

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL



**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICA, GEOMECÁNICA Y
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE
PLASTICIDAD Y EL COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD
DEL SUBSUELO DEL SECTOR EL GARROCHAL
PARROQUIA TURUBAMBA, COORDENADAS 9962882N
774330E”.**

AUTOR:

BRYAN ESTEBAN PEÑAFIEL ROSALES

ANDREA NATALIA REASCOS ARMAS

GUILLERMO REALPE, M. SC, DIRECTOR DE TESIS

QUITO, ABRIL DEL 2021

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme iluminado en momentos difíciles de mi vida, cuyo consuelo me fortalecieron para poder seguir adelante y cumplir con mis metas.

A mis padres, Manuel Mesías Peñafiel Aguilar y Nancy Germania Rosales Suarez, por su largo apoyo a lo largo de mi carrera y formación profesional, gracias a su guía y trabajo han sido las bases fundamentales para el cumplimiento de mis metas y sueños. A mis hermanos que han compartido momentos inolvidables en mi vida, a mi enamorada Evelyn que siempre estuvo a mi lado apoyándome y alentándome en los momentos más difíciles.

A mis familiares que me han brindado palabras de apoyo y aliento para poder seguir adelante.

A mis amigos que he preservado a lo largo de la carrera, cuyos recuerdos y vivezas fue lo mejor que nos llevamos una vez culminada esta etapa de nuestras vidas.

A mi director y correctores que estuvieron allí para guiarnos en la realización de esta investigación, de igual manera a los laboratoristas que nos brindaron una mano para la realización de este trabajo.

Bryan Esteban Peñafiel Rosales

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por brindarme fuerza y sabiduría, a mis padres por llenarme de perseverancia y sueños, y a mi enamorada por brindarme su incondicional apoyo, a mis familiares y amigos que compartieron conmigo grandes momentos.

Bryan Esteban Peñafiel Rosales

DEDICATORIA

Esta Tesis se la dedico al ser más poderoso, bondadoso y justo, Dios, guía de mi vida y apoyo en mis tropiezos, él es el que me pule constantemente para ser mejor. Creador de los seres más significativos de mi vida:

mi madre, mis hermanos, mi padre, mi hijo y mi esposo.

A mi familia en general y amigos que han estado constantemente sin dejare desfallecer.

A los profesores y compañeros de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Los principios para vivir bien,

incluyen la capacidad de encarar los problemas con coraje, las

decepciones con alegría y los logros

con humildad.

Thomas S. Monson

Andrea Natalia Reascos Armas

AGRADECIMIENTOS

A la valentía y firmeza de ser una mujer abnegada. Que sola me ha educado. Sus sacrificios fueron
elementales para la culminación de mi Tesis.

Gracias, Madre.

Andrea Natalia Reascos Armas

ABREVIATURAS Y SIGLAS

ASTM: American Society for Testing and Materials

AASTHO: American Association of State Highways and Transit Officials Asociación de autoridades estatales de tránsito y carreteras.

SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos.

CH: Arcillas de plasticidad alta.

CL: Arcillas de plasticidad baja a media.

GC: Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.

GM: Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo

GP: Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.

GW: Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.

OH: Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.

OL: Limos y arcillas orgánicos de baja plasticidad.

PT: Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.

SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

SP: Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.

MH: Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.

ML: Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.

DMQ: Distrito Metropolitano de Quito

F: Porcentaje de suelo que pasa por el Tamiz más pequeño que la abertura de 0,075 mm.

IG: Índice de grupo

IP: Índice Plástico

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología Ecuatoriano

LL: Límite Líquido

LP: Límite Plástico

SPT: Ensayo de penetración estándar.

SC: Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.

SW: Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos

SUMARIO

PEÑAFIEL ROSALES, Bryan Esteban y REASCOS ARMAS, Andrea Natalia
Caracterización física, geomecánica y determinación de la relación entre el índice de plasticidad y el coeficiente de compresibilidad del subsuelo del sector el Garrochal parroquia Turubamba, coordenadas 9962882N 774330E Tesis de grado previa a la obtención de título de Ingeniero Civil Quito Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Facultad de Ingeniería. 2020 pág., ...cuadros, ...gráficos, anexos.

Caracteriza físicamente todos los parámetros geomecánicas del tipo de suelo presente en el sector el Garrochal parroquia Turubamba y además determina una relación entre el índice de plasticidad y el coeficiente de compresibilidad.

Se determina características propias de este suelo para entender el comportamiento del mismo dentro de la construcción empleando ensayos de laboratorio como SUCS, granulometría e hidrometría, gs, relaciones fundamentales, contenido orgánico y consolidación basados en las normas ASTM, los cuales nos permiten establecer una relación entre limite plástico y coeficiente de compresibilidad para tener un buen uso, optimización y provecho de las posibles edificaciones que pueden estar presentes en el sector el Garrochal parroquia Turubamba.

SUMMARY

PEÑAFIEL ROSALES, Bryan Esteban and REASCOS ARMAS, Andrea Natalia Physical and geotechnical characterization and determination of the relationship between the plasticity index and the subsoil compressibility coefficient of the Garrochal sector, Turubamba parish, coordinates 9962882N 774330E Degree thesis prior to obtaining Title of Civil Engineer Quito Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Faculty of Engineering. 2020.... Page, tables, grapas, annexes.

It physically characterizes all the geomechanical parameters of the type of soil present in the Garrochal parish Turubamba sector and determines a relationship between the plasticity index and the compressibility coefficient.

Characteristics of this soil are determined to understand its behavior within the construction using laboratory tests such as SUCS, granulometry and hydrometric, gs, fundamental relations, organic content and consolidation based on ASTM standards, which allow us to establish a relationship between plastic limit and comprehensibility coefficient to have a good use, optimization and benefit of the possible buildings that may be present in the Garrochal sector, Turubamba parish

ÍNDICE

ÍNDICE DE DIAGRAMAS.....	16
ÍNDICE DE ECUACIONES	16
ÍNDICE DE FIGURAS	18
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	19
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	21
ÍNDICE DE TABLAS	22
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	28
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	28
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	29
1.3 OBJETIVOS	30
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	30
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	30
CAPÍTULO II: ANTECEDENTES	31
2 RESEÑA HISTÓRICA.....	31
2.1 PROVINCIA DE PICHINCHA	31
2.2 CIUDAD DE QUITO	31
2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO.....	34
2.2.1 PROVINICA DE PICHINCHA	34
2.2.2 CANTÓN QUITO	34
2.2.3 DIVISIÓN POLÍTICA DE QUITO	35
2.2.4 PARROQUIA TURUBAMBA.....	36

2.3 SITUACIÓN DEL MEDIO FÍSICO	37
2.3.1 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	37
2.4 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DE QUITO.....	37
2.5 GEOLOGÍA LOCAL	38
2.6 ESTRATIGRAFÍA	38
2.7 ESTRUCTURA REGION LOCAL.....	39
2.7.1 GEOLOGÍA DEL SUR DE QUITO	41
CAPÍTULO III: TRABAJOS EN CAMPO.....	42
3.1 MUESTREO	42
3.2 PERFORACIÓN CONTINUA	44
3.3 ENSAYO PENETRACIÓN NORMALIZADA (SPT)	46
3.4 TOMA DE MUESTRAS CON TUBO SHELBY	49
3.2 ENSAYO MANUAL VISUAL	52
CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN LABORATORIO	55
4.1 RELACIÓN DE VACÍOS POROSIDAD, CONTENIDO DE HUMEDAD, SATURACIÓN, DENSIDAD.	55
4.2 CONTENIDO DE HUMEDAD	59
4.3 LIMITES DE ATTERBEG.....	59
4.3.1 LÍMITE LÍQUIDO (LL)	61
4.3.2 LÍMITE PLÁSTICO (LP).....	65
4.3.3 ÍNDICE DE PLASTICIDAD	66
4.3.4 ÍNDICE DE CONTRACCIÓN	66

4.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	67
4.4.1 OBTENCIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA (GS).....	68
4.4.2 APLICACIÓN DEL GS.....	71
4.5 GRANULOMETRÍA.....	71
4.5.1 Coeficiente de Curvatura C_c Y Coeficiente de Uniformidad C_u ...	75
4.5.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN	76
4.6 CONTENIDO ORGÁNICO	77
4.6.1 PROBLEMAS DEL SUELO ORGÁNICO Y TURBA EN INGENIERÍA	77
4.6.2 COMPRESIBILIDAD EN SUELOS ORGÁNICOS Y EN TURBAS	78
4.6.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO	79
4.7 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	81
4.7.1 SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)	81
4.8 CONSOLIDACIÓN.....	83
4.8.1 ECUACIÓN DE CONSOLIDACIÓN	88
4.8.2 ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN	95
4.8.3 MÉTODO DE CASA GRANDE	97
4.8.4 MÉTODO DE TAYLOR.....	99
4.8.5 DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE COMPRESIBILIDAD....	100
4.8.6 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN C_c	103
4.8.7 CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA Y TERCIARIA	104
CAPÍTULO V: METODOLOGÍA	113

5.1 INTRODUCCIÓN	113
5.2 PRIMERA INTERVENCIÓN DE CAMPO	114
5.3 SEGUNDA INTERVENCIÓN DE CAMPO	119
5.4 METODOLOGÍA DE LABORATORIO	122
CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y ANALISIS DE LOS ENSAYOS EN LABORATORIO	124
6.1 PERFORACIÓN CONTINUA	124
6.2 ENSAYO DE SPT	126
6.2.1 OBSERVACIÓN EN CAMPO	126
6.2.2 INVESTIGACIÓN EN OFICINA	127
6.3 CLASIFICACIÓN SUCS	133
6.3.1 GRANULOMETRÍA	133
6.3.2 HIDROMETRÍA	148
6.3.3 ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG	150
6.4 ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO	162
6.5 ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA	164
6.6 RELACIONES FUNDAMENTALES	167
6.7 ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN	170
6.8 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN	188
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	204
7.1 CONCLUSIONES	204
7.2 RECOMENDACIONES	211

ANEXOS	213
ANEXO # 1 ESTRATIGRAFÍA DEL POZO PQ004	213
ANEXO # 2 DENSIDAD DEL AGUA.....	216
ANEXO # GRUPOS BÁSICOS DE SUELO 3	217
ANEXO # 4 CALSIFICACION SUCS	221
SUCS PSHSEL 001	221
SUCS SPT 001	231
SUCS PSHEL 002.....	303
ANEXO # 5 CALCULO DEL CONTENIDO ORGÁNICO	368
ANEXO # 6 CALCULOS DEL GS	372
ANEXO # 7 CURVAS DE CONSOLIDACIÓN	380
METRO 4	380
METRO 5 PROBETA 1	382
METRO 5 PROBETA 2	384
METRO 8 PROBETA 1	386
METRO 8 PROBETA 2	389
METRO 13	391
ANEXO # 8 COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN SECUNDARÍA	394
ENSAYOS A 24 HORAS	394
METRO 4	394
METRO 5 PROBETA 1	397

METRO 5 PROBETA 2	401
METRO 8 PROBETA 1	405
METRO 8 PROBETA 2	409
METRO 13	412
ENSAYOS MAS DE 24 HOAS.....	415
METRO 4	415
METRO 8	418
METRO 13	419
ANEXO # 9 CURVAS DE COMPRESIÓN Y OCR	422
BIBLIOGRAFÍA	428

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 <i>Tipos de fallas. Obtenido de (Villagómez, 2003)</i>	40

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Relación de área, obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)</i>	50
Ecuación 2 <i>Volumen total de la muestra</i>	57
Ecuación 3 <i>Peso total de la muestra. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)</i>	57
Ecuación 4 <i>Relación de vacíos. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)</i>	57
Ecuación 5 <i>Porosidad</i>	58
Ecuación 6 <i>Grado de saturación Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)</i>	58
Ecuación 7 <i>Contenido de humedad</i>	58

Ecuación 8 <i>Contenido de humedad Obtenido de la norma</i> (INTERNATIONAL, ASTM D2216-19, 2019)	59
Ecuación 9 <i>Índice de plasticidad (IP). Obtenido de</i> (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005).....	66
Ecuación 10 <i>Índice de contracción. Obtenido de</i> (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005).....	67
Ecuación 11 <i>cálculo de VP Obtenida de: norma ASTM D-854-14</i>	69
Ecuación 12 <i>Masa del picnómetro. Obtenido de</i> (INTERNATIONAL, ASTM D854-14, 2014)	70
Ecuación 13 <i>Gravedad específica de los sólidos Obtenido de la norma</i> (INTERNATIONAL, ASTM D854-14, 2014)	70
Ecuación 14 <i>Gravedad específica a 20~C obtenido de</i> (INTERNATIONAL, ASTM D854-14, 2014)	71
Ecuación 15 <i>Coefficiente de uniformidad. Obtenido de</i> (BADILLO, 2005).....	75
Ecuación 16 <i>coeficiente de curvatura. Obtenido de</i> (BADILLO, 2005)	75
Ecuación 17 <i>esfuerzo efectivo</i> (Duque Escobar & Escobar Potes, 2002)	84
Ecuación 18	89
Ecuación 19	89
Ecuación 20	90
Ecuación 21	90
Ecuación 22	90
Ecuación 23	91
Ecuación 24	91
Ecuación 25 <i>Calculo de cv por casas grande. Obtenido de la norma.</i> (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019)	98
Ecuación 26 <i>Calculo de cv por Taylor Obtenida de la norma.</i> (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019).....	100
Ecuación 27 <i>coeficiente de consolidación obtenido de</i> (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005).....	103
Ecuación 28 <i>determinación del cc por Rendón herreno. Obtenido de</i> (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015).....	104
Ecuación 29 <i>determinación de cc por Park y Koumoto. Obtenido de</i> (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015).....	104

Ecuación 32 Interpretación para medir o interpretar los efectos secundarios. Obtenido de (Umaña Romero , 2008).....	106
Ecuación 33 asentamiento total elaborado por Koppejan en 1948. Obtenido de (Umaña Romero , 2008)	107
Ecuación 34 Índice de compresión secundaria. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)	112
Ecuación 35 Correlación de la gravedad específica (Gs) con respecto al contenido de humedad (Wn), obtenido de (Li, y otros, 2020)	200
Ecuación 36 Correlación de la gravedad específica (Gs) con respecto al contenido de humedad (Wn), obtenido de (Li, y otros, 2020)	200
Ecuación 37 Correlación de la gravedad específica (Gs) con respecto al contenido de humedad (Wn), obtenido de (Li, y otros, 2020)	200
Ecuación 38 Correlación de la gravedad específica (Gs) con respecto al contenido de humedad (Wn), obtenido de (Li, y otros, 2020)	200

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ensayo del spt. Obtenido de (INTERNATIONAL, ASTM D1586M-18, 2019). 48	
Figura 2 Tubo de pared delgada Shelby. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015).....	49
Figura 3 división de la muestra por medio de un ranurador metálico. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D4318-17, 2017).....	62
Figura 4 muestra de suelo después de a ver sido cerrada	63
Figura 5 Realización del rollo de 3mm. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D4318-17, 2017)	65
Figura 6 Esquema de la presión de poros Nota. Obtenido de (Alva Hurtado , s.f.)	85
Figura 7 Analogía del pistón. Obtenido de (Duque Escobar & Escobar Potes, 2002)	86
Figura 8 curva de consolidación. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)	87
Figura 9 curvas relación de vacíos presión vertical. Obtenido de (Duque Escobar & Escobar Potes, 2002)	87
Figura 10 (a)Capa de arcilla sometida a consolidación, (b) flujo de agua en a durante la consolidación. Obtenido de (Braja, 2013).....	89
Figura 11 variación de Uz con Tv y z/Hdr. Obtenido de (Braja, 2013).....	94

Figura 13 Consolidación primaria y secundaria. Obtenida de (Lambe & whitman, 2004)	106
Figura 14 Curvas de consolidación en turbas por Dhowian y Eduk 1980. Obtenido de (Umaña Romero , 2008)	109
Figura 15 curva de consolidación presentada por Feda en 1992. Obtenido de (Umaña Romero , 2008)	110
Figura 16 consolidación es muestras de turbas de Portage. Obtenido de (Dhowian & Edil, 1980)	111
Figura 17 Variación de e con log t bajo un incremento de carga dado y la definición de compresión secundaria. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)	112

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1 límite líquido vs Número de golpes. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)	64
Gráfica 2 Obtención del límite líquido. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)	64
Gráfica 3 de consolidación. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019)	97
Gráfica 4 Método de Taylor. Obtenida de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019)	99
Gráfica 5 Curva de compresibilidad. Obtenido de (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019)	101
Gráfica 6 la gráfica a representa a la escala aritmética y el b representa a la escala logarítmica. Obtenido de (BADILLO, 2005)	101
Gráfica 7 Profundidad vs N60 spt	130
Gráfica 8 Profundidad vs N60 spt	131
Gráfica 9 Curvas Granulometrías PSPT 001	136
Gráfica 10 Curvas Granulométricas PSHEL 001	138
Gráfica 11 Granulometría #3 del metro 9	142
Gráfica 12 Granulometría #4 del metro 9	142
Gráfica 13 Granulometría # 2 del metro 15	143
Gráfica 14 Granulometría del pozo PSHEL 001 (1)	145

