94
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	33.07	31.01	32.62	51.63	50.89
Masa de suelo seco + recipiente (g)	29.72	27.55	29.45	49.80	49.18
Masa de agua (g)	3.35	3.46	3.17	1.83	1.71
Masa de suelo seco (g)	7.32	8.66	7.14	5.62	5.24
Contenido de agua %	45.77	45.17	44.40	32.56	32.63

CURVA DE FLUIDEZ



LIMITE LIQUIDO (LL)	45%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	33%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	13%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 (Basado en la Norma ASTM D 4318 – 03).



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

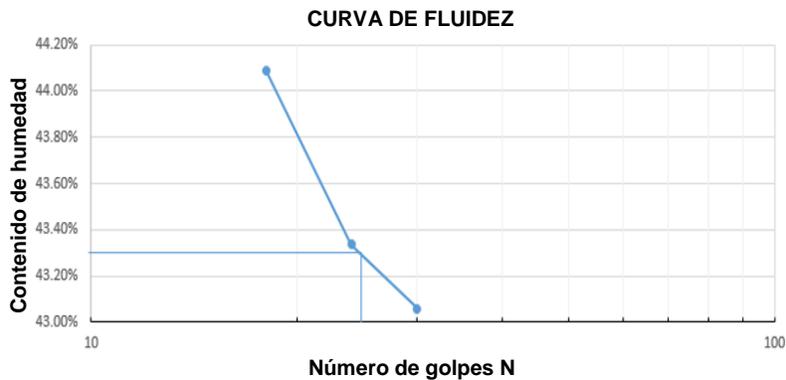
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 20 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 23/07/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	#10 (ID 31)				
No. de golpes	18	24	30	N/A	
No. de recipiente	0-7	T-0	Nº 7	B3	Nº 8
Masa de recipiente (g)	30.65	19.76	38.31	41.03	44.21
Masa suelo húmedo+ recipiente (g)	47.35	35.14	58.61	48.16	51.72
Masa de suelo seco + recipiente (g)	42.24	30.49	52.50	46.67	50.10
Masa de agua (g)	5.11	4.65	6.11	1.49	1.62
Masa de suelo seco (g)	11.59	10.73	14.19	5.64	5.89
Contenido de agua %	44.09	43.34	43.06	26.42	27.50



LIMITE LIQUIDO (LL)	43%	LIMITE PLÁSTICO (LP)	27%	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	16%
---------------------	-----	----------------------	-----	-----------------------	-----

Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)

ANEXO C5
RESULTADOS DE LÍMITE
LÍQUIDO POR CONO DE
PENETRACIÓN



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
(Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
Versión:
Cambio No:

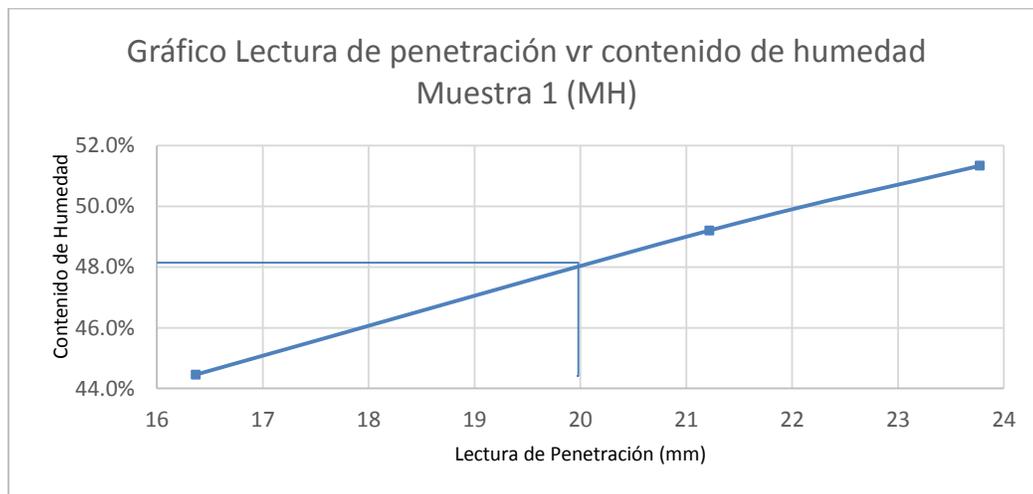
Fecha de Emisión:
Página 1 de 20

LIMOS DE ALTA COMPRESIBILIDAD (MH).

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Guazapa, San Salvador
Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 2/08/2019
Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	#1 (ID 6)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	16.25	16.49	N/A	21.11	21.33	N/A	23.82	23.73	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.24			0.22			0.09		
Deformación promedio (mm)	16			21			24		
Masa Recipiente (g)	17.95			10.68			10.79		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	29.16			26.69			26.59		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	25.71			21.41			21.23		
Masa de agua (g)	3.45			5.28			5.36		
Masa de suelo seco (g)	7.76			10.73			10.44		
Contenido de agua (%)	44.46			49.21			51.34		
Límite Líquido (%)	48%								



Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

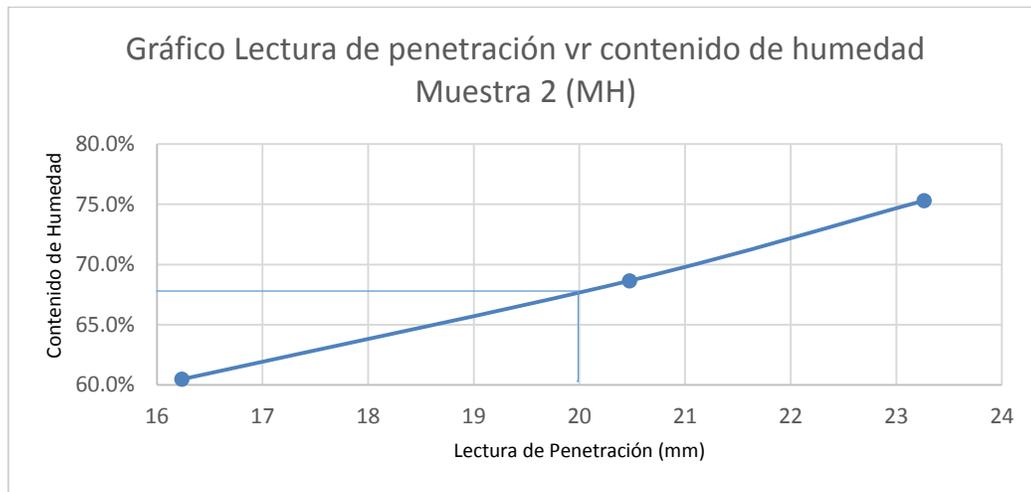
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 2 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Apaneca, Ahuachapán
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 27/08/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	#2 (ID 7)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	16.13	16.34	N/A	20.52	20.43	N/A	23.31	22.77	23.71
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.21			0.09			0.46		
Deformación promedio (mm)	16			20			23		
Masa Recipiente (g)	10.20			10.10			9.50		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	21.32			25.70			26.40		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	17.13			19.35			19.14		
Masa de agua (g)	4.19			6.35			7.26		
Masa de suelo seco (g)	6.93			9.25			9.64		
Contenido de agua (%)	60.46			68.65			75.31		
Límite Líquido (%)	68								



Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

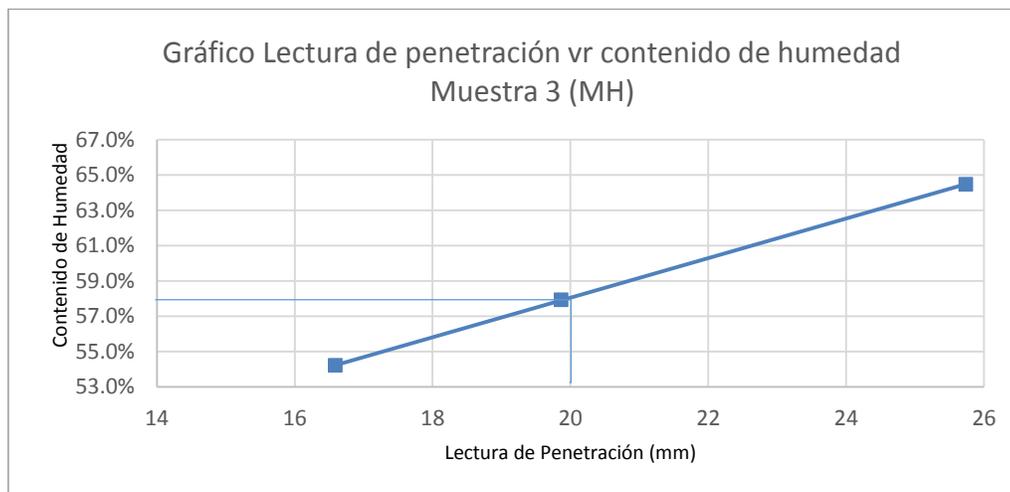
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **3** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Sensuntepeque, Cabañas
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 22/08/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	#3 (ID 8)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	16.60	16.58	N/A	25.72	25.75	N/A	19.76	20.36	19.48
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.02			0.03			0.88		
Deformación promedio (mm)	17			26			20		
Masa Recipiente (g)	10.05			11.11			11.46		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	21.54			25.14			21.82		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	17.50			19.64			18.02		
Masa de agua (g)	4.04			5.50			3.80		
Masa de suelo seco (g)	7.45			8.53			6.56		
Contenido de agua (%)	54.23			64.48			57.93		
Límite Líquido (%)	58								



Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

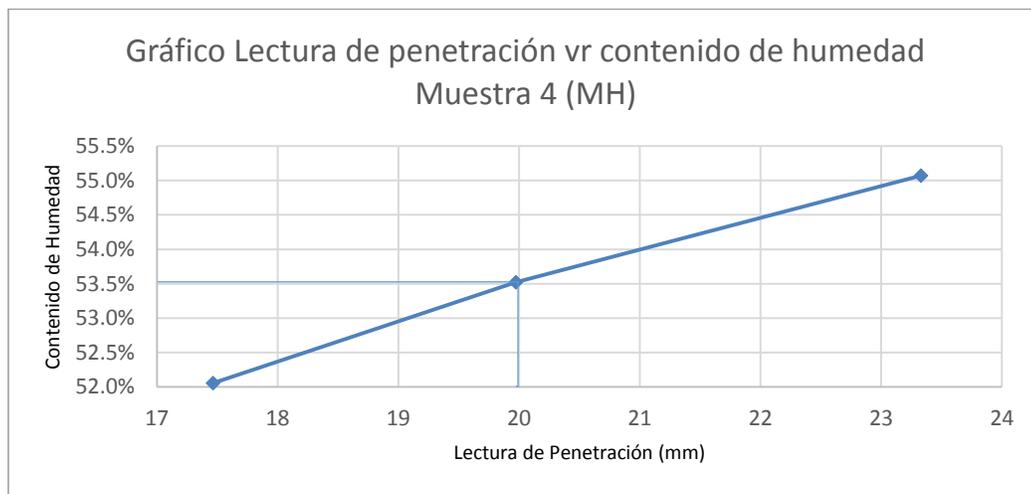
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 4 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Apaneca, Ahuachapán
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 23/08/2019
 Laboratorista: K.Z.F.

Muestra	#4 (ID 10)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	17.65	17.28	N/A	20.02	19.93	N/A	23.45	23.21	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.37			0.09			0.24		
Deformación promedio (mm)	17			20			23		
Masa Recipiente (g)	10.20			11.00			10.60		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	21.30			21.90			21.30		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	17.50			18.10			17.50		
Masa de agua (g)	3.80			3.80			3.80		
Masa de suelo seco (g)	7.30			7.10			6.90		
Contenido de agua (%)	52.05			53.52			55.07		
Límite Líquido (%)	53								



Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

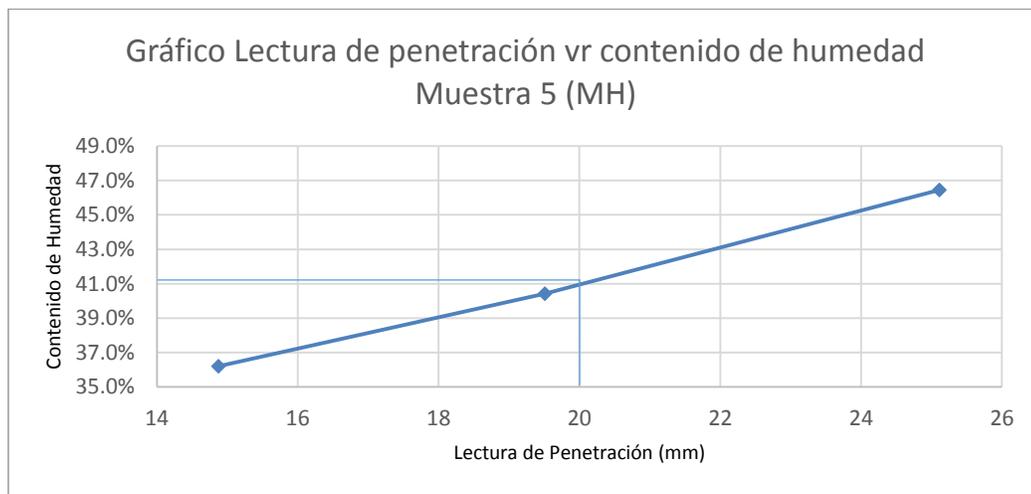
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 5 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Guacotecti, Cabañas
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 23/08/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	#5 (ID 13)								
Prueba	1			2			3		
Deformación (mm)	14.97	14.78	N/A	19.63	19.39	N/A	24.83	25.75	25.44
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.19			0.24			0.92		
Deformación promedio (mm)	15			20			25		
Masa Recipiente (g)	10.09			17.90			9.50		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	24.50			30.06			26.40		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	20.67			26.56			21.04		
Masa de agua (g)	3.83			3.50			5.36		
Masa de suelo seco (g)	10.58			8.66			11.54		
Contenido de agua (%)	36.20			40.42			46.45		
Límite Líquido (%)	41								



Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

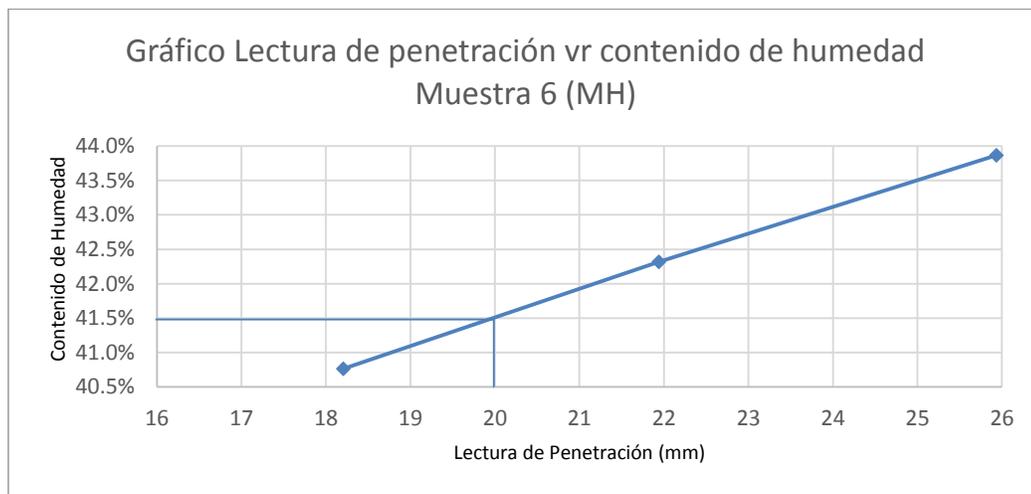
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **6** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Sonsonate, Sonsonate
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 28/08/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	#6 (ID 20)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	18.29	17.70	18.63	21.98	21.90	N/A	25.71	26.16	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.93			0.08			0.45		
Deformación promedio (mm)	18			22			26		
Masa Recipiente (g)	10.01			10.10			9.81		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	22.20			25.20			27.52		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	18.67			20.71			22.12		
Masa de agua (g)	3.53			4.49			5.40		
Masa de suelo seco (g)	8.66			10.61			12.31		
Contenido de agua (%)	40.76			42.32			43.87		
Límite Líquido (%)	42								



Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

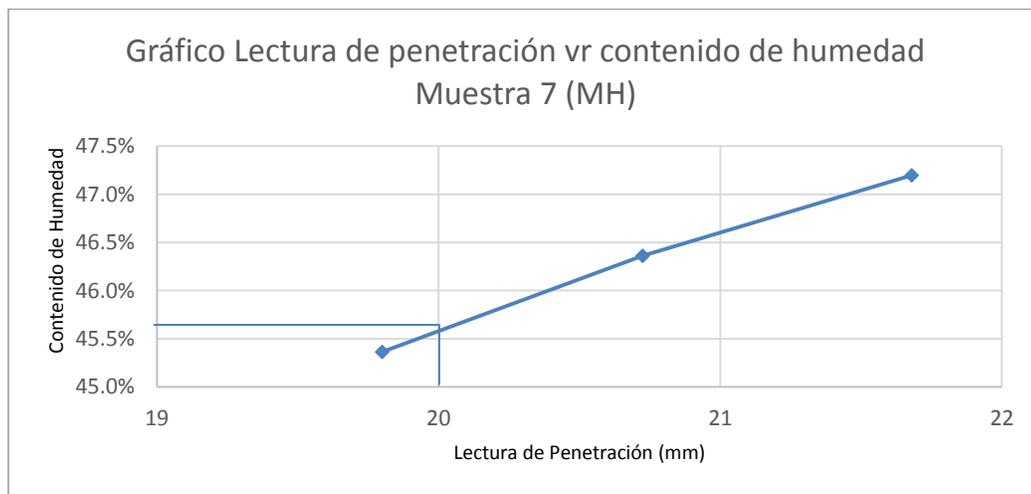
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 7 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 26/08/2019
 Laboratorista: E.M.F

Muestra	#7 (ID 26)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	19.82	19.78	N/A	20.51	20.94	N/A	21.86	21.50	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.04			0.43			0.36		
Deformación promedio (mm)	20			21			22		
Masa Recipiente (g)	9.60			10.30			11.80		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	21.20			30.00			30.70		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	17.58			23.76			24.64		
Masa de agua (g)	3.62			6.24			6.06		
Masa de suelo seco (g)	7.98			13.46			12.84		
Contenido de agua (%)	45.36			46.36			47.20		
Límite Líquido (%)	46								



Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

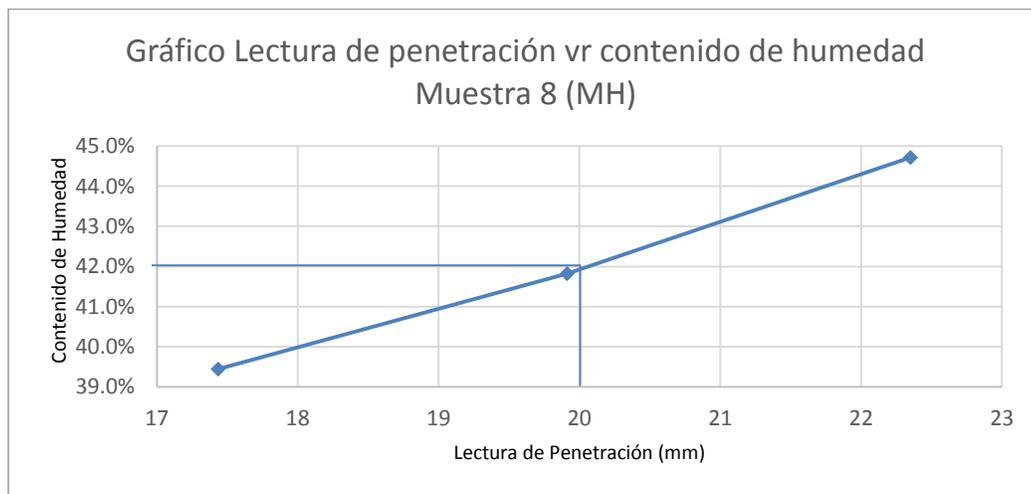
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **8** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 26/08/2019
 Laboratorista: K.Z.F.

Muestra	#8 (ID 29)								
Prueba	1			2			3		
Deformación (mm)	17.42	17.45	N/A	19.41	20.02	20.31	22.57	22.13	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.03			0.90			0.44		
Deformación promedio (mm)	17			20			22		
Masa Recipiente (g)	10.74			10.12			18.03		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	21.70			26.50			36.80		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	18.60			21.67			31.00		
Masa de agua (g)	3.10			4.83			5.80		
Masa de suelo seco (g)	7.86			11.55			12.97		
Contenido de agua (%)	39.44			41.82			44.72		
Límite Líquido (%)	42								



Observaciones: **Limos de Alta Compresibilidad (MH)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

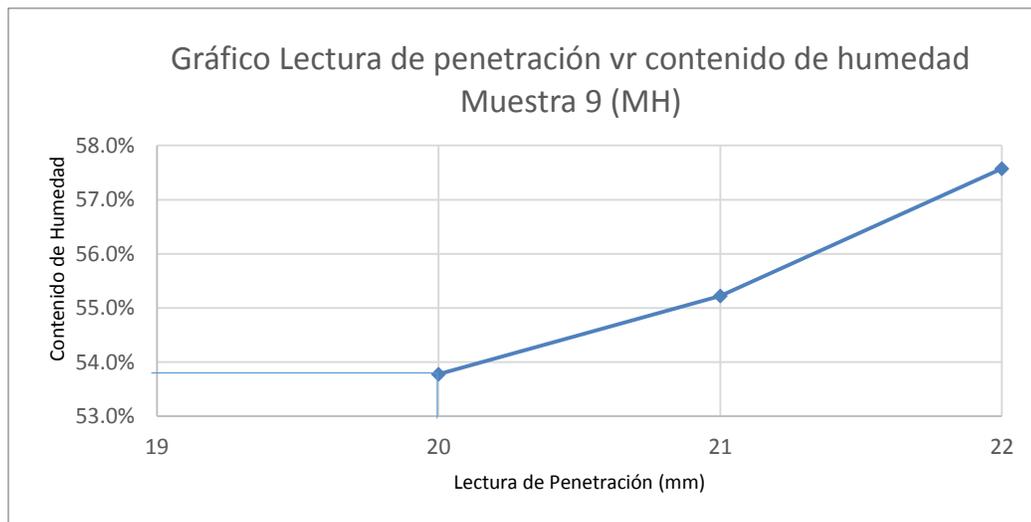
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 9 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 29/08/2019
 Laboratorista: E.M.F

Muestra	#9 (ID 32)								
Prueba	1			2			3		
Deformación (mm)	19.29	19.77	N/A	21.40	20.62	20.66	22.07	22.29	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.48			0.78			0.22		
Deformación promedio (mm)	20			21			22		
Masa Recipiente (g)	18.10			10.30			10.30		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	34.40			20.70			20.70		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	28.70			17.00			16.90		
Masa de agua (g)	5.70			3.70			3.80		
Masa de suelo seco (g)	10.60			6.70			6.60		
Contenido de agua (%)	53.77			55.22			57.58		
Límite Líquido (%)	54								



Observaciones: Limos de Alta Compresibilidad (MH)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

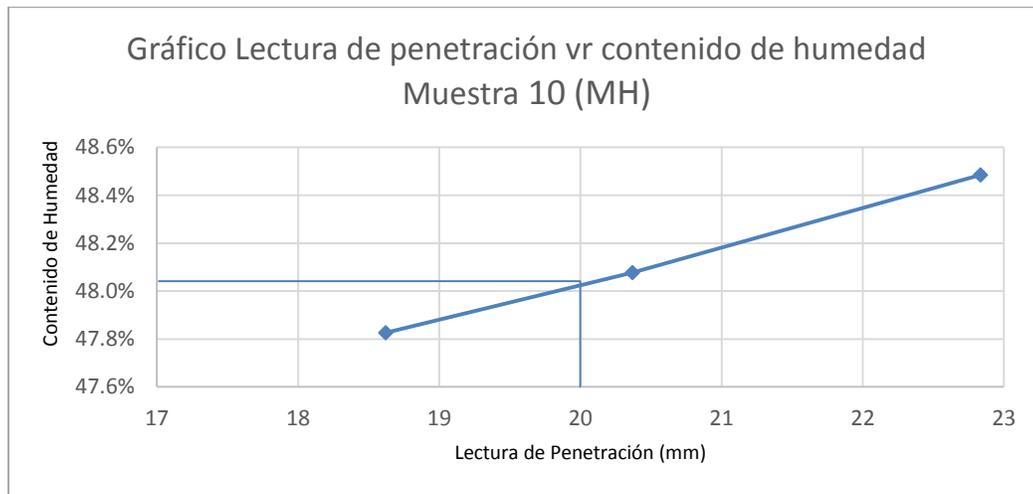
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **10** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 29/08/2019
 Laboratorista: E.M.F