Gráfica 15	<i>Granulometría PSHEL 002 (2)</i>	146
Gráfica 16	Granulometría vs profundidad.....	147
Gráfica 17	LL Vs profundidad y IP vs profundidad	161
Gráfica 18	Curva de consolidación 8.15-8.45 [m] Casa Grande PSHEL 002	174
Gráfica 19	Curva de consolidación 4.10-4.25 [m] Taylor PSHEL 002	175
Gráfica 20	Curvas de Cv del metro 4 y 5.....	176
Gráfica 21	Curvas de Cv del metro 8 y 13.....	177
Gráfica 22	Profundidad [m] vs deformación [%] en 24 H	186
Gráfica 23	Profundidad [m] vs deformación [%]	187
Gráfica 24	<i>Correlación para suelos orgánicos Vs cc de laboratorio</i>	190
Gráfica 25	<i>Correlaciones para arcillas de alta plasticidad Vs cc de laboratorio</i>	191
Gráfica 26	Correlación para arcillas de alta plasticidad Vs cc de laboratorio	191
Gráfica 27	<i>Correlación entre el contenido de humedad (Wn) y el índice de compresión (cc), obtenido de (McCabe, Sheil, Long, Buggy, & Farrell, 2014)</i>	194
Gráfica 28	Correlación entre el límite líquido (LL) y el índice de compresibilidad (cc), obtenido de (McCabe, Sheil, Long, Buggy, & Farrell, 2014).....	194
Gráfica 29	Correlación obtenido de (Baroni & Almeida , 2017) los índices de compresión vs Wn obtenidos en los ensayos laboratorio	198
Gráfica 30	Correlación obtenido de (Baroni & Almeida , 2017) vs índices de compresión obtenidos de los ensayos de laboratorio	198
Gráfica 31	Correlación obtenido de (Baroni & Almeida , 2017) vs índices de compresión obtenidos de los ensayos de laboratorio	199
Gráfica 32	Correlación obtenido de (Li, y otros, 2020) vs índices de compresión obtenidos de los ensayos de laboratorio.....	201
Gráfica 33	Correlación obtenido de (Li, y otros, 2020) vs índices de compresión obtenidos de los ensayos de laboratorio.....	201
Gráfica 34	Contenido de materia orgánica y gravedad específica vs profundidad.	202
Gráfica 35	Contenido Orgánico Vs Gravedad Específica	203
Gráfica 36	Resumen de la estratigrafía del sur de quito.	205
Gráfica 37	Resumen de la estratigrafía del sur de quito.	206

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 <i>Mapa Político del Ecuador (Provincias)</i>	34
Ilustración 2: <i>División política del Distrito Metropolitano de Quito. Obtenido de (Quito, Mapa de parroquias Urbanas y Rurales de Quito, 2013)</i>	35
Ilustración 3: <i>Quito división parroquial. Obtenido de (EPMAPS, 2015)</i>	36
Ilustración 4: <i>Columna estratigráfica generalizada del relleno de la Cuenca de Quito. Obtenido de (Villagómez, 2003)</i>	39
Ilustración 5: <i>Esquema tectónico simplificado del sur de Quito, mostrando el tramo sur de la falla transcurrentes al norte y normales al sur asociadas. Obtenido de (Base Topográfica IGM-EMAAP-Q)</i>	41
Ilustración 6 <i>Elementos y fases del suelo. En la ilustración presentada se observar cómo se los suele representar al suelo obtenido del libro (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)</i>	56
Ilustración 7 <i>Esquema de consistencia. Obtenido del libro (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)</i>	60
Ilustración 8 <i>Esquema del suelo colocado en la capsula de casa grande</i>	61
Ilustración 9 <i>Hidrómetro. Obtenido de la norma ASTM 7928</i>	76
Ilustración 10 <i>Equipo de laboratorio (Esparza Villalba , 2009)</i>	96
Ilustración 11: <i>Densidad relativa para suelos finos según el SPT. Fuente: (INTERNATIONAL, ASTM D1586M-18, 2019)</i>	133
Ilustración 12: <i>Densidad relativa para arenas, según el SPT. Fuente (INTERNATIONAL, ASTM D1586M-18, 2019)</i>	133
Ilustración 13 <i>Valores de relación de vacíos, humedad y peso seco de algunos suelos. Obtenidos de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)</i>	170
Ilustración 14 <i>Correlación entre el límite líquido y el índice de compresión, obtenido de (McCabe, Sheil, Long, Buggy, & Farrell, 2014)</i>	192
Ilustración 15 <i>Correlación entre el contenido de agua y el índice de compresión, obtenido de (McCabe, Sheil, Long, Buggy, & Farrell, 2014)</i>	193
Ilustración 16 <i>Correlación entre el contenido de humedad natural y el índice de compresión, obtenido de (Baroni & Almeida , 2017)</i>	195
Ilustración 17 <i>Correlación entre la relación de vacíos y el índice de compresión, obtenido de (Baroni & Almeida , 2017)</i>	196
Ilustración 18 <i>Correlación entre el límite líquido (LL) y el índice compresión (cc), obtenido de (Baroni & Almeida , 2017)</i>	197

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Dimensiones de tubos de pared delgada. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)</i>	50
Tabla 2 <i>Tubos de pared delgada, para muestreos. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)</i>	51
Tabla 3 <i>Recomendaciones para tubos de pared delgada. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)</i>	52
Tabla 4 <i>Rango de plasticidad. Obtenido de Anónimo (2010-25-11). Consistencia del suelo – Límites de Atterberg – Índices. Apuntes de Geotecnia con Énfasis en Laderas. Obtenido de la pagina http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de_2498.html</i>	66
Tabla 5 <i>Hinchamiento Potencia. Obtenido de SEGUNDO LABORATORIO: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA (p.2), por A. Huanca Anampa, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</i>	67
Tabla 6 <i>Gravedad específica de algunos suelos los valores mostrados en la tabla son valores obtenidos del libro de JOSEPH E. BOWLES, Foundation Analysis and Design, New York, 4ta Edición,</i>	67
Tabla 7	68
Tabla 8 <i>Tamaño de partículas según la SUCS. Obtenido del sistema unificado de clasificación de suelos S.U.C.S.</i>	72
Tabla 9 <i>Tamaño de partículas según la AASHTO. Obtenido de American Association of State Highway and Transportation Officials. 2002. Standard Specification for transportation materials and methods of sampling and testing. Specifications. Part 1A and 1B. 22nd Edition. USA</i>	72
Tabla 10 <i>Tamaño de partícula según la ASTM. Obtenido del ASTM</i>	73
Tabla 11 <i>Abertura y número de tamices En la tabla se muestra los tamices utilizados para el ensayo de granulometría, obtenido ASTM E11-20, Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org</i>	75
Tabla 12 <i>Rango de contenido orgánico. Obtenido de (Bujang B.K: Huat, 2014)</i>	80
Tabla 13 <i>Simbología de tipo de suelos según SUCS. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D 2487-17, 2017)</i>	82
Tabla 14 <i>tipología S.U.C.S la tabla muestra la simbología utilizada para la clasificación del suelo obtenido de la norma ASTM D 2487-17</i>	83

Tabla 15 ecuaciones de coeficiente de consolidación obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)	104
Tabla 16 % de recuperación	120
Tabla 17 observación	121
Tabla 18 Ensayo del SPT (PSPT 001)	129
Tabla 19 Porcentaje que pasa vs Tamiz (PSPT 001).....	134
Tabla 20 Porcentaje que pasa vs # de tamiz (PSHEL 001). Obtenido de (PUCE, 2019) .	137
Tabla 21 Porcentaje que pasa vs # de tamiz (PSHEL 002 (1)).....	139
Tabla 22 Porcentaje que pasa vs # de tamiz (PSHEL 002 (2)).....	140
Tabla 23 Curva Granulométrica.....	148
Tabla 24 resultados	149
Tabla 25 Límites de Atterberg PSPT 001	152
Tabla 26 Límites de Atterberg PSHEL 001. Obtenido de (PUCE, 2019)	155
Tabla 27 Límite líquido seco dividido para el Límite líquido no seco	156
Tabla 28 Límites de Atterberg PSHEL 002 (1).....	158
Tabla 29 Límites de Atterberg PSHELL 002 (2).....	160
Tabla 30 Contenidos orgánicos y de ceniza del PSHEL 002.....	163
Tabla 31 Rangos de contenido orgánico. Obtenido de la norma ASTM D4427-18	164
Tabla 32 Gravedad específica PSHEL 002	165
Tabla 33 Valores de GS promedios PSHEL 002	166
Tabla 34 Relaciones fundamentales PSHEL 001. Obtenidos del informe (PUCE, 2019)	167
Tabla 35 Relaciones fundamentales PC 001. Obtenidos del informe (PUCE, 2019)	168
Tabla 36 Relaciones fundamentales PSHEL 002	169
Tabla 37 Cálculos del coeficiente de consolidación y índice de compresibilidad metro 4 PHEL 002.....	171
Tabla 38 Cálculos del coeficiente de consolidación y índice de compresibilidad metro 5 PHEL 002.....	172
Tabla 39 Cálculos del coeficiente de consolidación y índice de compresibilidad metro 5 PHEL 002.....	173
Tabla 40 Cálculos del coeficiente de consolidación y índice de compresibilidad metro 13 PHEL 002.....	173
Tabla 41 índice de compresión [cc].....	179

Tabla 42 Resultados de ($c\alpha$) del metro 4 en 24h.....	180
Tabla 43 Resultados de ($c\alpha$) del metro 5 en 24h. Muestra 1	180
Tabla 44 Resultados de ($c\alpha$) del metro 5 en 24h. Muestra 2	180
Tabla 45 Resultados de ($c\alpha$) del metro 8 en 24h. Muestra 1	181
Tabla 46 Resultados de ($c\alpha$) del metro 8 en 24h. Muestra 1	181
Tabla 47 Resultados de ($c\alpha$) del metro 13 en 24h.....	182
Tabla 48 valores de ($c\alpha_1$) y ($c\alpha_2$) del metro 4 en 24h.	182
Tabla 49 valores de ($c\alpha_1$) y ($c\alpha_2$) del metro 8 en 24h. Muestra 1.....	183
Tabla 50 valores de ($c\alpha_1$) y ($c\alpha_2$) del metro 8 en 24h. Muestra 2.....	183
Tabla 51 valores de ($c\alpha_1$) y ($c\alpha_2$) del metro 8 en 24h.	183
Tabla 52 valores promedio de ($c\alpha_1$) y ($c\alpha_2$) del metro 4 en 24h.	184
Tabla 53 valores promedio de ($c\alpha_1$) y ($c\alpha_2$) del metro 5 en 24h.	184
Tabla 54 valores promedio de ($c\alpha_1$) y ($c\alpha_2$) del metro 8 en 24h.	184
Tabla 55 valores promedio de ($c\alpha_1$) y ($c\alpha_2$) del metro 13 en 24h.....	184
Tabla 56 Índice de compresión secundaria 24h.....	185
Tabla 57 Tiempos de consolidación del pozo PSHEL 002	188
Tabla 58 <i>Recopilación de correlaciones presentada por varios autores</i>	189
Tabla 1 <i>Dimensiones de tubos de pared delgada. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)</i>	47
Tabla 2 <i>Tubos de pared delgada, para muestreos. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)</i>	48
Tabla 3 <i>Recomendaciones para tubos de pared delgada. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)</i>	49
Tabla 4 <i>Rango de plasticidad. Obtenido de Anónimo (2010-25-11). Consistencia del suelo – Límites de Atterberg – Índices. Apuntes de Geotecnia con Énfasis en Laderas. Obtenido de la pagina http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de_2498.html</i>	64
Tabla 5 <i>Hinchamiento Potencia. Obtenido de SEGUNDO LABORATORIO: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA (p.2), por A. Huanca Anampa, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</i>	64
Tabla 6 <i>Gravedad especifica de algunos suelos los valores mostrados en la tabla son valores obtenidos del libro de JOSEPH E. BOWLES, Foundation Analysis and Design, New York, 4ta Edición,</i>	6568

Tabla 7.....	69
Tabla 8 <i>Tamaño de partículas según la SUCS. Obtenido del sistema unificado de clasificación de suelos S.U.C.S.</i>	72
Tabla 9 <i>Tamaño de partículas según la AASHTO. Obtenido de American Association of State Highway and Transportation Officials. 2002. Standard Specification for transportation materials and methods of sampling and testing. Specifications. Part 1A and 1B. 22nd Edition. USA</i>	73
Tabla 10 <i>Tamaño de partícula según la ASTM. Obtenido del ASTM</i>	73
Tabla 11 <i>Abertura y número de tamices En la tabla se muestra los tamices utilizados para el ensayo de granulometría, obtenido ASTM E11-20, Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org</i>	75
Tabla 12 <i>Rango de contenido orgánico. Obtenido de (Bujang B.K: Huat, 2014).</i>	81
Tabla 13 <i>Simbología de tipo de suelos según SUCS. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D 2487-17, 2017).</i>	82
Tabla 14 <i>tipología S.U.C.S la tabla muestra la simbología utilizada para la clasificación del suelo obtenido de la norma ASTM D 2487-17</i>	83
Tabla 15 <i>ecuaciones de coeficiente de consolidación obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)</i>	104
Tabla 16 <i>% de recuperación</i>	120
Tabla 17 <i>observación</i>	121
Tabla 18 <i>Ensayo del SPT (PSPT 001)</i>	128
Tabla 19 <i>Porcentaje que pasa vs Tamiz (PSPT 001)</i>	133
Tabla 20 <i>Porcentaje que pasa vs # de tamiz (PSHEL 001). Obtenido de (PUCE, 2019)</i> .	136
Tabla 21 <i>Porcentaje que pasa vs # de tamiz (PSHEL 002 (1))</i>	138
Tabla 22 <i>Porcentaje que pasa vs # de tamiz (PSHEL 002 (2))</i>	139
Tabla 23 <i>Curva Granulométrica</i>	147
Tabla 24 <i>resultados</i>	148
Tabla 25 <i>Limites de Atterberg PSPT 001</i>	151
Tabla 26 <i>Limites de Atterberg PSHEL 001. Obtenido de (PUCE, 2019)</i>	154
Tabla 27 <i>Límite líquido seco dividido para el Límite líquido no seco</i>	155
Tabla 28 <i>Límites de Atterberg PSHEL 002 (1)</i>	157
Tabla 29 <i>Límites de Atterberg PSHELL 002 (2)</i>	158

Tabla 30 <i>Contenidos orgánicos y de ceniza del PSHEL 002</i>	162
Tabla 31 <i>Rangos de contenido orgánico. Obtenido de la norma ASTM D4427-18</i>	162
Tabla 32 <i>Gravedad específica PSHEL 002</i>	164
Tabla 33 <i>Valores de GS promedios PSHEL 002</i>	165
Tabla 34 Relaciones fundamentales PSHEL 001. Obtenidos del informe (PUCE, 2019)	166
Tabla 35 Relaciones fundamentales PC 001. Obtenidos del informe (PUCE, 2019)	167
Tabla 36 Relaciones fundamentales PSHEL 002	167
Tabla 37 Cálculos del coeficiente de consolidación y índice de compresibilidad metro 4 PHEL 002.....	170
Tabla 38 Cálculos del coeficiente de consolidación y índice de compresibilidad metro 5 PHEL 002.....	171
Tabla 39 Cálculos del coeficiente de consolidación y índice de compresibilidad metro 5 PHEL 002.....	172
Tabla 40 Cálculos del coeficiente de consolidación y índice de compresibilidad metro 13 PHEL 002.....	172
Tabla 41 índice de compresión [cc].....	178
Tabla 42 Resultados de (α) del metro 4 en 24h.....	179
Tabla 43 Resultados de (α) del metro 5 en 24h. Muestra 1	179
Tabla 44 Resultados de (α) del metro 5 en 24h. Muestra 2	179
Tabla 45 Resultados de (α) del metro 8 en 24h. Muestra 1	180
Tabla 46 Resultados de (α) del metro 8 en 24h. Muestra 1	180
Tabla 47 Resultados de (α) del metro 13 en 24h.....	181
Tabla 48 valores de (α_1) y (α_2) del metro 4 en 24h.	181
Tabla 49 valores de (α_1) y (α_2) del metro 8 en 24h. Muestra 1.....	182
Tabla 50 valores de (α_1) y (α_2) del metro 8 en 24h. Muestra 2.....	182
Tabla 51 valores de (α_1) y (α_2) del metro 8 en 24h.	182
Tabla 52 valores promedio de (α_1) y (α_2) del metro 4 en 24h.	183
Tabla 53 valores promedio de (α_1) y (α_2) del metro 5 en 24h.	183
Tabla 54 valores promedio de (α_1) y (α_2) del metro 8 en 24h.	183
Tabla 55 valores promedio de (α_1) y (α_2) del metro 13 en 24h.....	183
Tabla 56 Índice de compresión secundaria 24h.....	184

Tabla 57 Tiempos de consolidación del pozo PSHEL 002	187
Tabla 58 <i>Recopilación de correlaciones presentada por varios autores</i>	188

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN

El Ecuador está ubicado en una zona de alto riesgo sísmico; debido a la subducción de las placas Nazca y Continental, provocando una liberación de energía que genera movimientos telúricos que se suelen sentir en el país. Así mismo, se tienen fuentes sísmicas no profundas en el Distrito Metropolitano de Quito como los casos de las fallas ciegas.

En este contexto de amenaza sísmica en la ciudad de Quito, la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) a través de la Facultad de Ingeniería y el Laboratorio de Mecánica suelos que conjuntamente con el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, en un marco de convenio de investigación se encuentran desarrollando el proyecto actualización de microzonificación. Dentro de este proceso se contempla la necesidad de caracterizar geotécnicamente al distrito metropolitano, teniendo como alcance así mismo, una precisión de la información disponible.