Muestra	#10 (ID 38)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	18.46	18.78	N/A	20.89	20.11	20.11	22.92	22.75	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.32			0.78			0.17		
Deformación promedio (mm)	19			20			23		
Masa Recipiente (g)	10.00			11.30			10.40		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	30.40			26.70			25.10		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	23.80			21.70			20.30		
Masa de agua (g)	6.60			5.00			4.80		
Masa de suelo seco (g)	13.80			10.40			9.90		
Contenido de agua (%)	47.83			48.08			48.48		
Límite Líquido (%)	48								



Observaciones: **Limos de Alta Compresibilidad (MH)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Código:
 Versión:
 Cambio No:

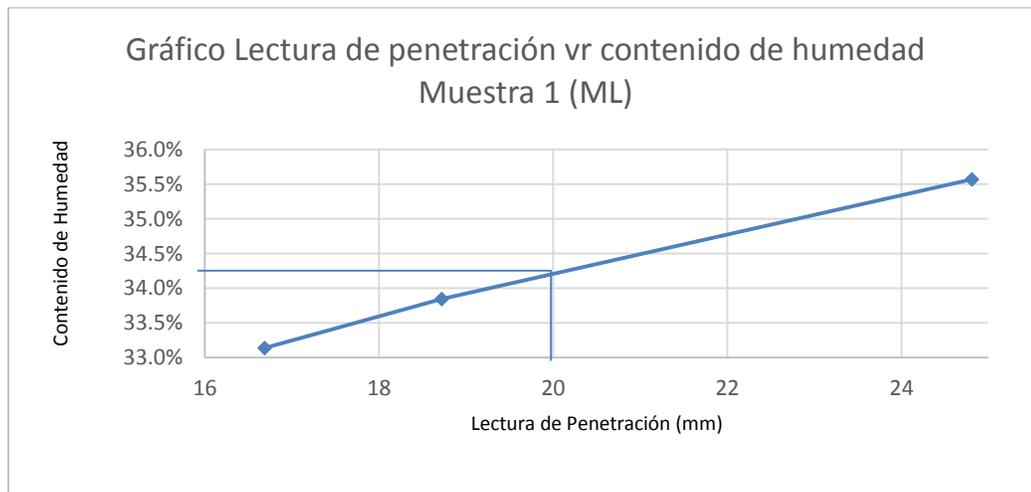
Fecha de Emisión:
 Página **11** de **20**

LIMOS DE BAJA COMPRESIBILIDAD (ML).

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 22/08/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	#1 (ID 9)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	16.75	16.62	N/A	18.91	18.53	N/A	24.97	24.65	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.13			0.38			0.32		
Deformación promedio (mm)	17			19			25		
Masa Recipiente (g)	11.08			10.27			11.02		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	22.49			24.23			24.55		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	19.65			20.70			21.00		
Masa de agua (g)	2.84			3.53			3.55		
Masa de suelo seco (g)	8.57			10.43			9.98		
Contenido de agua (%)	33.41			33.84			35.57		
Límite Líquido (%)	34								



Observaciones: **Limos de Baja Compresibilidad (ML)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

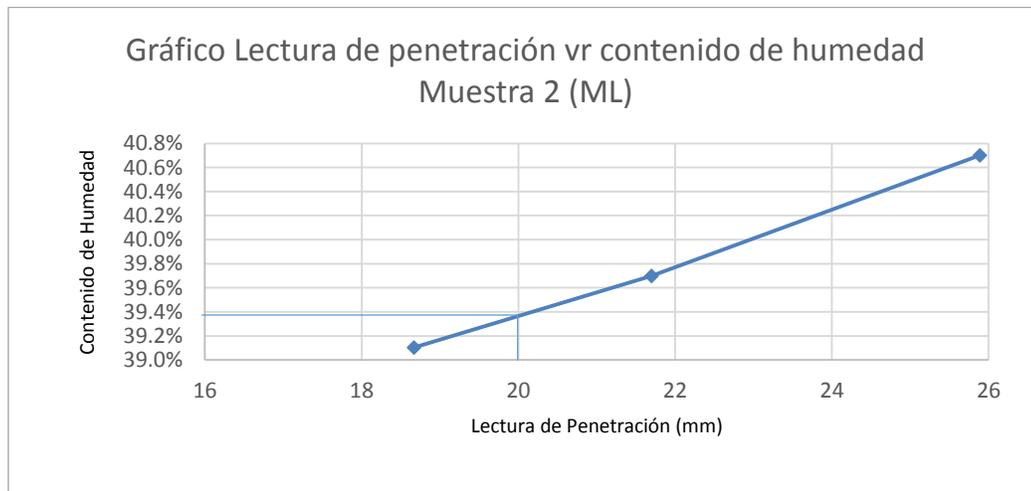
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **12** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 28/08/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	#2 (ID 11)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	18.65	18.69	N/A	21.64	21.79	N/A	25.42	25.95	26.30
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.04			0.18			0.88		
Deformación promedio (mm)	19			22			26		
Masa Recipiente (g)	10.31			11.00			10.17		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	28.95			35.14			24.24		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	23.71			28.28			20.17		
Masa de agua (g)	5.24			6.86			4.07		
Masa de suelo seco (g)	13.40			17.28			10.00		
Contenido de agua (%)	39.10			39.70			40.70		
Límite Líquido (%)	39								



Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

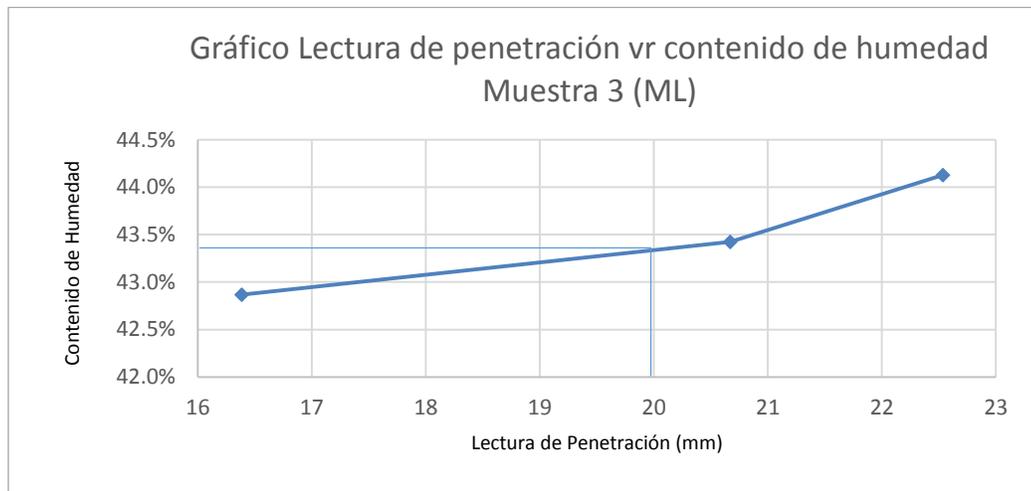
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 13 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Santa Ana, Santa Ana
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 30/08/2019
 Laboratorista: K.Z.F.

Muestra	#3 (ID 12)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	16.70	15.88	16.58	20.55	20.79	N/A	22.64	22.43	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.82			0.24			0.21		
Deformación promedio (mm)	16			21			23		
Masa Recipiente (g)	10.12			10.74			18.03		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	28.95			38.65			39.75		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	23.30			30.20			33.10		
Masa de agua (g)	5.65			8.45			6.65		
Masa de suelo seco (g)	13.18			19.46			15.07		
Contenido de agua (%)	42.87			43.42			44.13		
Límite Líquido (%)	43								



Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

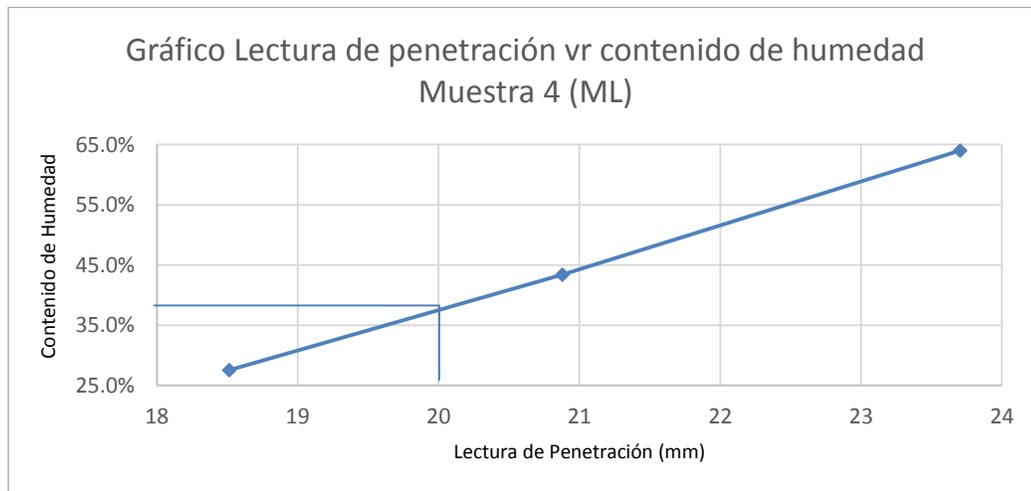
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **14** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Nuevo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 28/08/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	#4 (ID 18)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	18.37	18.66	N/A	21.04	20.72	N/A	24.22	23.57	23.32
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.29			0.32			0.90		
Deformación promedio (mm)	19			21			24		
Masa Recipiente (g)	10.60			10.00			10.10		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	26.20			24.80			27.70		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	22.74			20.32			20.76		
Masa de agua (g)	3.46			4.48			6.94		
Masa de suelo seco (g)	12.14			10.32			10.66		
Contenido de agua (%)	28.50			43.41			65.10		
Límite Líquido (%)	38								



Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

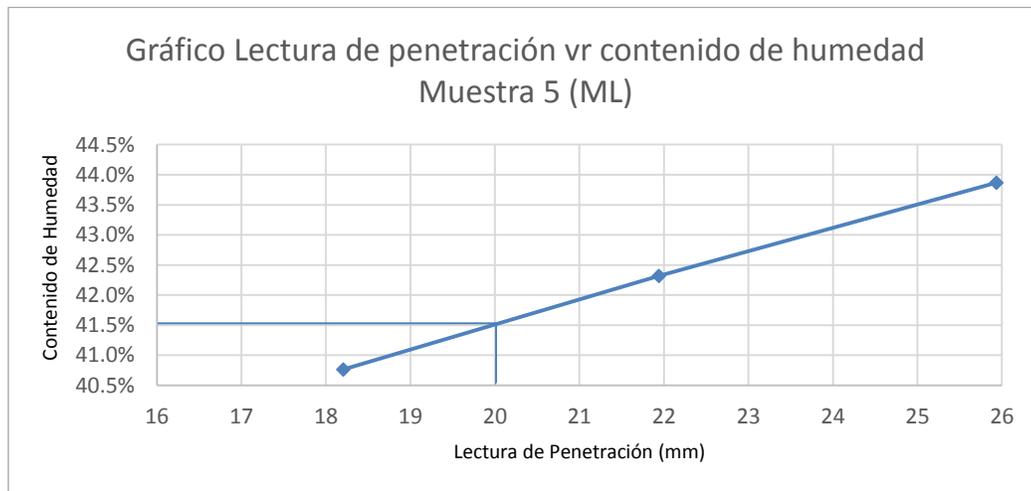
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **15** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 27/08/2019
 Laboratorista: J.A.P.G

Muestra	#5 (ID 19)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	18.29	17.70	18.63	21.98	21.90	N/A	25.71	26.16	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.93			0.08			0.45		
Deformación promedio (mm)	18			22			26		
Masa Recipiente (g)	10.01			10.10			9.81		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	22.20			25.20			27.52		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	18.67			20.71			22.12		
Masa de agua (g)	3.53			4.49			5.40		
Masa de suelo seco (g)	8.66			10.61			12.31		
Contenido de agua (%)	40.76			42.32			43.87		
Límite Líquido (%)	41								



Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
"Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina"

**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
(Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

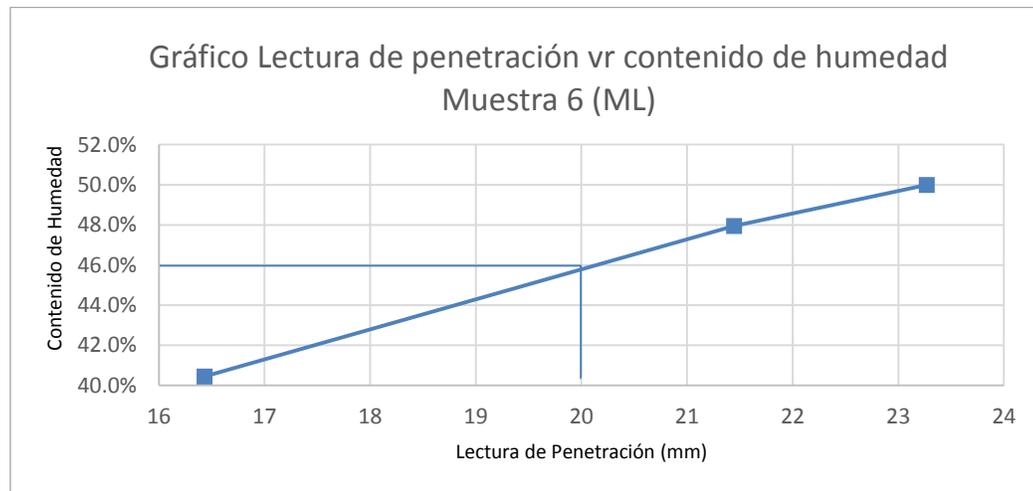
Código:
Versión:
Cambio No:

Fecha de Emisión:
Página **16** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
Ubicación: Quelepa, San Miguel
Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 30/08/2019
Laboratorista: E.M.F

Muestra	#6 (ID 21)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	16.59	16.01	16.70	21.66	21.23	N/A	23.13	23.41	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.69			0.43			0.28		
Deformación promedio (mm)	16			21			23		
Masa Recipiente (g)	10.60			10.60			10.60		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	36.30			21.40			29.50		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	28.90			17.90			23.20		
Masa de agua (g)	7.40			3.50			6.30		
Masa de suelo seco (g)	18.30			7.30			12.60		
Contenido de agua (%)	40.44			47.95			50.00		
Límite Líquido (%)	46								



Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

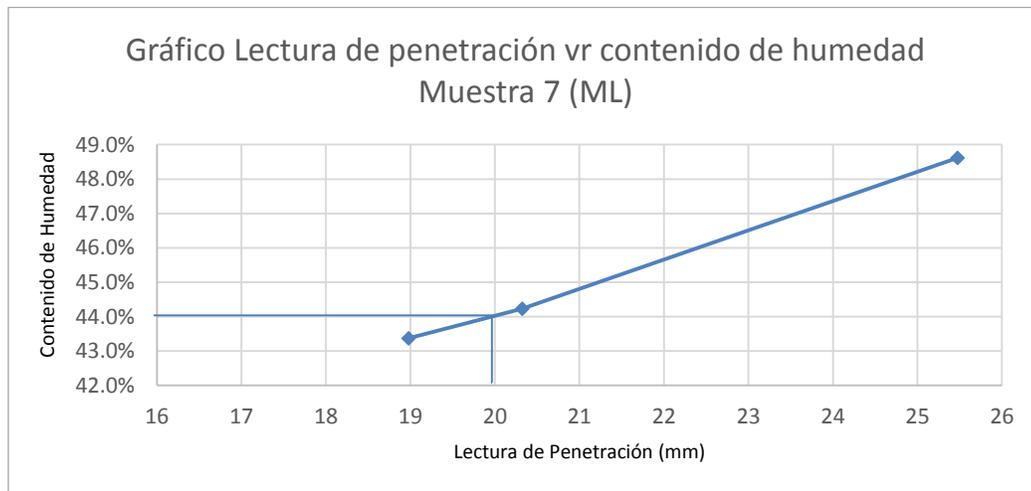
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página 17 de 20

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: San Salvador, San Salvador
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 30/08/2019
 Laboratorista: E.M.F

Muestra	#7 (ID 23)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	18.94	19.02	N/A	20.43	20.22	N/A	25.45	25.50	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.08			0.21			0.05		
Deformación promedio (mm)	19			20			25		
Masa Recipiente (g)	10.00			10.70			11.10		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	29.80			37.70			29.90		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	23.81			29.42			23.75		
Masa de agua (g)	5.99			8.28			6.15		
Masa de suelo seco (g)	13.81			18.72			12.65		
Contenido de agua (%)	43.37			44.23			48.62		
Límite Líquido (%)	44								



Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

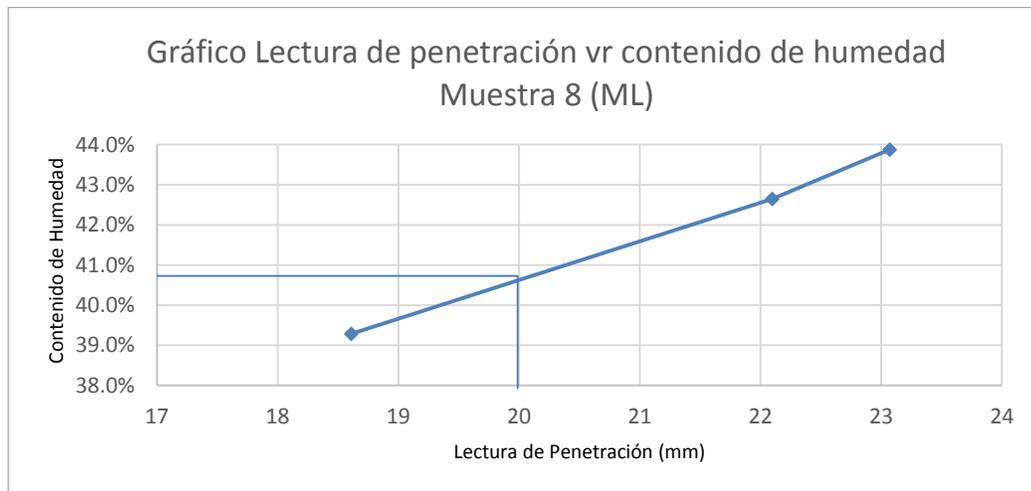
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **18** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 27/08/2019
 Laboratorista: E.M.F