Por otro lado, en los últimas décadas Quito ha presentado un fuerte crecimiento poblacional, provocando que la demanda de infraestructura vaya aumentando de igual manera (INEC, 2010), haciendo que las viviendas se construyan en lugares donde antes solían ser haciendas como: la hacienda El Carmen, la hacienda La Mena, entre otras que hoy en día forman parte de los barrios del sur de Quito (últimasNoticias, 2016). Al tener tipos de suelos que originalmente fueron utilizados para la agricultura y ganadería se desprende la incompetencia de los estratos para la cimentación de ciertos tipos de estructuras.

Cabe recalcar que el sur de Quito se ve en la necesidad de la implementación de obras de ingeniería, pero varias construcciones en esta zona han tenido problemas, los estratos que compone el suelo de cimentación, genera: altos asentamientos, y edificaciones fallidas (El telégrafo, 2011). Además, se observa en la actualidad sectores que han experimentado crecimientos en altura que no han sido sujetos al control de las entidades encargadas. Esto ha conducido a la generación de un fenómeno conocido como construcción informal, que incluye un desarrollo poco técnico del sector con falta de planificación urbanística y énfasis en el futuro.

Por todo lo mencionado anteriormente, la amenaza sísmica en Quito, las condiciones del subsuelo en el sur de Quito, el alto crecimiento poblacional que ha surgido con respecto del centro y Norte de Quito en las últimas décadas (Cortez, 2015) la construcción informal (inadecuados estudios geotécnicos) sustentan la importancia de la realización de la investigación en el sur de Quito.

Determinar el comportamiento de los materiales del suelo de cimentación del sur de Quito, permitirá el desarrollo planificado para la microzonificación de Quito, también constituirá en un insumo para los procesos de rehabilitación o de verificación de las viviendas ya construidas en el sector, así como también se podrán tener en cuenta para diseños preliminares para futuras edificaciones

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas Quito ha tenido un fuerte crecimiento que, según los datos del INEC, llegando a ser la ciudad más poblada del Ecuador llegando a superar a la ciudad de Guayaquil, siendo esta la más poblada durante un siglo. (el telégrafo, 2019) Siendo una de las zonas con mayor crecimiento el sur de la Capital (AVILÉS PONCE, 2013), debido a que tiene altas demandas de gente migratoria. El sur de Quito parece ser una opción económica para aquellas personas que llegan de diversas provincias a la capital ya sea en busca de trabajo o estudios (LA HORA, 2018), haciendo que la demanda de infraestructura aumente de igual manera.

En el sur de DMQ se presenta un subsuelo de composición compleja (Aviles, 2013), que pueden estar afectando a las construcciones ya realizadas, y además si no se toma en cuenta esta condición, también pudiera afectar a las futuras edificación. Se conoce que prácticamente el sur de Quito presenta en su composición una no homogeneidad evidenciada tanto en área como en profundidad. Y estos están compuestos fundamental por limos inorgánicos con arenas finas, arenas limosas y arcillosas baja plasticidad, presencia de material orgánico, turba y niveles freáticos (Avilés, 2013).

Muchos de los suelos en el sur de Quito son calificados como blandos, presentan el problema de alta deformabilidad o compresibilidad cuando son sometidos a una sollicitación de carga. Este fenómeno ha sido identificado en varios sectores del sur de Quito como el caso del

Garrochal, Caupicho, Turubamba, Solanda etc. Un claro ejemplo es Solanda donde gran parte de las edificaciones han sufrido un proceso continuo de deformación con la evidencia de pequeñas fisuras en las paredes iniciales, las cuales con el paso del tiempo se convirtiendo en grandes cuarteaduras. Se observa además, puertas que están totalmente descuadradas, los techos y las losas se han fisurada, algunas al punto de que las viviendas tuvieron que ser deshabitadas por el riesgo de que se produzca un colapso estructural,, técnicos de la secretaria de riesgos de la secretaría de seguridad del municipio de Quito explica que Solanda está ubicado en una zona no apta para la edificación (Merizalde, 2018). Estas deformaciones conceptualmente pudieran corresponder al fenómeno que se estudia bajo la teoría de consolidación o deformación a largo plazo. Existe la necesidad de conocer o identificar los parámetros de este tipo de suelos, estudiarlo adecuadamente y poder controlarlos, este tipo de parámetro se lo realiza mediante procesos en campo como en laboratorio.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterización física - geomecánica, y determinación de la posible relación o tendencia entre el índice de plasticidad y el coeficiente de compresibilidad de ciertos estratos del subsuelo del sector el Garrochal parroquia de Turubamba, coordenadas 9962882N 774330E.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir las características físicas del subsuelo a través de ensayos laboratorio, rigiéndose en las normas vigentes en el Ecuador. (Granulometría, contenido de humedad, densidad, relación de vacíos, porosidad, gravedad específica, Límites Atterberg.)
- Definir las características geomecánica del subsuelo a través de ensayos de laboratorio, rigiéndose en las normas vigentes en el Ecuador. índice de compresión (Cc), coeficiente de consolidación (Cv), coeficiente de compresibilidad volumétrica (mv)).
- Identificar potenciales relaciones entre el IP (índice de plasticidad) y el Cc (coeficiente de compresión) dentro de la zona investigada.

CAPÍTULO II: ANTECEDENTES

2 RESEÑA HISTÓRICA

2.1 PROVINCIA DE PICHINCHA

Pichincha se crea el 25 de julio de 1824 con el acuerdo de la ley de división territorial de la Colombia por el Gral. Francisco de Paula Santander, la cual también abarcaba los territorios de las provincias Cotopaxi y Esmeraldas (Avíles E. , s.f.) .

El 18 de noviembre de 1847 se separa de lo que se conoce hoy como Esmeraldas y el 1 de abril de 1851 se desvinculo de la provincia de Cotopaxi, en ese entonces conocida como la provincia de León (Avíles E. , s.f.).

Para este entonces estaba integrada por los cantones Cayambe, Mejía, Pedro Moncayo, Pedro Vicente Maldonado, Puerto Quito, Rumiñahui, San Miguel de los Bancos, Quito y Santo Domingo. El 6 noviembre del 2007 Santo Domingo de los Tsáchilas se separa de Pichincha definiendo la línea de separación en la cumbre de la cordillera de Zapadores, hasta la confluencia de los ríos San Pablo y Toachi (Medina, 2015).

2.2 CIUDAD DE QUITO

Su nombre completo es San Francisco de Quito fundada por los españoles en 1534, es la ciudad más importante del Ecuador ya que es su capital y además capital de la provincia de Pichincha y cabecera del área metropolitana conocida como Distrito Metropolitano de Quito (EcuREd, s.f.).

La ciudad de Quito comenzó con doscientos habitantes y poco a poco ha ido incrementándose hasta convertirse en la ciudad más pobladas del Ecuador en el 2020 con 2.781 millones de habitantes aproximadamente. La fundación de Quito fue estratégica por su ubicación ya que proporciona desarrollo urbano.

Quito es una de las más antiguas capitales Sudamericanas y mantiene muchos aspectos coloniales, en 1822 se proclama su independencia de España por el general Antonio José de Sucre (EcuREd, s.f.).

En 1978, Quito fue declarada por la UNESCO, patrimonio de la humanidad por sus edificaciones antiguas aún conservadas, que tienen fusiones de arte español, italiano, árabe, flamenco e indígena su arquitectura, de estilo barroco hispánico y por sus principales estructuras tales como iglesias y catedrales. En esta misma década experimentó un importante crecimiento urbano, justificado entre varias razones, por los altos recursos económicos provenientes de la explotación petrolera (EcuREd, s.f.).

Su crecimiento se extendió hacia Carapungo, en el norte, y Turubamba, Chillogallo, en el sur. Estos sitios pasaron a ser urbes, comenzando por lo básico, la construcción de la infraestructura, viviendas unitarias y colectivas. Se creó la avenida Mariscal Sucre, la cual dio paso a la implementación de programas de mantenimiento vial, mirando a esta actividad como un desarrollo similar situación con la Av. Maldonado y su prolongación a la Panamericana Sur, que se anexo a nuevos sectores alrededor de 10 km. Las áreas ocupadas por las haciendas Solanda, Mena y otras abandonaron definitivamente su papel de periferia y dieron paso a las ciudadelas. Lo mismo ocurrió en sectores como Andalucía, El Rosario, Cotocollao y Carapungo y las ciudadelas Kennedy y Rumiñahui, en el norte. En 1978 se realiza un diseño para la ampliación de la avenida De la Prensa además que con estas obras era necesario que se incrementen los servicios de alcantarillado y agua potable las cuales se realizaron con la pavimentación de la vía (Vizuite V. , 2015).

En el sector de la Alameda, El Ejido, La Mariscal, Ñaquito y Fernando Carrión, aumentó el número de edificaciones, desde cuatro hasta más de diez pisos, los cuales eran rentables por su ubicación para oficinas y negocios. Quito se estaba expandiendo ya no horizontal sino verticalmente, por ejemplo:

- El Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (1958, av. 10 de agosto y Bogotá).
- La Previsora del Norte (1960, av. 10 de agosto y Río de Janeiro)
- Banco Central (1963-1968, La Alameda)
- Cofiec (1974) (82,8 metros)

- Benalcázar mil (1975, este edificio fue por meses el más alto de la urbe)
- Torres Almagro (1975)
- Banco Internacional (1975-1990)
- Torre CFN (1984)
- Torre Consejo Provincial de Pichincha (1987)
- Basílica del Voto Nacional (1988)

En la publicación ‘Quito Patrimonio’, de Rolando Moya y Evelia Peralta (Quito, febrero 2006), entre 1970 y 1980, en el área de Quito se cuadruplicó la población, sin embargo, no se extendió; por lo que se debió densificar y compactar su crecimiento urbano (Vizuite V. , 2015)

- Estacionamiento Montúfar (1997-1998)
- Yoo Quito (2018)
- One (2019)
- Unique (2020)
- Imagine (2020)

2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

2.2.1 PROVINICA DE PICHINCHA



Ilustración 1 Mapa Político del Ecuador (Provincias)

La provincia de Pichincha está situada en el centro norte de la República del Ecuador. La provincia de Pichincha tiene una extensión de 9536 km², la conforman los cantones (Avíles E. , s.f.):

- Quito, Cayambe, Mejía, Pedro Moncayo, Rumiñahui, San Miguel de los Bancos, Pedro Vicente Maldonado, Puerto Quito.

LÍMITES

- Al norte limita con las provincias de Imbabura y Sucumbíos
- Al sur limita con la provincia de Cotopaxi
- Al este limita con la provincia de Napo
- Al oeste limita con la provincia de Santo Domingo
- Al noroeste limita con la provincia de Esmeraldas

2.2.2 CANTÓN QUITO

Quito, la zona urbana, se desplanta sobre una meseta cuya altura respecto al nivel del mar, en la antigüedad (periodo formativo) se establecía como un condicionante muy atractivo para la agricultura. Sin embargo, Al sufrir el fenómeno de crecimiento de la Urbe y su propio

desarrollo, este ítem quedó en segundo plano a más de ser considerado una desventaja, por la necesidad de realizar modificaciones para facilitar las construcciones, así como también la imperiosa necesidad de los rellenos de quebradas. (Alfonso, 2004)

ALTITUD: Media 2953 m.s.n.m

Máxima 5790 m.s.n.m.

Mínima 115 m.s.n.m.

2.2.3 DIVISIÓN POLÍTICA DE QUITO

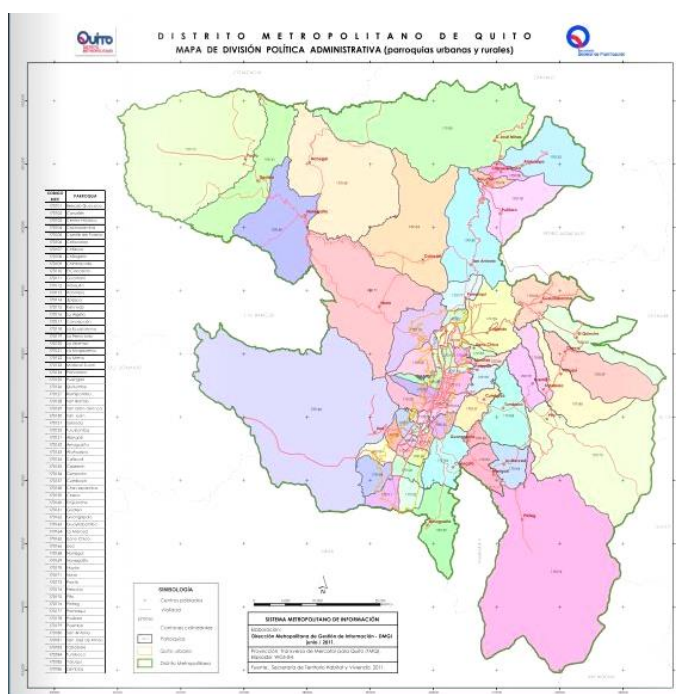


Ilustración 2: División política del Distrito Metropolitano de Quito. Obtenido de (Quito, Mapa de parroquias Urbanas y Rurales de Quito, 2013)

Quito como distrito metropolitano está conformado por 65 parroquias rurales y urbanas, las cuales son:

- Parroquias Rurales de Quito:

“Alangasí, Amaguaña, Atahualpa, Calacalí, Calderón, Conocoto, Cumbayá, Chavezpamba, Checa, El Quinche, Guala, Guangopolo, Guayllabamba, La Merced, Llano Chico, Lloa, Nanegal, Nanegalito, Nayón, Nono, Pacto, Perucho, Pifo, Píntag, Pomasqui, Puéllaro,

Puembo, San Antonio de Pichincha, San José de Minas, Tababela, Tumbaco, Yaruquí, Zámbez.” (Quito, Goraymi)

- Parroquias Urbanas de Quito

“Belisario Quevedo, El Inca, Carcelén, Centro Histórico, Chilibulo, Chillogallo, Chimbacalle, Cochapamba, Comité del Pueblo, Concepción, Cotacollao, El Condado, Magdalena, Guamaní, Iñaquito, Itchimbía, Jipijapa, Kennedy, La Argelia, La Ecuatoriana, La Ferroviaria, La Libertad, La Mena, Mariscal Sucre, Ponceano, Puengasí, Quitumbe, Rumipamba, San Bartolo, San Juan, Solanda, **Turubamba**.” (Quito, Goraymi)

2.2.4 PARROQUIA TURUBAMBA

Turubamba significa valle de lodo, fue fundada el 17 de febrero de 1986, su historia trasciende desde que los primeros pobladores llegaron a colonizar simplemente era un “montón de potreros cruzados por dos grandes quebradas y un par de Ciénegas” (Vizúete C., 2010) son las palabras de los antiguos moradores de esta conocida parroquia asentada en el sur de Quito, la cual está delimitada por las parroquias Quitumbe y Guamaní:

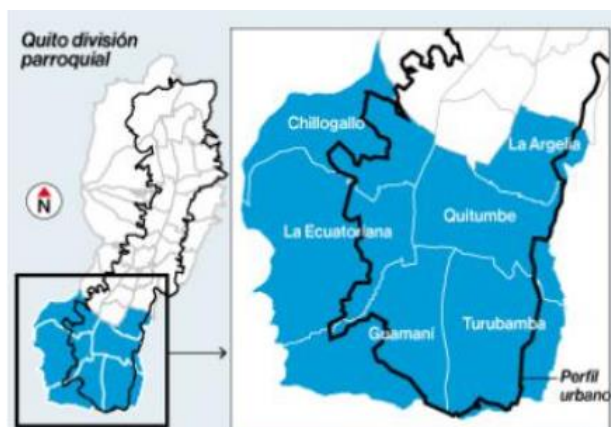


Ilustración 3: Quito división parroquial. Obtenido de (EPMAPS, 2015)

El territorio que ocupa la parroquia de Turubamba era conocido como la hacienda Salazar la cual pertenecía a Sr. Guerrero Mora único dueño de todo este territorio. En 1982 se realiza las lotizaciones de estos terrenos y se comenzó con la apertura de lo que es hoy en día es la Av. Teniente Hugo Ortiz, pero solo llegaba el sector el Comercio, por lo que los ciudadanos

que ya habitaban en la parroquia realizaban sus principales abastecimientos en el sector Chillogallo, se conoce que los primeros colonos se establecieron en el año de 1988 como resultado de la planificación urbana estipulado por la municipalidad, se ejecutó por el financiamiento del Banco Ecuatoriano de la vivienda y se construyó por la Junta Nacional de la Vivienda. (Vizuite V. , 2015)

En sus inicios la parroquia de Turubamba prescindía incluso de los servicios básicos, algunos cronistas calificaron de deprimente al sector. Sin embargo, con el esfuerzo de sus habitantes se logró transformar esa situación, para convertirse en lo que hoy es la parroquia. Se reconoce en el proceso de cambio hechos como; la disponibilidad de todos los servicios públicos (agua, luz, alcantarillado) vías de acceso pavimentadas, línea de bus, entre otras. En 1991 se logró la construcción de un templo católico, proyecto emprendido por el párroco de nacionalidad coreana José Lee quien cautivo a sus devotos para unirse a la causa. En 1996 se inaugura el Subcentro de salud de Turubamba (Vizuite C. , 2010), además se ha tomado esta parroquia como una de las paradas del tren de Quito proyecto en ejecución, se estima la inauguración de este para el 2022.

2.3 SITUACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

2.3.1 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología de Quito es sumamente diversa oscila entre los 2700 m.s.n.m, sector El Condado, a los 3400 m.s.n.m. punto más alto la Cima de la Libertad. Esta ciudad está comprendida por varias elevaciones la cual le otorgan la característica de topografía variante, aparte está construida en un valle de terreno irregular, la ciudad tiene una forma alargada. (Avíles L. R., 2013)

2.4 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DE QUITO

Quito está comprendido por subcuencas centro-norte y sur la cual ha sido depositada en secuencia holocénica de manera “fluvial lacustre y palustre”, su estructura tectónica presenta los siguientes segmentos: Lomas de Calderón-Catequilla, Lomas del Batán-La Bota y Lomas

de Ilumbisí-Puengasí (Villagómez, 2003) esto se debe a las fallas inversas que presenta Quito.

La cuenca de Quito ha sufrido desde el Pleistoceno medio el depósito de material volcánico por lo que se podría afirmar que las formaciones Machángara y Cangahua presentan la agrupación de este material (Villagómez, 2003)

2.5 GEOLOGÍA LOCAL

Las características geológicas que se detallan son desde el Panecillo y Rio Machángara hasta la quebrada Saguanchi cerrando por el oeste con el complejo volcánico Atacazo –Ninahuilca y Pichincha y este con la Loma de Pungasí, con una extensión de 127.7 kilómetros cuadrados. “Se presenta flancos orientales de los complejos volcánicos Pichincha y Atacazo-Ninahuilca, valle del sur de Quito y Loma de Pungasí”. (Alvarado, 1996)

Según (Avíles L. R., 2013) Quito es totalmente irregular ya que presenta elevaciones de 2700 m.s.n.m. a 3100 m.s.n.m. pero existen diferentes elevaciones representativas como es el Guagua Pichincha 4794 m.s.n.m., Rucu Pichincha 4698 m.s.n.m. y Cóndor Güachana.

“La cuenca de Quito es una depresión topográfica de dirección aproximada N-S, de forma alargada y de tres a cinco kilómetros de ancho”. (ALVARADO, 1996). “Morfológicamente, se divide en dos sub-cuencas: centro–norte y sur, separadas por el río Machángara y el domo El Panecillo” (Villagómez, 2003).

2.6 ESTRATIGRAFÍA

La cuenca de Quito no es más que depósitos volcánicos dentro de las conocidas formaciones Machángara y Cangahua. (Villagómez, 2003)

Un miembro volcánico basal es una formación de escombros y lava en composición andesítica con flujos piroclásticos, caídas de pómez y ceniza de los complejos volcánicos Pichincha y Atacazo-Ninahuilca (Alvarado, 1996) este material volcánico basal pertenece a la formación Machángara, la cual está asentada en su totalidad en la cuenca Quito, además se intercala con arena media y gruesa con presencia de pómez (Alvarado, 1996) .

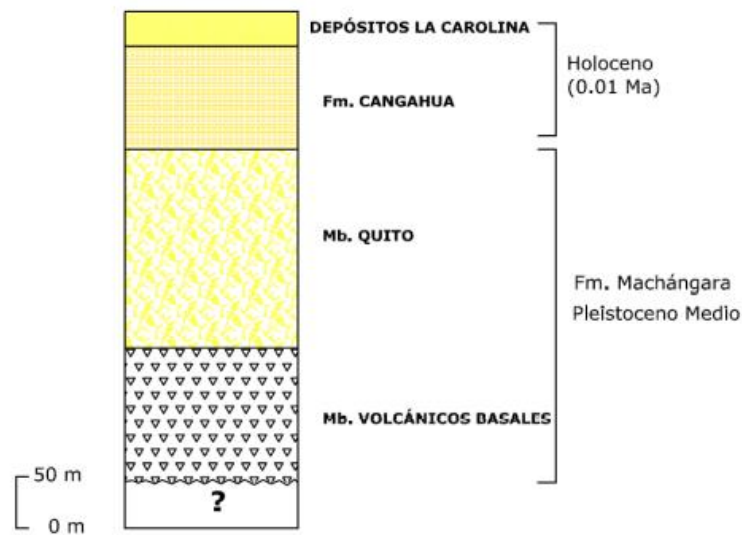


Ilustración 4:Columna estratigráfica generalizada del relleno de la Cuenca de Quito. Obtenido de (Villagómez, 2003)

La composición basal es de lodos intercalados con arena media-gruesa con pómez esta mezcla también es conocida como toba, además existe grano estrato decrecencia y variación de facies (Alvarado, 1996). Al oeste de la cuenca de Quito el tamaño del sedimento es grueso con características de sedimentos aluviales y conglomerados, al este el tamaño de sedimento fino que se caracterizan por ser sedimentos de características lacustres y palustres. Al sur debris Flow y lahares proximales y al norte distritales. (Alvarado, 1996)

La formación Cangahua está compuesta de ceniza y polvo volcánico piroclástico, las tobas que se presentan aquí son marrones e intercaladas con caídas de ceniza, pómez, paleosuelos y flujos de lodos (Villagómez, 2003)

2.7 ESTRUCTURA REGION LOCAL

Está constituido por la antiforma Ilumbisí-Puengasí que muestra actividad tectónica, en el norte limita con el río Machángara evidencia de fallas transcurrentes y al sur con Tambillo en la quebrada Saguanchi fallas normales tiene una componente inversa y buzamiento hacia el oeste (Villagómez, 2003).

FALLAS TRANSCURRENTES

Se ubican en Guápulo afectando a la formación Machangara; su dirección es de E-W, buzamiento subvertical y segmenta la falla de Quito. asigna; a estas estructuras de cinemática: transcurrente siniestral.

FALLAS NORMALES

Existen 3 conjuntos:

- **Primer conjunto:** tiene dirección NNW- y buzamiento 60° hacia el sur, afectan la Unidad de Basamento y la Unidad Volcanosedimentaria de Guamaní.

- **Segundo conjunto:** dirección E-W y buzamiento de 80° sur. Expresión morfológica, es de una serie de bloques dispuesta a través de contactos fallados.

- **Tercer conjunt:** tiene dirección N45° a N55° buzando 40° hacia el SE. afecta a la formación Cangahua e incluso al nivel del suelo resistente. Tiene fallas lítricas que se intersecan con otros planos formando bloques con estructura de arrastre y desplazamiento vertical de hasta 1 metro.

Diagrama 1 Tipos de fallas. Obtenido de (Villagómez, 2003)

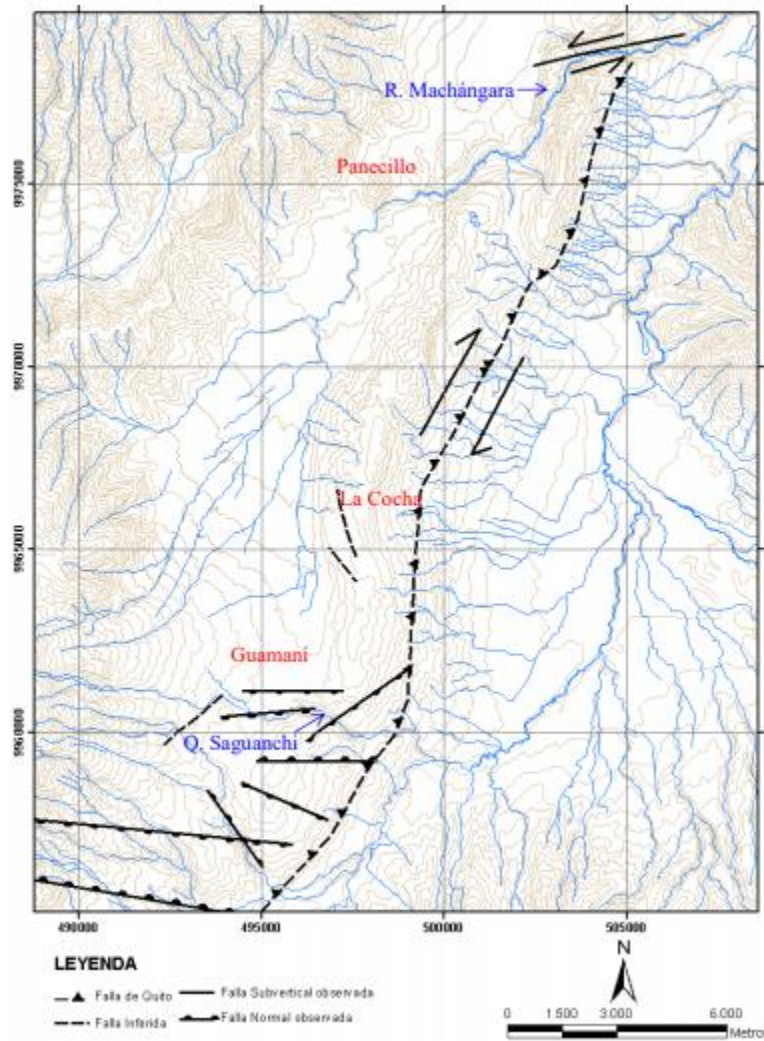


Ilustración 5: Esquema tectónico simplificado del sur de Quito, mostrando el tramo sur de la falla transcurrentes al norte y normales al sur asociadas. Obtenido de (Base Topográfica IGM-EMAAP-Q)

2.7.1 GEOLOGÍA DEL SUR DE QUITO

Geología Regional

El Ecuador cuenta con la existencia de dos cadenas montañosas.

- La Cordillera Occidental con rocas de origen oceánico, esta cordillera forma el basamento de los terrenos de Pallatanga y Macuchi. Pallatanga está conformado por turbiditas y bloques fallados de rocas ultramáficas, basaltos y sedimentos marinos profundos y el terreno de

Macuchi tiene una sucesión volcanosedimentaria que incluye pillow lavas, hialoclastitas, turbiditas, areniscas y brechas volcánicas. (Peñafiel Aguiar , 2009)

- La Cordillera Real tiene cinturones de fuego extensos de rumbo NNE, su formación es de rocas metamórficas las cuales están recubiertas por depósitos volcánicos cenozoicos. (Aspden, 1992)
- Valle Interandino tiene lavas basales de la formación del Pisque, flujos piroclásticos, sedimentos aluviales, fluviales, deltaicos y lacustres (Avíles L. R., 2013)

CAPÍTULO III: TRABAJOS EN CAMPO

En el presente capítulo se da a conocer de manera resumida el marco teórico y la justificación de las técnicas empleadas para la investigación y exploración de los suelos llevadas a cabo en campo.

3.1 MUESTREO

Para poder determinar las propiedades de un suelo en laboratorio, es necesario obtener una muestra representativa de dicho suelo, de aquí la importancia de que la exactitud del análisis esté determinada por la ejecución de un buen muestreo, antes que el procedimiento analítico. Por esta razón es necesario que el muestreo sea ejecutado por personal experto en esta práctica del tema. El suelo al ser un material no homogéneo presenta ciertas dificultades al momento de estudiarlo, es por eso por lo que al obtener muestras se debe tener en consideración la exactitud y la precisión. La exactitud indica que tan cercano está el valor del análisis respecto al real en campo y la precisión describe la reproductibilidad de los resultados, si una muestra cuenta con estos dos puntos, se garantiza una muestra que sea representativa del campo de estudio. (Roberts & Henry)

Las muestras obtenidas pueden ser de dos tipos, muestras inalteradas y muestras alteradas, las muestras alteradas son aquellas que no guardan las condiciones que se tenían en el terreno, mientras que las inalteradas son lo contrario. Para la obtención de muestras alteradas se han implementado algunos métodos que permiten su adecuada obtención y reconocimiento del suelo como son:

- Pozos a cielo abierto con muestreo alterado
- Método de penetración estándar

Las muestras inalteradas permiten conservar la mayor parte de las características del suelo en su estado natural, en el momento de su extracción. Para la obtención de muestras inalteradas se puede usar:

- Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado (toma de bloques)
- Método con tubo de pared delgada

Estos métodos se emplearán dependiendo del proyecto que se realice, y del tipo de muestra que se requiera, es decir alterada o inalterada. Las muestras inalteradas se utilizan para realizar los siguientes ensayos en laboratorio:

- Clasificación de suelo
- Densidad de los sólidos del suelo
- Análisis Granulométrico
- Límites líquido y plásticos
- Determinación del contenido orgánico

Mientras que las muestras inalteradas son usadas para los siguientes ensayos:

- Ensayos de consolidación
- Ensayos de permeabilidad
- Resistencia al corte

Las muestras más fáciles de obtener son las muestras alteradas, dado que su procedimiento de muestreo y manipulación no es tan exigente como lo es para las muestras inalteradas. En la presente investigación se utilizaron; el ensayo de penetración estándar (SPT) para la toma de muestras alteradas, así como, las obtenidas en el procedimiento de prospección mediante perforación continua y para la toma de muestras inalteradas el procedimiento a través de los tubos de pared delgada. Procedimientos y ensayos que serán detallados en los siguientes capítulos.

3.2 PERFORACIÓN CONTINUA

Para la realizar la perforación continua se utilizó la norma ASTM D2113-14 (Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for SiteExploration) la cual explica el procedimiento para extraer muestras alteradas por medio de rotación. La perforación se realiza mediante una broca la cual gira y baja a medida que se aplica una fuerza de compresión. La broca corta el material a medida que ingresa a la formación, recogiendo los cortes. Cuando el estrato de suelo o roca son demasiado resistentes las rotaciones que se necesitan son altos haciendo que la broca se caliente al punto que debe ser enfriado, para ellos se puede usar agua o algún aditivo para su respectivo enfriamiento. Los aditivos como la bentonita o los polímeros se mezclan con agua para lubricar y enfriar la broca, esta mezcla también suele usarse para evitar colapso en el pozo de perforación, en ocasiones se puede utilizar perforación por aire cuando la introducción de fluidos es indeseable. La introducción de aire se lo realiza por medio de compresores los cuales deben poder generar suficiente velocidad para remover los cortes. La perforación con aire suele no ser muy recomendado en suelos no consolidados y sin cohesión. (INTERNATIONAL, ASTM D2113-14, 2014)

La norma ASTM D2113-14 expone dos métodos de circulación por fluidos o aire, el fluido puede ser a base de agua con aditivo o simplemente agua, de igual manera el método de aire puede ser con o sin aditivo. El método más utilizado es por medio de fluidos a base de agua, este método se lo puede usar tanto por encima como debajo del nivel freático del estrato, mientras que el método por aire se lo suele seleccionar cuando se encuentran suelos sensibles al agua como arcillas hinchables o suelos colapsables de baja densidad. También es conveniente en rocas ígneas fracturadas y formaciones porosas. El método por fluidos tiene ciertas funciones principales que son:

- Eliminar recortes de perforación
- Estabilizar el pozo
- Enfriar y lubricar la broca
- Controlar la pérdida de fluidos,
- Caída de esquejes en un pozo de sedimentación.

- Facilitar el registro de la perforación, y
- Suspender recortes en el taladro durante la extracción de núcleos

Hay que tener en cuenta que ninguna mezcla de fluidos puede satisfacer cada uno de los requisitos previamente presentados, para ello la norma ASTM D2113 proporciona cierto número de consideraciones para los distintos materiales.

Para el procedimiento de la perforación, la norma ASTM 2113-14, plantea realizar un breve reconocimiento en campo, con el objetivo de visualizar donde se realizará el pozo y seleccionar sitios donde depositar los desechos, evaluar métodos de medio ambiente, un aspecto importante es determinar la accesibilidad al punto de perforación, observar puntos de agua cercanos al sitio, observar obstáculos como alambrado eléctrico. Se recomienda un estudio de las utilidades subterráneas y demás servicios antes de perforar con el fin de evaluar los peligros. (INTERNATIONAL, ASTM D2113-14, 2014)

Al realizar el montaje del taladro, dependiendo del tipo de terreno y sitio de perforación se acoplará la plataforma con sus respectivos montajes. A medida que se realiza la perforación puede haber tramos donde el pozo no permanezca estable, para estos casos una solución es el uso de barrenas con vástago hueco (HSA), es una especie de barrena en forma de espiral continua, en la cual el elemento helicoidal está soldado a un tubo central hueco con un diámetro interior tal, que permita el paso de diferentes herramientas de muestreo (INTERNATIONAL, ASTM D2113-14, 2014). Otra solución es el uso de revestimientos (cassing), el cual permite rellenar el pozo con bentonita o cemento a presión proporcionando un aumento de resistencia y permitiendo la perforación. (INTERNATIONAL, ASTM D2113-14, 2014)

Cuando empiece la perforación se mantendrá la circulación del fluido a una velocidad constante con el fin de poder circular los cortes y enfriar la broca, la presión del fluido debe ser monitoreado, se deberá evitar que la perforación se realice a una velocidad excesiva ya que esto puede ocasionar un taponamiento en la broca, bloqueo del núcleo y daños. Cuando exista cambios abruptos en la presión del fluido deberá ser registrado e indicar la profundidad en donde sucedió. Si la perforación se lo realiza con aire la circulación del aire se mantendrá

de igual manera constante, se agregará aditivos o espuma según sea necesario. Las zonas que tengan bajo retorno de aire o nulo se deberán documentar, al igual si se produce erosión por explosión de aire. En cada uno de estos acontecimientos se deberá anotar la profundidad donde sucedió. (INTERNATIONAL, ASTM D2113-14, 2014)

La velocidad de perforación es proporcional a la velocidad de avance hasta llegar a un punto de máxima de eficiencia. Es por ello, que se debe seleccionar adecuadamente la de velocidad de perforación y avance. Dependiendo del tipo de material se necesitará una mayor o menor tasa de rotación. Sin embargo, una tasa de rotación alta puede causar desgarros en la formación y problemas de recuperación del núcleo lo cual se debe tener en cuenta. Se debe monitorear minuciosamente la presión de avance y las tasas de rotación, de esta manera se debe relacionar los cortes de perforación, según los estratos geológicos y estimar que la velocidad y rotación a utilizar sea la adecuada. (INTERNATIONAL, ASTM D2113-14, 2014)

Una vez culminada la perforación la extracción del barril debe ser cuidadosa, se corta el núcleo de la muestra y se extraen las barras de perforación. Una vez obtenida la muestra se envía al laboratorio empaquetada de tal forma que no pierdan humedad, no sufran daños mecánicos para su respectivo análisis. La muestra debe conservarse utilizando procedimientos específico durante un tiempo estipulado, el periodo de almacenamiento dependerá de la naturaleza e importancia de la estructura de ingeniería.