Muestra	#8 (ID 27)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	18.69	18.53	N/A	22.40	21.88	22.01	23.25	22.89	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.16			0.52			0.36		
Deformación promedio (mm)	19			22			23		
Masa Recipiente (g)	10.80			11.20			10.20		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	26.40			50.00			24.30		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	22.00			38.40			20.00		
Masa de agua (g)	4.40			11.60			4.30		
Masa de suelo seco (g)	11.20			27.20			9.80		
Contenido de agua (%)	39.29			42.65			43.88		
Límite Líquido (%)	41								



Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”

**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

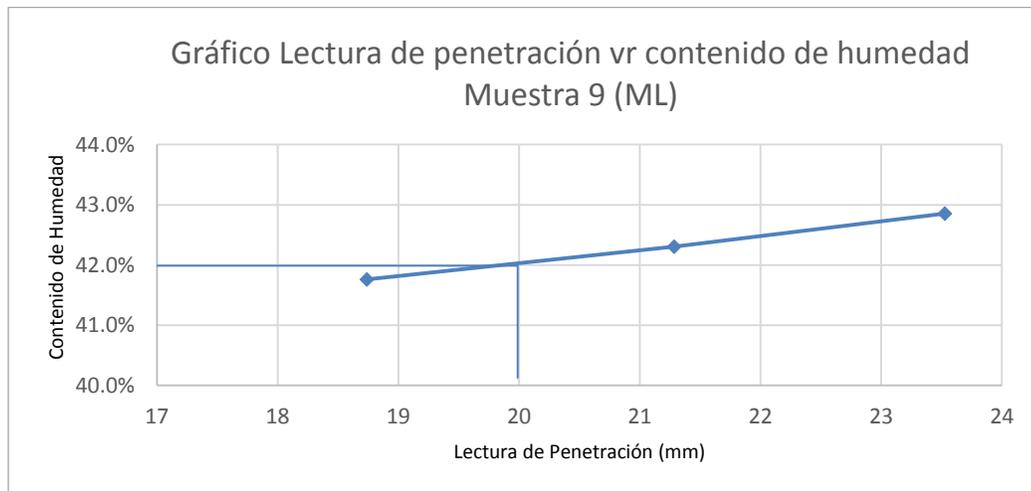
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **19** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Antiguo Cuscatlán, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 27/08/2019
 Laboratorista: E.M.F

Muestra	#9 (ID 28)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	18.99	18.49	N/A	21.11	21.46	N/A	23.18	23.93	23.47
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.50			0.35			0.75		
Deformación promedio (mm)	19			21			24		
Masa Recipiente (g)	10.30			10.00			8.80		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	23.20			21.10			31.80		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	19.40			17.80			24.90		
Masa de agua (g)	3.80			3.30			6.90		
Masa de suelo seco (g)	9.10			7.80			16.10		
Contenido de agua (%)	41.76			42.31			42.86		
Límite Líquido (%)	42								



Observaciones: **Limos de Baja Compresibilidad (ML)**



Laboratorio de Suelos y Materiales
 “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”
**DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS
 POR EL MÉTODO CONO DE PENETRACIÓN
 (Basado en la Norma BS 1377-2:1990).**



PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

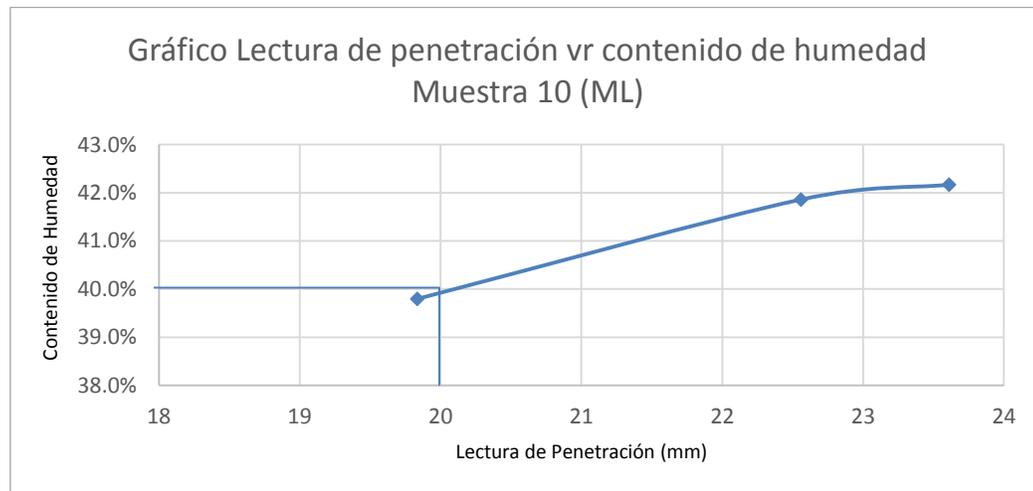
Código:
 Versión:
 Cambio No:

Fecha de Emisión:
 Página **20** de **20**

Proyecto: Trabajo de Investigación
 Ubicación: Zaragoza, La Libertad
 Método Empleado: Multipuntos

Fecha: 02/09/2019
 Laboratorista: E.M.F

Muestra	#10 (ID 31)								
	1			2			3		
Prueba									
Deformación (mm)	19.96	19.71	N/A	22.76	22.36	N/A	23.43	23.79	N/A
Diferencia entre deformaciones (mm)	0.25			0.40			0.36		
Deformación promedio (mm)	20			23			24		
Masa Recipiente (g)	9.60			10.60			10.40		
Masa suelo húmedo + recipiente (g)	23.30			28.90			34.00		
Masa de suelo seco + recipiente (g)	19.40			23.50			27.00		
Masa de agua (g)	3.90			5.4			7.00		
Masa de suelo seco (g)	9.80			12.90			16.60		
Contenido de agua (%)	39.80			41.86			42.17		
Límite Líquido (%)	40								



Observaciones: Limos de Baja Compresibilidad (ML)