3.3 ENSAYO PENETRACIÓN NORMALIZADA (SPT)

El ensayo del SPT cuyas siglas en inglés son (Standard Penetration Test), es utilizado con el fin de estimar condiciones mecánicas cualitativas del depósito y a su vez poder obtener muestras alteradas para sus respectivos ensayos en laboratorio. El ensayo de penetración estándar (SPT) es uno de los ensayos más antiguos, el cual se ha ido modificando con el pasar del tiempo. En el año de 1902 se realizaban perforaciones exploratorias por medio de un muestreador hincado, de 1 pulgada de diámetro, con un martillo de 110 lb, el cual producía golpes repetitivos sobre el tubo, permitiendo el ingreso de la muestra. Este método era

utilizado por el coronel Charles R. Gow, quien buscaba estimar costos de excavación manual en aquella época, marcando así el inicio de los muestreos dinámicos.

El método de tomar muestras que se realizaba en aquel tiempo era por medio de lavado con cuchillas de corte lo cual no permitía observar el cambio de capas en el suelo a medida que avanzaba la perforación, es por esta razón que Charles R. Gow implementó este método dinámico con el fin de observar el cambio del estrato. Con el pasar del tiempo el método fue puliéndose hasta tener el método que se utiliza actualmente. (Rogers, 2017)

El ensayo consiste en forzar una sonda (cuchara partida) mediante un determinado número de golpes sucesivos por medio de un martillo lo que permite obtener la resistencia del suelo, esto dependerá de cuanto se introduzca la sonda denominada cuchara partida en el estrato de suelo a diferentes profundidades, por lo general este proceso se lo hace cada metro. La norma D1586/D1586M-18 indica que la cuchara partida es golpeada bajo energía constante mediante una maza en caída libre, de 410 lb (63.5 kg) que se deja caer desde una altura de 30 pulg. (750mm) permitiendo medir el grado de acomodo del depósito. El N del SPT es la cantidad de golpes necesarios para introducir el muestreador en un intervalo de 0.5 pies a 1.5 pies. (0.15 a 0.45 m). El muestreador se dividirá en tres tramos de 0.5 pies(15cm) cada uno. El primer tramo no se tomará en cuenta pues, será la penetración de asentamiento, se registrará el número de golpes a partir del segundo y tercer tramo. La suma de golpes del segundo y tercer tramo se lo conoce como la resistencia de penetración estándar o valor N (INTERNATIONAL, ASTM D1586M-18, 2019).

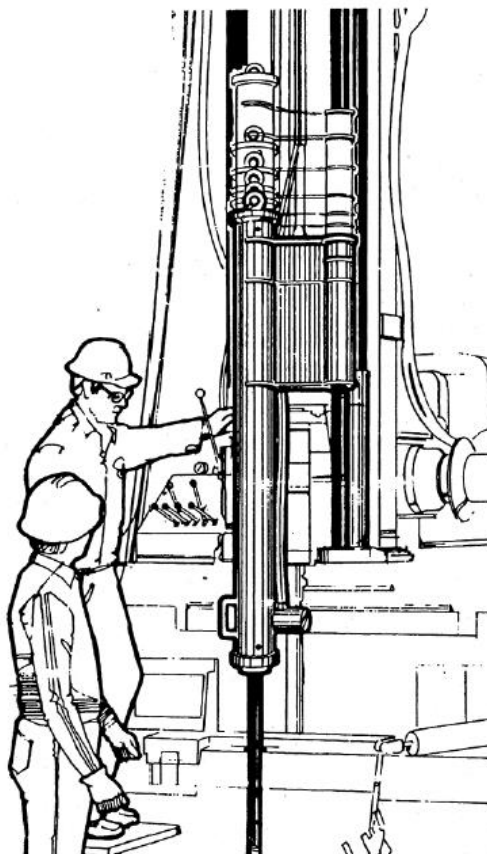


Figura 1 Ensayo del spt. Obtenido de (INTERNATIONAL, ASTM D1586M-18, 2019)

Dicho número de golpes deberá ser determinada y registrada en la hoja de campo. Se deberá tomar ciertas consideraciones al momento de tomar dicho valor; si el número de golpes es mayor a 50 golpes, se tomará como rechazo. Dicho rechazo deberá ser verificado, para ello la norma se refiere a tres parámetros, como se muestra a continuación:

- Un total de 50 golpes durante cualquiera de las tres medidas de 15 cm
- Si se ha aplicado un total de 100 golpes
- No se observa un avance durante la aplicación de 10 golpes sucesivos. Si se cuenta con un equipo automatizado y el avance es menos de 0.1 pulgadas (2mm) se debe considerar como rechazo.

La norma ASTM D1586/D1586M-18 explica que se debe tener en cuenta la transmisión de energía que se produce mediante el martillo, dado que hay diferentes diseños de martillos. Es importante obtener la relación de transferencia de energía. (medir la energía que realmente transmite el equipo utilizado) Según la prueba D4633 ha conseguido demostrar que la variación de energía esta entre 45-95% por lo que es una práctica común que la energía sea corregida al 60% (N60). Por lo general el ensayo de SPT se aplica a una gama alta de suelos como la consistencia de arcillas (suelos blandos) y densidad relativa de arenas (suelos sin cohesión) (INTERNATIONAL, ASTM D1586M-18, 2019).

3.4 TOMA DE MUESTRAS CON TUBO SHELBY

Este método de ensayo permite la obtención de muestras inalteradas, mediante un tubo de pared delgada. Dichas muestras pueden ser sometidas a pruebas en laboratorio, tal como, resistencia, compresibilidad, permeabilidad y densidad. Este método tiene ciertas limitaciones, ya que debe ser empleado en suelos con consistencias de muy blanda a media donde pueda ser penetrada el tubo de pared delgada sin impactos. Esta práctica no está recomendada para suelos que contengan arena gruesa, grava, suelos cementados o muy duros. En la norma ASTM D1587/D1587M-15 se puede encontrar las dimensiones del tubo shelby como se muestra en la figura # 2

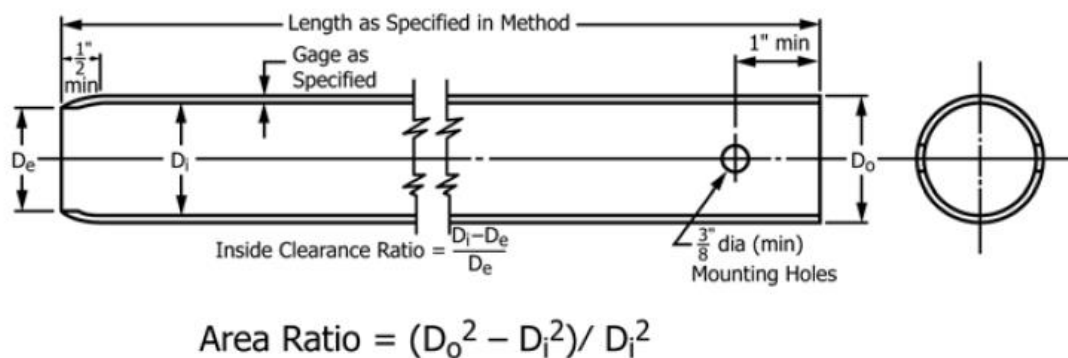


Figura 2 Tubo de pared delgada Shelby. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)

Los tubos de pared delgada shelby utilizan espesores de pared variable, lo que determina su relación de área (Ar), por lo tanto, se debe tener en cuenta la relación de área (Ar) entre el 10

a 15 % para suelos blandos. Para suelos más rígidos se puede usar dicha relación entre un 25 a 30% para evitar de esta manera el pandeo del tubo. Al momento de realizar la perforación por medio de cualquier equipo, se debe tener cuidado que el pozo se encuentre lo más limpio posible para poder minimizar la perturbación de la muestra, el equipo que sea utilizado para la inserción de la muestra deberá contar con una fuerza de penetración continua relativamente rápida y sin impactos.

$$Ar = \frac{D_o^2 - D_i^2}{D_i^2}$$

Ecuación 1 Relación de área, obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)

Los tubos empleados deben ser de acero inoxidable. Dependiendo del tipo de perforación que se tenga, y el tipo de suelo, se puede usar tubos de otros materiales siempre que cumplan las tolerancias respectivas. La norma D1587/D1587M-15 muestra las tolerancias permitidas para tubos de pared delgada. A continuación, en la tabla #1 se muestran dichas tolerancias. De esta manera se asegura evitar problemas con los tubos empleados en la realización del ensayo.

Size Outside Diameter	2 in.	[50 mm]	3 in.	[75 mm]	5 in.	[125 mm]
Outside diameter, D_o	+0.007 -0.000	+0.179 -0.000	+0.010 -0.000	+0.254 -0.000	+0.015 -0.000	0.381 -0.000
Inside diameter, D_i	+0.000 -0.007	+0.000 -0.179	+0.000 -0.010	+0.000 -0.254	+0.000 -0.015	+0.000 -0.381
Wall thickness	±0.007	±0.179	±0.010	±0.254	±0.015	±0.381
Ovality	0.015	0.381	0.020	0.508	0.030	0.762
Straightness	0.030/ft	2.50/m	0.030/ft	2.50/m	0.030/ft	2.50/m

Tabla 1 Dimensiones de tubos de pared delgada. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)

la norma D1587/D1587M-15 indica que el tubo de pared delgada debe ser de al menos 75mm o 3 pulgadas más largo de la longitud de empuje de diseño. En la tabla # 2 se muestran diámetros recomendados para propósitos de estandarización y sus respectivas longitudes.

Diámetro exterior			
pulgadas	2	3	5
mm	50	75	125
Espesor de pared			
Bwg	18	16	11
pulgadas	0.049	0.065	0.12
mm	1.25	1.65	3.05
Longitud del tubo			
pulgadas	36	36	54
m	1	1	1.5

Tabla 2 Tubos de pared delgada, para muestreos. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)

Si los tubos son reutilizados, éstos deben ser lavados e inspeccionados antes de cada reutilización. No se puede reutilizar tubos que se encuentren doblados o su forma no sea completamente redonda, tampoco aquello que cuenten con filos de corte dañados, corrosión interna o daños en el revestimiento.

La relación de separación interna (C_r), es la relación de la diferencia del diámetro (D_i) menos el diámetro del filo (D_e) expresado en porcentaje, presentado en la figura # 2. Se debe usar en C_r adecuado para el tipo de suelo que se tenga en el sitio. Se especifica en la norma que el C_r puede variar entre 0% para arcillas muy blandas hasta 1.5% para suelos rígidos. Además, Hvorslev sugirió que el C_r puede ser usado de 0 a 1% para muestras muy cortas y para muestras de longitud medio podría usarse de 0.5 a 3.0%. Por lo cual, se puede resumir que el C_r , para la mayoría de los suelos se pueden usar de 0.5 a 1.0%. Se desprende así mismo, que mientras el suelo es más blando su C_r debe ser más bajo y mientras el suelo sea más rígido se necesita un C_r mayor.

La tabla # 3 proporcionada por la norma D1587/D1587M-15 muestra algunos C_r recomendados para varios tipos de suelos y varios tipos de muestreadores como se muestra a continuación.

Soil type	Moisture condition	Consistency	Length of push, cm [in.]	Bit clearance ratio, %	Push tube sampler recovery	Recommendation for better recovery
Gravel			Thin-wall, open push tube samplers not suitable			
Sand	Moist	Dense	46 [18]	0 to ½	Fair to poor	
Sand	Moist	Loose	30 [12]	½	Poor	Recommend piston sampler
Sand	Saturated	Dense	45 to 60 [18 to 24]	0	Poor	Recommend piston sampler
Sand	Saturated	Loose	30 to 45 [12 to 18]	0	Poor	Recommend piston sampler
Silt	Moist	Firm	45 [18]	½	Fair to good	
Silt	Moist	Soft	30 to 45 [12 to 18]	½	Fair	
Silt	Saturated	Firm	45 to 60 [18 to 24]	0	Fair to poor	Recommend piston sampler
Silt	Saturated	Soft	30 to 45 [12 to 18]	0 to ½	Poor	Recommend piston sampler
Clay and shale	Dry to saturated	Hard	Thin wall, open push tube sampler not suitable			Recommend double-tube sampler
Clay	Moist	Firm	45 [18]	½ to 1	Good	
Clay	Moist	Soft	30 to 45 [12 to 18]	1	Fair to good	
Clay	Saturated	Firm	45 to 60 [18 to 24]	0 to 1	Good	
Clay	Saturated	Soft	45 to 60 [18 to 24]	½ to 1	Fair to poor	Recommend piston sampler
Clay	Wet to saturated	Expansive	45 to 110 [18 to 44]	½ to 1-½	Good	

Tabla 3 Recomendaciones para tubos de pared delgada. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)

La norma D1587/D1587M-15 indica ciertas consideraciones que permiten un procedimiento adecuado al momento de realizar la perforación, antes de realizar la maniobra de penetración del tubo de pared delgada. No se recomienda usar brocas de descarga inferior, es preferible usar brocas de descarga lateral, de igual manera no es permitido usar un muestreador de tubo abierto para lanzar chorros de agua con el fin de limpiar el pozo a la profundidad del muestreo. Una vez realizada la perforación con cualquier método, previo a la toma de muestras, se debe limpiar adecuadamente el pozo garantizando la inalterabilidad del material que se analizará. Se inspeccionará el tubo antes de ser usado, si se requiere se podrá colocar lubricante, una vez constatado esto, se colocará de manera que su base quede sobre el fondo y así garantizar una aplicación uniforme de la fuerza.

La profundidad a la que descansa el tubo muestreador debe ser igual a la de limpieza, de esta manera el pozo se mantendrá estable. Se debe tener en cuenta que, si la profundidad de limpieza es menor que la profundidad donde se toma la muestra, esto puede ocasionar problemas como cortes excesivos, desprendimientos / cuevas o levantamientos del pozo, por lo que no se podrá tomar una muestra optima y se deberá volver a perforar. (INTERNATIONAL, ASTM D1587/D1587M – 15, 2015)

3.2 ENSAYO MANUAL VISUAL

El ensayo manual visual, es una práctica que se realiza tanto en campo como en laboratorio con el objetivo de identificar el suelo, esta práctica está basada en el sistema de clasificación

unificada. La identificación se basa en una serie de pruebas manuales y un examen visual. Esta información deberá estar incluida en el informe de campo, junto con observaciones presentadas en campo. (INTERNATIONAL, ASTM D2488-17, 2017)

Para la realización de este ensayo se usa la norma ASTM D2488-17 (Standard Practice for Description and Identification of Soils [Visual-Manual Procedures]), la cual indica que este ensayo se realiza para suelos naturales, los cuales pueden ser obtenidos por nuestras inalteradas o alteradas. La información obtenida se la utiliza para completar con información obtenida en laboratorio.

Se toma una muestra significativa del suelo y se procede a la realización del ensayo, lo cual debe ser apuntado en el informe de campo. A continuación, se describe de manera resumida los siguientes parámetros:

Angulosidad: Se describe la angulosidad de la arena (para taños gruesos), grava, guijarro y fragmentos. Se define como angulosos, sub-angulosos, sub-redondeados, y redondeados, mediante el siguiente criterio (INTERNATIONAL, ASTM D2488-17, 2017):

- Angulosa: Partículas con bordes agudos y caras relativamente planas o pulidas.
- Sub-angulosa: Partículas parecidas a las angulosas, pero con bordes redondos.
- Sub-redondeado: Partículas con la mayor parte de sus caras planas, pero con esquinas y bordes redondos.
- Redondeado: partículas con lados suavemente curvos y sin bordes.

Forma: Se describe la forma de la grava, guijarro y fragmentos como plana, alargada y plana alargada, mediante el siguiente criterio (INTERNATIONAL, ASTM D2488-17, 2017):

- Planas: Cuando la diferencia entre ancho/espesor >3 .
- Alargada: Cuando la diferencia entre longitud/ancho >3 .
- Planas y alargadas: Cuando cumple las dos condiciones anteriores.

Color: El color es una propiedad importante, el cual permite identificar suelos orgánicos, materiales de origen geológico. Si se presentan pequeñas manchas en la muestra se deberá registrar en las hojas de campo (INTERNATIONAL, ASTM D2488-17, 2017).

Olor: Describe el olor que presenta la muestra para describir si se trata de un suelo orgánico o poco casual. Por lo general el olor se lo asocia a materia orgánica generalmente de materia vegetal en putrefacción, se debe identificar este olor en campo, o en caso de que la muestra se presente seca, se calienta la muestra previamente humedecida para revivir el olor. Cuando el olor no es casual debido a contaminación en la zona, como petróleo, químicos y similares, se debe describir (INTERNATIONAL, ASTM D2488-17, 2017).

Condición de humedad: Se describe a la muestra como seca, húmeda o saturada, de acuerdo a los siguientes criterios (INTERNATIONAL, ASTM D2488-17, 2017):

- Seca: Tiene ausencia de humedad, polvorosa, seca al tacto.
- Húmeda: Húmeda, pero sin agua visible.
- Saturada: se presenta cuando la muestra se encuentra bajo el nivel freático y el agua es visible.

Consistencia: Se describe a los suelos intactos de grano fino, se describe a la consistencia como muy blanda, firme, dura, o muy dura, de acuerdo a los siguientes criterios (INTERNATIONAL, ASTM D2488-17, 2017):

- Muy blando: El pulgar se introduce al suelo más de 25mm.
- Blanda: El pulgar se introduce aproximadamente 25mm.
- Firme: El pulgar se introduce alrededor de 6mm.
- Duro: El pulgar no ingresa fácilmente, pero deja una marca.
- Muy duro: El pulgar no ingresa en el suelo.

Cementación: Describe la cementación en suelos de grano grueso como débil, moderado o fuerte, de acuerdo con los siguientes criterios (INTERNATIONAL, ASTM D2488-17, 2017):

- Débil: Se desmorona al ser aplicada poca presión con la yema de los dedos.
- Moderada: Se desmorona o rompe con una considerable presión de los dedos.
- Fuerte: No se desmorona no se rompe con la presión de los dedos

Dureza: Se describe la dureza de la arena gruesa y partículas más grandes como dura, o se establece lo que sucede al utilizar un martillo y someterles a golpes dichas partículas, anotando si la partícula se desmorona con un golpe o con algunas (INTERNATIONAL, ASTM D2488-17, 2017).

CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN LABORATORIO

En el presente capítulo se da a conocer de manera resumida el marco teórico y la justificación de las técnicas empleadas en los ensayos de laboratorio de la presente investigación.

4.1 RELACIÓN DE VACÍOS POROSIDAD, CONTENIDO DE HUMEDAD, SATURACIÓN, DENSIDAD.

Para entender los conceptos; de relación de vacíos, porosidad, contenido de humedad, saturación, densidad que definen propiedades físicas de los suelos, se debe saber primero que el suelo consta de tres fases: sólido, líquido y gaseoso. La fase sólida se encuentra conformada por partículas, minerales del suelo; la fase líquida se encuentra constituida por agua, aunque se puede encontrar otro tipo de líquido; la fase gaseosa se encuentra constituida de gases por lo general aire, sin embargo, puede estar constituida por otro tipo de gas. (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

El volumen del suelo está conformado por dos partes; volumen de sólidos y volumen de vacíos. El volumen de sólidos corresponde al volumen de las partículas que constituyen la fase sólida, mientras que el volumen de vacíos está constituido por su fase líquida y gaseosa. (BADILLO, 2005)

Otro aspecto que se debe tener en cuenta es la materia orgánica, dado que dicha materia influye en las propiedades físicas, químicas y biológicas, dando como resultado un cambio en la estructura del suelo, Por esta razón, la presencia de este tipo de materia orgánico en el

suelo suele permitir un aumento en el volumen de espacios vacíos. De igual manera ocurre en las turbas dado que está formada de una masa esponjosa, donde se puede apreciar los componentes vegetales y orgánicos que lo componen, formando parte de los espacios vacíos. A pesar de que la presencia de materia orgánica es importante desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, no se considera en la medición de volúmenes y pesos relativos de las tres fases principales, si no que esto influenciar en etapas posteriores. (BADILLO, 2005, pág. 51)

Cuando un suelo se encuentra totalmente saturado, es decir todos sus espacios vacíos se encuentran ocupados por agua, su constitución consta de solo dos fases la sólida y líquida. Este aspecto solo se encuentra en suelos que se hallan debajo del nivel freático (BADILLO, 2005).

Como se mencionó anteriormente el suelo es representado por un modelo de tres fases, y para desarrollar las relaciones volumétricas es importante entenderlas a continuación, se muestra la ilustración #6, en la cual se detalla sus tres fases:

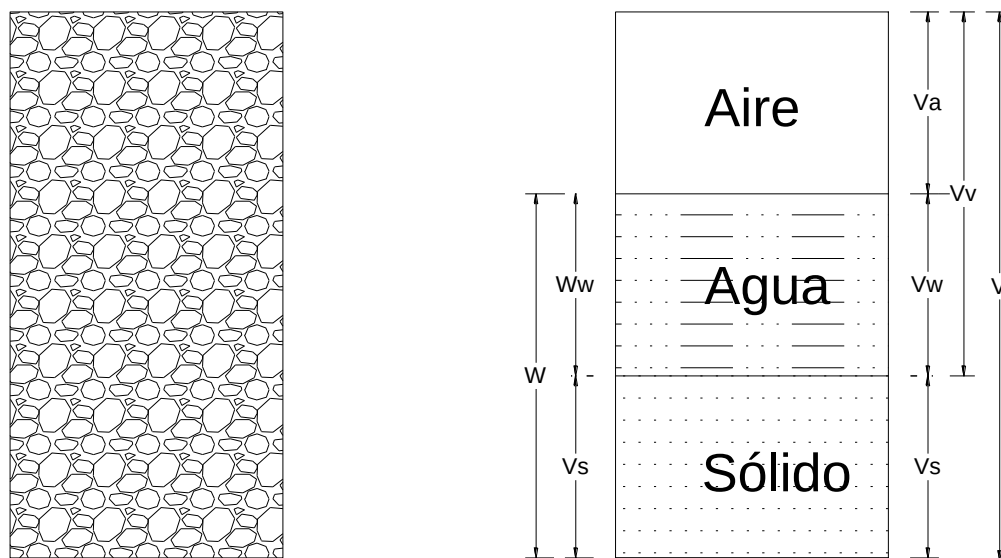


Ilustración 6 Elementos y fases del suelo. En la ilustración presentada se observa cómo se suele representar al suelo obtenido del libro (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

Donde:

$V_s = \text{volumen de sólidos de suelo}$

$V_v = \text{volumen de vacíos}$

$V_w = \text{Volumen de agua en los vacíos}$

$V_a = \text{Volumen de aire en los vacíos}$

El volumen total de una muestra de suelo se lo expresa de la siguiente manera.

$$V = V_s + V_v + V_w + V_a$$

Ecuación 2 Volumen total de la muestra

Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

Suponiendo que el peso del aire sea despreciable, el peso total de la muestra sería

$$W = W_s + W_w$$

Ecuación 3 Peso total de la muestra. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

Donde

$W_s = \text{Peso de los solidos del suelo}$

$W_w = \text{peso del agua}$

Las relaciones volumétricas o gravimétricas usan estas tres fases previamente mencionadas, debido a que facilitan el entendimiento de las propiedades mecánicas de los suelos. En el libro “Fundamentos de ingeniería geotécnica Fuente (DAS, 2005)” denomina a la relación de vacíos (e) a la relación entre el volumen de vacíos y el de sólidos de un suelo. (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

“Esta relación puede variar teóricamente des 0 hasta infinito, sin embargo, en la práctica no se presentan valores menores 0.25 ni mayores a 15. (BADILLO, 2005, p. 54)

Ecuación 4 Relación de vacíos. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

La porosidad (n) se define como la razón del volumen de vacíos al volumen total.

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Ecuación 5 Porosidad

Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

“Esta relación puede variar de 0 (en un suelo ideal con sólo fase solida) a 100 (espacio vacío). El valor real suele oscilar entre 20% y 95%”. (BADILLO, 2005, p. 54)

El grado de saturación (S) se define como la razón del volumen de agua al volumen de vacíos.

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

Ecuación 6 Grado de saturación Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

El grado de saturación varía de 0% (suelo seco) a 100% (suelo saturado) (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)

El contenido de humedad (w) en un suelo es la relación del peso de agua entre el peso del sólido en un volumen determinado

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

Ecuación 7 Contenido de humedad

Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

Donde:

W: Contenido de humedad expresado en %

W_w : Peso del agua existente de la masa de suelo

W_s : Peso de las partículas solidas

4.2 CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad es la cantidad de agua que se encuentra en una determinada masa sólidos o un determinado volumen de suelo, es la relación entre el peso del agua y el peso de los sólidos de la muestra, se expresa en (%) (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015). Para poder obtener el contenido de agua de una muestra, la norma ASTM D2216-19 indica que la muestra será pesada en una balanza con una capacidad de lectura 0.01 gr, deberá ser secada al horno con una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas, una vez terminado el proceso de secado se pesará nuevamente en la misma balanza antes mencionada, dicha muestra puede colocarse en recipientes o capsulas según disponga el laboratorio, previamente se deberá tomar los pesos de las capsulas para su respectivo calculo con la siguiente ecuación. (INTERNATIONAL, ASTM D2216-19, 2019)

$$W\% = \frac{M_h - M_s}{M_s - M_r} * 100$$

Ecuación 8 *Contenido de humedad Obtenido de la norma* (INTERNATIONAL, ASTM D2216-19, 2019)

Donde:

M_h : Peso de la capsula más muestra de suelo húmedo

M_s : Peso de la capsula más muestra de suelo seco

M_r : Peso del recipiente o capsula

4.3 LIMITES DE ATTERBEG

Atterberg fue un químico sueco que relacionó la plasticidad (propiedad característica del material para ser moldeado) del suelo con el contenido de agua o humedad estableciendo así, límites que permitan medir la consistencia (la firmeza que tiene un material) del suelo, la plasticidad o la consistencia ha sido una manera de clasificar los diversos tipos de suelos de una forma descriptiva desde varias décadas atrás. Un ejemplo claro de este comportamiento se presenta en una arcilla seca, la cual puede tener la consistencia de un ladrillo, presentado una plasticidad nula, y esta misma arcilla con un incremento de su contenido de agua, se presenta como un lodo semilíquido o, incluso las de una superficie líquida. (BADILLO, 2005,

pág. 127). Mediante dicho ejemplo Atterberg desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano, por medio del contenido de agua haciendo que dicho contenido vaya variando (BADILLO, 2005).

Según este concepto con la variación del contenido de agua, en este caso decreciente, un suelo con componente mineralógico arcilloso se puede encontrar en cualquiera de los siguientes estados de consistencias definidos por el mismo Atterberg (BADILLO, 2005).

- Estado líquido
- Estado semilíquido
- Estado plástico
- Estado semisólido
- Estado sólido

El contenido de agua que se tiene entre el estado sólido a semisólido se lo define como el límite de retracción o contracción, el cual mantiene el volumen de masa con un contenido mínimo de agua, pero con incremento de este el volumen de masa aumenta. El contenido de agua entre el estado semisólido a plástico se lo conoce como límite plástico, y el estado plástico a líquido se lo conoce como el límite líquido. Estos límites se los conoce como los límites de Atterberg. (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005, pág. 27)

A continuación, en la ilustración #7 se detalla el esquema de consistencia

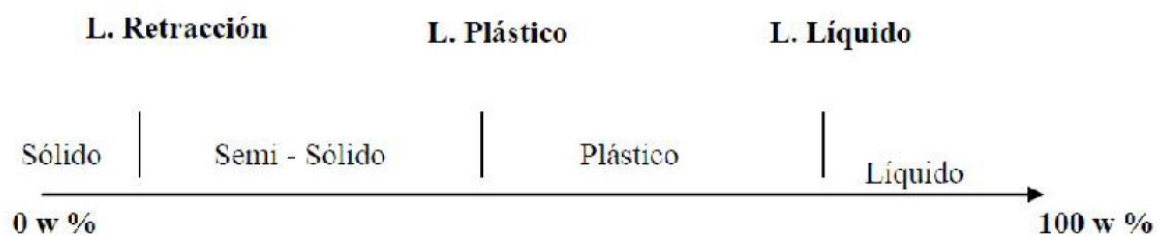


Ilustración 7 Esquema de consistencia. Obtenido del libro (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

4.3.1 LÍMITE LÍQUIDO (LL)

En el laboratorio puede ser determinado el límite líquido (LL), por medio del método desarrollado por A. Casagrande. El procedimiento de ensayo consiste en la colocación de un suelo remoldeado en la copa de Casagrande, en la cual de manera intencional normalizada, se forma una ranura como se muestra en la ilustración (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

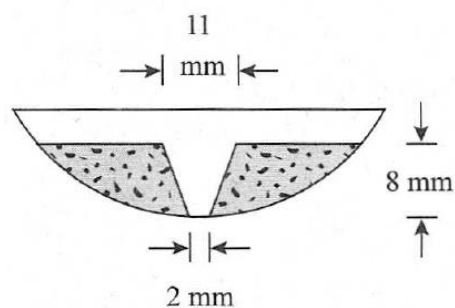


Ilustración 8 Esquema del suelo colocado en la capsula de casa grande

Nota. En la ilustración presentada se detalla las dimensiones en mm para la determinación del ensayo del límite líquido. Obtenido del libro (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

La norma D4318-17 explica el procedimiento adecuado que se debe seguir, para realizar el ensayo: se utiliza entre 150 a 200 gramos los cuales pasen únicamente el tamiz #40, si por alguna razón se encuentran partículas mayores al tamiz # 40 se puede extraer mediante una pinza de goma con el fin de no alterar su contenido de humedad. La norma permite realizar dos procedimientos para la preparación del material, por húmedo y seco, el secado de la muestra puede ser en un horno de 60 grados o a la intemperie. La muestra se colorará en un recipiente para luego ser mezclada con agua destilada hasta obtener una pasta semilíquida homogénea en términos de humedad. (INTERNATIONAL, ASTM D4318-17, 2017, pág. 7)

Según el método A (Método de multipunto) especificado en la norma, se deberá colocar una porción de la muestra previamente obtenida en la copa de. La copa debe ser previamente

humectada con una franela húmeda con agua destilada, se deberá enraizar las muestras mediante una espátula la cual permita el acomodo de la muestra en la cuchara de casa grande, formado una superficie casi horizontal, se debe tener cuidado de no dejar ninguna burbuja de aire en la superficie del suelo. Usando el ranurador se dividirá la muestra por su eje de simetría desde el punto más alto hasta el punto más bajo de la cuchara tal como se muestra en la figura3 (INTERNATIONAL, ASTM D4318-17, 2017, pág. 7)

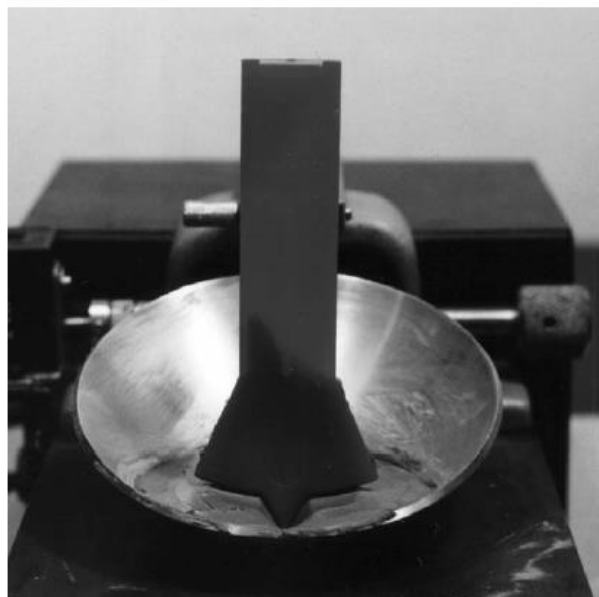


Figura 3 división de la muestra por medio de un ranurador metálico. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D4318-17, 2017)

Una vez dividida la muestra mediante el ranurador de metal, se deberá levantar y dejar caer la copa girando por medio de una manivela a una velocidad de 1.9 a 2.1 por segundo, hasta que las dos mitades del suelo entre en contacto en la parte inferior de la ranura a lo largo de una distancia de 13mm (1/2") como se muestra en la figura #4. En el caso de contar con un equipo automático se deberá constatar que se encuentre correctamente calibrado para garantizar la velocidad del ensayo (INTERNATIONAL, ASTM D4318-17, 2017, pág. 8)

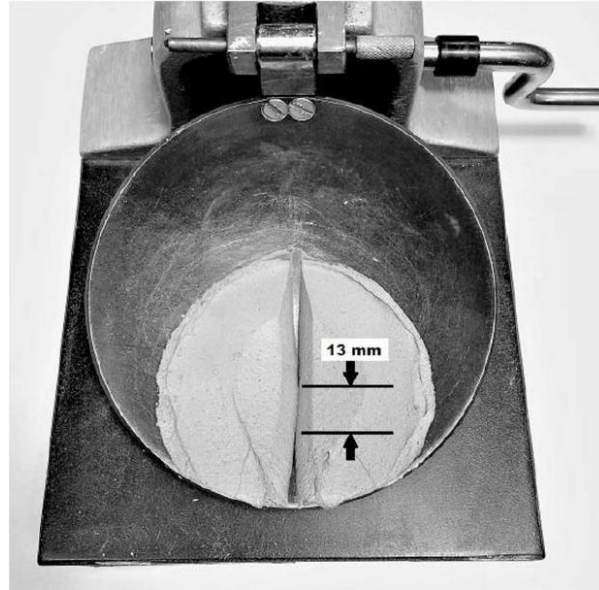


Figura 4 muestra de suelo *después* de a ver sido cerrada

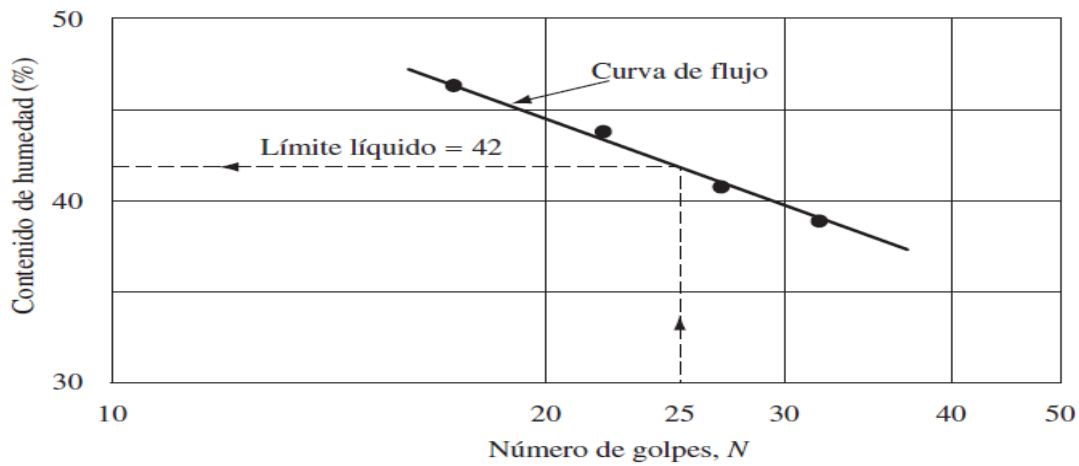
Nota. En la figura presentada se puede observar los 13mm que estipula la norma para el cierre de la muestra. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D4318-17, 2017)

Una vez unida la ranura se registra el número de golpes que se necesitó para su cierre. Este proceso será repetitivo para obtener 3 puntos como mínimo, los cuales se encontrarán en tres diferentes rangos; el primero será entre 15 a 20 golpes, el segundo entre 20 a 30 golpes, el tercero entre 25 a 35 golpes. Para ello se deberá agregar o retirar agua según sea necesario para la obtención de los 3 puntos. (INTERNATIONAL, ASTM D4318-17, 2017)

La norma ASTM D4318-17 estipula que se debe obtener el contenido de humedad de cada uno de los puntos obtenidos en los 3 rangos previamente mencionados. Es decir, una vez obtenido el número de golpes de los 3 rangos se deberá sacar una pequeña muestra de cada uno de ellos. Mediante la espátula se tomará la muestra de la parte donde llego a unirse los 13mm (1/2”), se colocará en una pequeña capsula y se deja secar en un horno para obtener su contenido de humedad de acuerdo con la norma D2216. (INTERNATIONAL, ASTM D4318-17, 2017)

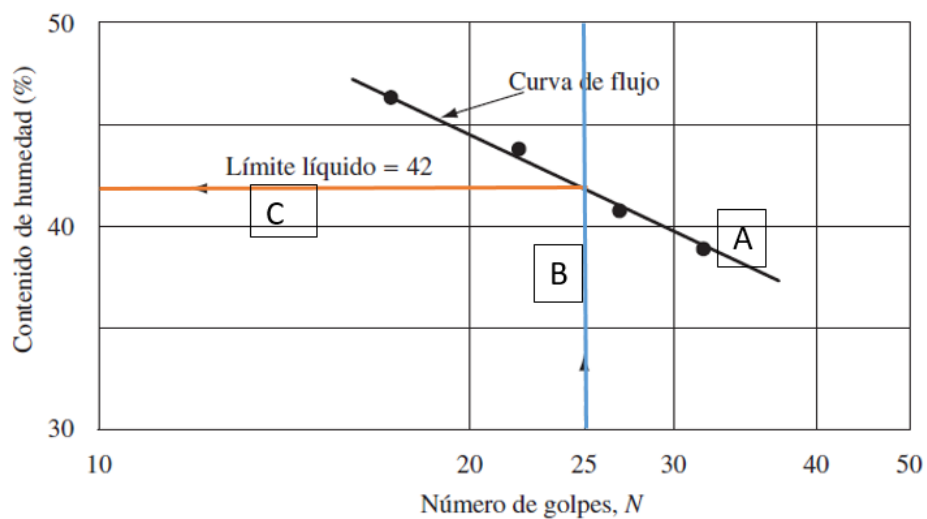
Una vez obtenido todos los datos del laboratorio se procederá al cálculo del límite líquido, primero se calcula el porcentaje humedad (%W) de cada uno de los puntos obtenidos

(ecuación 8) y se realizará una gráfica la cual será %W vs # de golpes, donde el # de golpes se encuentra en las abscisas en escala logarítmica, como se muestra en la gráfica # 1



Gráfica 1 límite líquido vs Número de golpes. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)

Se trazará una línea de tendencia entre los puntos obtenidos (A), después se trazará una línea perpendicular al eje de las ordenadas que coincida en 25 golpes (B), la intersección de esta recta con la línea de tendencia será (C) el valor del límite líquido como se muestra en la gráfica # 2



Gráfica 2 Obtención del límite líquido. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015).

4.3.2 LÍMITE PLÁSTICO (LP)

Se define con el menor contenido de humedad, el cual permite realizar un cilindro de 3.2mm o 1/8" como indica la norma ASTM-D4318-17, el cual se obtiene luego de un proceso manual de rolado sobre una superficie plana no absorbente como se muestra en la figura 5, hasta que el contenido de agua sea reducido a un punto donde presente grietas/fisuras al momento de conseguir el diámetro indicado anteriormente, este proceso indica que se ha alcanzado el límite plástico (INTERNATIONAL, ASTM D4318-17, 2017).

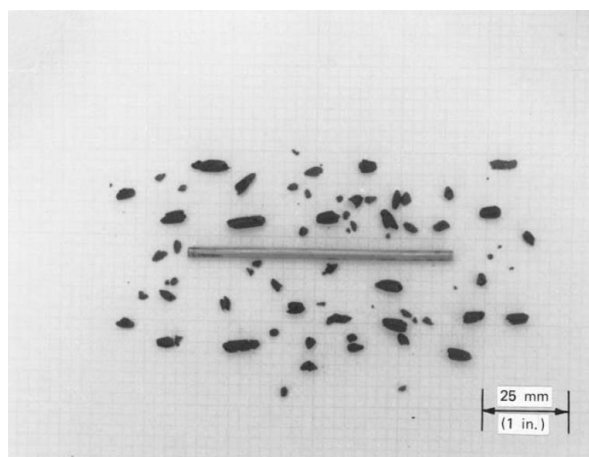


Figura 5 Realización del rollo de 3mm. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D4318-17, 2017)

material puede ser el sobrante después de completar el ensayo del límite líquido. El suelo deberá contar con una consistencia la cual permita enrollar sin que éste se pegue a las manos, en el caso de que esto suceda, se deberá secar el material, ya sea aumentando material seco, secarlo al aire o utilizar papel el cual no agregue fibras a la muestra. Se rola la muestra de suelo sobre una placa de vidrio hasta que la muestra tenga un diámetro 3.2mm (1/8"), si la muestra no presenta ninguna fisura/grieta se toma la muestra en las palmas, se amasa hasta formar una masa elipsoidal y se vuelve a enrollar sobre la placa de vidrio. Este proceso se repite hasta que el rollo se desmorone y no se pueda enrollar hasta un diámetro de 3.2mm. Las porciones de muestra que presenten fisuras o se hayan desmoronado se colocará en un recipiente de masas conocida, se deberá tener como mínimo 6gr de muestra. Una vez terminado el ensayo se pesa en una balanza con 0.01 gr de precisión y se coloca la muestra

en un horno de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, se pesa la muestra seca y se calcula su contenido de humedad de acuerdo con los métodos D2216 (ecuación 8). (INTERNATIONAL, ASTM D4318-17, 2017, pág. 13)

4.3.3 ÍNDICE DE PLASTICIDAD

El índice de plasticidad (IP) es calculado mediante la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 9 Índice de plasticidad (IP). Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

A continuación, en la tabla # 4 se presenta el rango de plasticidad de los suelos respecto a su índice de plasticidad.

IP	DESCRIPCION DEL SUELO	RANGO IP
Nula	Limo	0-3
Baja	Limo con trazos de arcilla	14-15
Media	Limo arcilloso	16-30
	Arcilla limosa	
	Arcilla y limos orgánicos	
Alta	Arcilla limosa	> 31
	Arcilla	

Tabla 4 Rango de plasticidad. Obtenido de Anónimo (2010-25-11). Consistencia del suelo – Límites de Atterberg – Índices. Apuntes de Geotecnia con Énfasis en Laderas. Obtenido de la pagina <http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de-2498.html>

4.3.4 ÍNDICE DE CONTRACCIÓN

Permite determinar el potencial de expansión de los suelos, el cual se obtiene mediante la diferencia del límite líquido y el límite de contracción, como se muestra en la siguiente expresión.

$$IC = LL - LC$$

Ecuación 10 Índice de contracción. *Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)*

IC	HINCHAMIENTO POTENCIAL
0-20	Baja
20-30	Media
30-60	Alta
>60	Muy Alta

Tabla 5 *Hinchamiento Potencia. Obtenido de SEGUNDO LABORATORIO: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA (p.2), por A. Huanca Anampa, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA*

4.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica según el libro “Mecánica de suelos – Juárez Badillo (BADILLO, 2005,p77) se la obtiene a través de ensayos de laboratorio. La gravedad específica promedio de las partículas de sólido que conforman el sedimento están asociadas a los calores de la gravedad específica (GS) de los minerales que la conforman. Los valores de GS varían entre 2.60-2.90 para la mayoría de las partículas minerales constituyentes de los suelos. Si un suelo contiene una cantidad considerable de hierro su Gs puede llegar a un valor 3.0, mientras que en suelos con contenidos de material orgánico es alto, se ha encontrado que llega a valores de Gs de 1.5. Mientras que en arcillas se tiene un peso o gravedad específica entre 2.80-2.90. La gravedad específica se define como la densidad del material dividido para la densidad del agua (agua destilada a 4 grados). A continuación, se muestra la tabla 6 donde se tiene pesos específicos de algunos suelos (BADILLO, 2005, pág. 77)

SUELO	GS
Grava	2.65-2.68
Arena	2.65-2.68
Limo inorgánico	2.65-2.69
Arcilla orgánica	2.65-2.65
Arcilla inorgánica	2.65-2.75

Tabla 6 Gravedad específica de algunos suelos *los valores mostrados en la tabla son valores obtenidos del libro de JOSEPH E. BOWLES, Foundation Analysis and Design, New York, 4ta Edición,*

4.4.1 OBTENCIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA (GS)

En esta investigación se ha utilizado el procedimiento señalado en la norma ASTM D-854-14 “*Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer I*” para la obtención de la gravedad específica del suelo (Gs). La norma es aplicable a suelos compuestos mayoritariamente por partículas menores al tamiz # 4 (4.75 mm). Si existe un porcentaje alto de partículas mayores a 4.75 mm se debe utilizar el proceso descrito en la norma ASTM C127-15 “*Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*”.

El ensayo, según el ASTM D 854, requiere de un matraz con una capacidad mínima de 250 ml. El volumen del picnómetro (matraz) debe ser de 2 a 3 veces mayor que el volumen del agua del suelo. Se deberá disponer de: una balanza con una capacidad de lectura 0.01 gr, un horno de secado el cual deberá proporcionar una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, un termómetro el cual permita mediar la temperatura en la cual se realiza la prueba, con un máximo permitido de 0.5 °C. (INTERNATIONAL, ASTM D854-14, 2014, pág. 3)

La norma ASTM D-854-14 indica que para todo el ensayo se usará agua destilada. El espécimen de ensayo debe estar constituido por partículas menores a 4.75 mm o material que pase por el tamiz # 4, y previamente deberá ser secado al horno, La cantidad de suelo necesario para la realización del ensayo se establece en la tabla 7, la cual señala la masa del espécimen requerido que depende del tipo de suelo. Así mismo se indica el picnómetro a utilizarse. (INTERNATIONAL, ASTM D854-14, 2014, pág. 3)

Tabla 7

Masas recomendadas a partir del picnómetro

Tipo de suelo	Muestra de masa seca (g) Cuando se usan 250 ml Picnómetro	Muestra de masa seca (g) Cuando se usan 500 ml Picnómetro
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o Arcilla	35 ± 10	50 ± 10

Nota. Obtenido de Standard Test Methods for Specific Gravity of Solids by Water Pycnometer (p.3) por ASTM D854-14

Se calibrar el picnómetro antes del ensayo. El picnómetro deberá estar completamente seco y se llenará con agua destilada hasta la marca según el tipo de picnómetro. Se deberá quitar el aire que se encuentra en el agua, para ello se puede usar el método de ebullición, el cual consiste en calentar el agua hasta su punto de ebullición o usar un dispositivo de desaireación. Se usará una pipeta para ir agregando agua destilada, con el propósito de mantener el nivel de la marca del matraz, que puede disminuir por acciones propias del ensayo como el ingreso continuo del termómetro. Este proceso se repite hasta que alcance el equilibrio que es alrededor de 3 horas. La norma ASTM D 854-14 indica que la temperatura de equilibrio debe estar dentro de los 4°C de la temperatura ambiente entre 15°C y 30°C. Se pesará y se realizarán las respectivas lecturas de temperatura. La temperatura se deberá medir a la misma profundidad. (INTERNATIONAL, ASTM D854-14, 2014)

La norma ASTM D-854-14 en el proceso de calibración, determina el volumen que contiene el picnómetro hasta la marca señalada, a la temperatura que disponga el líquido que se introduce (temperatura de equilibrio). En este caso es necesario conocer la densidad del líquido a la temperatura de ensayos, para utilizar la Ecuación # 12. La densidad del agua se tomará en base al anexo # 2.

$$VP = \frac{M_{pw,c} - M_p}{\rho_{w,c}}$$

Ecuación 11 *cálculo de VP Obtenida de: norma ASTM D-854-14*

Donde:

$M_{pw,c}$ = masa del picnómetro más agua a la temperatura de calibración

M_p = masa promedio del picnómetro seco

$\rho_{w,c}$ = densidad del agua a la temperatura de calibración

Una vez calibrado el picnómetro, la norma ASTM D-854-14 proporciona dos métodos para ensayar la muestra, bien puede ser ensayado con suelo húmedo o suelo seco. Al suelo a

ensayarse se le irá agregando agua destilada hasta conformar una lechada, para luego verterla en el picnómetro. A partir de este punto la norma permite la desaireación por calor o por bomba de vacío, con el fin de quitar el aire en su interior. Este proceso tendrá una duración de aproximadamente 2 horas. Se puede emplear estos dos métodos para reducir el tiempo a una hora, teniendo en cuenta que el picnómetro se deberá colocar en baño de agua tibia no superior a los 40°C. La lechada debe ser agitada cuando sea necesario, con el fin de impedir que el suelo se asiente en el picnómetro. Realizado este proceso se llena hasta la marca de calibración del picnómetro. Luego se debe medir la masa del picnómetro con suelo, mediante una balanza con aproximación de 0.01g. Se deberá tomar la temperatura del picnómetro (verificando que se encuentre a la temperatura de calibración) y por último se tomará la masa seca del picnómetro, siendo la lechada transferida a un recipiente el cual permanecerá por 24 horas en un horno de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Luego de este proceso se medirá la masa seca en una balanza del 0.01 gr. A continuación, se muestra las expresiones utilizadas por la norma ASTM D-854-14 para la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo G_t :

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

Ecuación 12 Masa del picnómetro. Obtenido de (INTERNATIONAL, ASTM D854-14, 2014)

Donde:

$M_{\rho w,t}$ = masa del picnómetro y agua a la temperatura de prueba (Tt) g

M_p = la masa media calibrada del seco picnómetro, g

V_p = el volumen promedio calibrado del picnómetro, ml

$\rho_{w,t}$ = La densidad del agua a la temperatura de prueba (Tt), g / mL del anexo # 6

$$G_t = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{M_{\rho w,t} - (M_{\rho w,s,t} - M_s)}$$

Ecuación 13 Gravedad específica de los sólidos Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D854-14, 2014)

Donde:

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

M_s = la masa del horno de los sólidos del suelo seco (g)

$M_{pws,t}$ = la masa de picnómetro, agua y sólidos del suelo en la temperatura de prueba, (Tt)

Ahora se calcula la gravedad específica a 20°C mediante la siguiente ecuación

$$G_{20^{\circ}C} = K * G_t$$

Ecuación 14 Gravedad específica a 20°C obtenido de (INTERNATIONAL, ASTM D854-14, 2014)

Donde:

K = el coeficiente de temperatura dada en el anexo # 6

4.4.2 APLICACIÓN DEL GS

EL GS (Gravedad específica) de los sólidos del suelo, permite el cálculo del índice de porosidad, la relación de vacíos y el grado de saturación. Parámetros que se requiere en los ensayos y análisis de consolidación, hidrometría, entre otros. Es por eso, que este factor es importante en la mecánica de suelos y aporta mucho en su estudio.

4.5 GRANULOMETRÍA

El suelo es un conjunto de partículas las cuales presentan diversas formas y variedades de tamaño, y su estudio se realiza por medio del análisis granulométrico. La utilidad que presta los resultados de estos análisis se encuentra en el aporte que proporciona a la mayoría de los métodos de clasificación de suelos en el área geotécnica-. La granulometría se define como la distribución de los tamaños de partículas, que se encuentran en una determinada muestra de suelo, la cual se expresa en porcentaje, en relación con el peso total de la muestra (BADILLO, 2005). La granulometría presenta la distribución porcentual en masa de las partículas, lo cual pudiera generar hipótesis sobre el potencial comportamiento mecánico o hidráulico del suelo. Puede ser representado por medio de análisis (tablas que muestran porcentaje de distribución) y por graficas que relacionan el tamaño de las partículas o abertura del tamiz en escala logarítmica con su respectivo porcentaje de material más

pequeño o porcentaje que pasa el tamiz en escala normal. (curva granulométrica) (BADILLO, 2005) .

De acuerdo con la distribución del tamaño de partículas que presente un suelo, sometido a un ensayo granulométrico, puede ser clasificado según el tipo de especificación que se utilice, tal como;

SEGÚN EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN UNIFICADO AMERICANO SUCS		
	Tamaño mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Bloques	300	-
Bolos	75	300
Grava	4.76	75
Arena	0.075	4.76
Limo	0.02	0.075
Arcilla	-	0.02

Tabla 8 *Tamaño de partículas según la SUCS. Obtenido del sistema unificado de clasificación de suelos S.U.C.S*

AASHTO		
	Tamaño mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Bloques	75	-
Grava	2	75
Arena	0.075	2
Limo	0.005	0.075
Arcilla	0.001	0.005

Tabla 9 *Tamaño de partículas según la AASHTO. Obtenido de American Association of State Highway and Transportation Officials. 2002. Standard Specification for transportation materials and methods of sampling and testing. Specifications. Part 1A and 1B. 22nd Edition. USA*

ASTM		
	Tamaño mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Grava	4.76	75
Arena Gruesa	2	4.76
Arena Media	0.42	2
Arena Fina	0.075	0.42
Limo	0.005	0.075
Arcilla	0.001	0.005
Coloides	-	0.001

Tabla 10 *Tamaño de partícula según la ASTM. Obtenido del ASTM*

Se utilizan, de manera general en la mecánica de Suelos, dos métodos de ensayo granulométricos: Mecánico y por sedimentación

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Para la granulometría del suelo se utilizó la norma ASTM D1140-17, la cual solicita que el material sea pasado por una serie de tamices de diferentes aberturas, que definan específicamente materiales señalados en la tabla #10. La norma presenta dos métodos para determinar la cantidad de material más fino que pase el tamiz #200. El método A, el cual se emplea en suelos no cohesivos que contengan material fino con poca o ninguna plasticidad y el método B para suelos arcillosos donde el material muestra un comportamiento plástico y suele adherirse a las partículas más grandes. En el método A el suelo será puesto a remojo con agua antes de ser lavado, mientras que el método B se necesita remojar la muestra en una solución de dispersión antes de lavar el material por el tamiz #200. (INTERNATIONAL, ASTM D1140-17, 2017)

La muestra se deberá dejar en remojo por lo menos 10 minutos, mientras es agitada para facilitar la separación de las partículas. La muestra deberá ser lavada en el tamiz #200. Para

facilidad de lavado se puede utilizar tamices auxiliares que ayuden el proceso como los de abertura #10 y #40. Al colocar la muestra para el lavado se debe tener cuidado que el material no desborde del tamiz. La muestra será lavada mediante un chorro de agua, se puede manipular el material mediante la mano con el fin de ayudar con el lavado, teniendo cuidado en no perder material. Se continuará lavando la muestra hasta que el agua que pase por los tamices sea transparente. Cuando el material grueso esté lavado correctamente, el contenido retenido en el tamiz #200 se vierte sobre un recipiente cuidadosamente, este proceso se lo realiza mediante enjuague, si se tiene exceso de agua en el recipiente se lo puede eliminar por medio de decantación teniendo cuidado que no se pierda material. La muestra deberá ser secada en una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$, una vez seca la muestra se pesa en una balanza con una precisión de 0.01 gr. (INTERNATIONAL, ASTM D1140-17, 2017)

Una vez obtenida la muestra seca se tamiza alrededor de 5 min, en la serie de tamices señaladas en la tabla # 11, para luego determinar la masa retenida en cada tamiz. Con esta información se calcula los porcentajes retenidos y acumulados en función de la masa total del ensayo. Los valores determinados permiten, como se mencionó anteriormente, ser representados en la gráfica.

La curva granulométrica, que enlaza los puntos de los porcentajes acumulados de partículas más pequeñas, permite la determinación de parámetros que describen cualitativamente el material tal como: El coeficiente de curvatura C_c y el coeficiente de uniformidad C_u

Tamiz	Abertura (mm)
3"	75
2"	50
1 1/2"	38
1"	25
3/4"	19
N 4	4.75
N 10	2
N 40	0.425

N 200	0.075

Tabla 11 Abertura y número de tamices En la tabla se muestra los tamices utilizados para el ensayo de granulometría, obtenido ASTM E11-20, Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org

4.5.1 Coeficiente de Curvatura C_c Y Coeficiente de Uniformidad C_u

El coeficiente de uniformidad y curvatura son indicadores obtenidos gráficamente de la curva granulométrica que tiene un suelo. Dichos coeficientes permiten establecer la calificación de la gradación del suelo, es decir si es un material bien gradado o mal gradado. Allen Hazen propuso el coeficiente de uniformidad de la siguiente manera (BADILLO, 2005):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ecuación 15 Coeficiente de uniformidad. Obtenido de (BADILLO, 2005)

En donde:

D_{60} : Diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica (BADILLO, 2005)

D_{10} : Llamado por Hazen diámetro efectivo. El diámetro de la curva de distribución del tamaño de las partículas corresponde al 10% de los finos (BADILLO, 2005).

Juárez Badillo, menciona que un suelo con un coeficiente de uniformidad (C_u) menor que 3 son considerados suelos muy uniformes, aludiendo que su valor numérico decrece cuando la uniformidad aumenta. Para poder definir la gradación, también se requiere determinar el coeficiente de curvatura de la siguiente manera

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Ecuación 16 coeficiente de curvatura. Obtenido de (BADILLO, 2005)

Donde:

D_{30} : Diámetro correspondiente al 30%

En el libro de Juárez Badillo menciona que en un suelo con un coeficiente de curvatura tiene una relación entre 1 y 3 en suelos bien graduados. En cambio, la norma ASTM D 2487-17 menciona que para que un suelo sea bien graduado debe tener un coeficiente de uniformidad mayor a 4 y el coeficiente de curvatura debe estar entre 1 y 3. (INTERNATIONAL, ASTM D 2487-17, 2017)

4.5.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN

En la investigación se ha utilizado el procedimiento establecido en la norma ASTM D7928-14. Para este análisis granulométrico por sedimentación se utiliza el hidrómetro, el cual es un “instrumento que mide la densidad de sólidos y líquidos, utilizando el principio de flotación de Arquímedes. También se le conoce como densímetro de inmersión o aerómetro” (García, 2010).

El método determina la distribución del tamaño de las partículas menores de $75\ \mu\text{m}$ (que pasan el tamiz No 200) correspondiente a la fracción fina del suelo (Jiménez, 2016). Su principio se basa en la ley de Stokes que dice “si una partícula esférica cae dentro del agua, adquiere pronto una velocidad uniforme que depende del diámetro de la partícula, su densidad y viscosidad del agua”, por lo que se puede analizar a través de sus fuerzas actuantes. Aplica para obtener una relación entre el por ciento de partículas en suspensión y su diámetro.

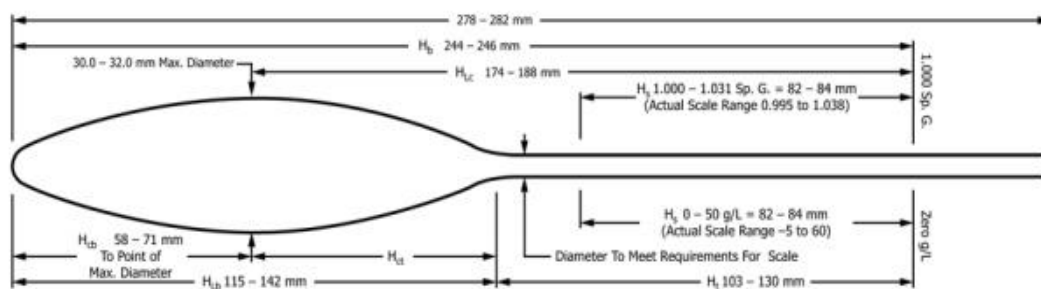


FIG. A1.1 Soil Hydrometer (151H or 152H)

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Tue Jan 14 12:12:56 EST 2020 15

Downloaded/printed by

Pontificia Universidad Católica del Ecuador - PUCE (Pontificia Universidad Católica del Ecuador - PUCE) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorize

El método descrito en la norma regula el uso del floculante, 50gr de éste en un litro de agua. Se coloca 100 ml de esta solución en la muestra de 50 gr de suelo, se deja reposar por 24 h. Después de este proceso, se forma un slurry durante 2 min y se procede a colocar en la probeta de ensayo con agua destilada hasta completar los 1000 ml de contenido de esta probeta. Se agita mediante un giro de 180° por sesenta veces para luego comenzar a tomar las lecturas con el hidrómetro, dentro del baño maría, que mantiene controlada la temperatura.

Se debe tomar en cuenta que para un suelo inorgánico se toma 50 gr secos, y para suelos orgánicos se toma la cantidad de 50 gr corregidos con el material pasante al tamiz 200 y su humedad correspondiente. (INTERNATIONAL, ASTM 2974-14, 2014)

4.6 CONTENIDO ORGÁNICO

El contenido orgánico es la cantidad en porcentaje en base al peso de suelo de materia conformada por restos vegetales y de animales descompuestos que se presentan en suelo (Molina, 2011).

“La turba es un suelo orgánico natural derivado principalmente de material vegetal en descomposición que se ha acumulado en entornos anaeróbicos saturados de agua” (INTERNATIONAL, ASTM D 4427-9495, 1994). (Se establece a la turba como suelo con alto contenido orgánico el cual sobrepasa el límite dentro de clasificación)

El contenido de suelo orgánico y de turba difieren de un lugar a otro, debido a variables como fibra de origen, grado humificación o descomposición y temperatura. Al igual que los suelos inorgánicos pudieron desplazarse dentro de formas ambientales como: residuales, glaciales, aluviales, lacustres, marinos, eólicos, coluviales (Bujang B.K: Huat, 2014).

4.6.1 PROBLEMAS DEL SUELO ORGÁNICO Y TURBA EN INGENIERÍA

Estos son suelos problemáticos ya que sus características mecánicas son inferiores a los suelos blandos, algunos son inadecuados para la construcción. Estos tipos de suelo son de peculiaridades nada buenas para la perspectiva ingenieril ya que presentan resistencias bajas, deformaciones altas, y además contienen tasas de fluencia (Sina, Bujan Bin, Arun , & Maassoumeh, 2011) vinculadas con hundimientos locales y fallas de deslizamiento, por lo

que se consideran suelos inestables (Haan y Kruse, 2006). Presentan gran variedad de propiedades y su muestreo es complicado además que, no es estable ya que con el tiempo puede existir posibilidades de cambio en su estructura debido a las condiciones que se presenten o estén expuestas (Sina, Bujan Bin, Arun , & Maassoumeh, 2011).

4.6.2 COMPRESIBILIDAD EN SUELOS ORGÁNICOS Y EN TURBAS

La compresibilidad del suelo, en términos generales, está compuesta de tres etapas:

1.-La compresión inicial es instantánea, después de aplicar la carga debido a la compresión del gas dentro del poro (espacios) y también debido a la compresión elástica del suelo (Sina, Bujan Bin, Arun , & Maassoumeh, 2011)..

2.-La consolidación primaria se observa durante el aumento de la tensión vertical efectiva que provoca la disipación del exceso de presión de agua de poro. Después de la finalización de disipación del exceso de presión de agua de poro (Sina, Bujan Bin, Arun , & Maassoumeh, 2011).

3.-La consolidación secundaria tendría lugar a una velocidad efectiva constante tensión (Sina, Bujan Bin, Arun , & Maassoumeh, 2011).

Pero para suelos con contenidos orgánicos de medio a altos y para turbas el comportamiento, en el ensayo de consolidación. cambia ya que la compresión en este tipo de suelos es sumamente mayor y **la fluencia del asentamiento** es de suma importancia (Sina, Bujan Bin, Arun , & Maassoumeh, 2011). Los factores que controlan este comportamiento son: contenido de materia orgánica (fibra), contenido de humedad, relación de vacíos, permeabilidad inicial, acomodo de partículas en el suelo, productos químicos entre partículas, adherencia de algunos suelos (Mesri G, 2007). En este tipo de suelos suele presentarse hasta la consolidación terciaria.

La relación de vacíos inicial de suelos orgánicos y turbas es muy alta, durante ambos, compresión primaria y secundaria, se expulsa agua simultáneamente desde dentro y entre las partículas de suelo (Mesri y Ajlouni, 2007). Por lo tanto, las curvas e -log p muestran una pendiente pronunciada que indica un valor alto de índice de compresión (C_c). Existe una

posibilidad de que la compresión secundaria comience antes que se complete la disipación del exceso de presión de agua intersticial. (Leonards y Girault, 1961).

El esfuerzo efectivo inicial es muy pequeño debido al peso unitario de este tipo de suelos o cantidad de sólidos que posee. A veces, no se puede detectar a partir de los resultados de la prueba de consolidación (Mesri et al., 1997). También es muy difícil de obtener el comienzo de la compresión secundaria ya que el cambio de consolidación ocurre rápidamente (Yulindasari, 2006).

La compresión de este tipo de suelos va a un ritmo de tasa decreciente bajo estrés efectivo constante, llamado compresión secundaria. La compresión secundaria se debe a la mayor descomposición de fibras, que se supone ocurre a un ritmo más lento, después de que la consolidación ha terminado (Mesri et al. 1997). La pendiente en parte final del gráfico de relación de vacíos versus logarítmico de tiempo (C) es definida como la tasa de secundaria compresión, esto se basa en los supuestos que C es independiente del tiempo, el espesor de la capa compresible y presión aplicada. Se ha utilizado la relación C / C_c ampliamente para estudiar el comportamiento de la turba (Dhowian y Edil, 1980) y un rango entre 0.05 y 0.07 para C / C_c es informado por Mesri et al. (1994).

También se conoce que a pesar de que la tasa de consolidación primaria de la turba fibrosa es muy alta, disminuye con la aplicación de presión de consolidación. Según Lea y Brawner (1963), habrá una disminución significativa en la tasa de coeficiente de consolidación (C_v) durante la aplicación de presión de 10 a 100 kPa. La reducción significativa en un factor de 5-100, se atribuye a la reducción de permeabilidad debido al aumento de la presión.

4.6.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO

Para determinar el contenido orgánico se ha utilizado la norma ASTM D 2974, la cual indica que se debe tomar muestras de 10 gramos en un recipiente de porcelana. Primero se debe pesar los recipientes y después pesar el recipiente con la muestra de suelo, luego se coloca en un horno a 110°C si suelo es inorgánico y si es orgánico a 60°C por 24 horas, De esta manera se obtiene la humedad natural (método A). Después de determinar la humedad se coloca las muestras en la mufla durante 4 horas a 450°C (método C), esto aplica a suelos

inorgánico y orgánicos, cuidadosamente se retira retiramos de la mufla y se vuelve a pesar. Se realiza el siguiente calculo.

$$\text{Porcentaje de contenido de ceniza (D)} = (C * 100) / B$$

CALCULO 1: contenido de ceniza, Fuente norma (INTERNATIONAL, ASTM 2974-14, 2014)

Donde:

C= masa de ceniza en gramos

B= masa seca de la muestra en gramos

Luego se calcula el porcentaje de materia orgánica:

$$\text{Porcentaje de materia orgánica} = 100 - D$$

CALCULO 2: contenido de material orgánica (INTERNATIONAL, ASTM 2974-14, 2014)

Donde:

D= porcentaje de contenido de ceniza

La clasificación se realiza según la norma ASTM D 4427-9495, dependiendo del contenido de ceniza, y del contenido orgánico medido y calculado por los métodos de prueba D2974.

- **Bajo contenido de cenizas:** turba con menos del 5% de cenizas.
- **Ceniza media:** turba entre 5 y 15% de ceniza.
- **Alto contenido en cenizas:** turba con más del 15% de cenizas.

Se determina la clasificación a través de:

Rango de contenido orgánico (ASTM D4427)		
Tipo de suelo básico	Descripción	Contenido orgánico (%)
arcilla, limo, arena	ligeramente orgánico	2-20
suelo orgánico		25-75
Turba		>75

Tabla 12 Rango de contenido orgánico. Obtenido de (Bujang B.K: Huat, 2014)

4.7 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La clasificación de los suelos es un proceso importante en la mecánica de suelos, ya que permite describir la textura y tamaños de partículas en un suelo, permitiendo tener una idea del comportamiento del posible comportamiento del suelo. (BADILLO, 2005, pág. 97) en Ecuador se utiliza los dos métodos estándares mediante la granulometría los cuales son:

- SUCS cuyas siglas describe al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, su mayor uso es para cimentaciones
- AASHTO cuyas siglas describe a la (Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transporte oficial) su principal uso es en vías, dado que juzga la aceptabilidad del suelo para ser usado como base y sub-base para las vías,

A continuación, se detalla únicamente el sistema de clasificación SUCS debido a que es el sistema utilizado en la presente investigación

4.7.1 SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

“El Sistema Unificado de Clasificación del suelo (USCS o SUCS) se basa en el sistema de clasificación desarrollado por Casagrande durante la Segunda Guerra Mundial. Con algunas modificaciones fue aprobado conjuntamente por varias agencias de gobierno de los EE.UU. en 1952. Refinamientos adicionales fueron hechas y actualmente está estandarizado como la norma ASTM D 2487-17.” (BORSELLI, 2019)

Se estructura la clasificación con dos elementos; uno corresponde al establecimiento de un símbolo y el segundo elemento se refiere la descripción con cierta precisión del material, elemento conocido como “el nombre del grupo”.

El símbolo se compone de dos letras la primera se refiere a la característica fundamental o la porción más grande que contienen y la segunda es la característica otorgada por la curva granulométrica o por la carta de plasticidad. A continuación, se muestra dicha simbología en la siguiente tabla

SÍMBOLOS (SUCS)

TIPOS DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUBFIJO
Grava	G	Bien Graduada	W
Arena	S	Pobremente Graduada	p
Limo	M	Limoso	L
Arcilla	C	Arcilloso	M
Orgánico	O	Baja Plasticidad	L
Turba	PT	Alta Plasticidad	H

Tabla 13 Simbología de tipo de suelos según SUCS. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D 2487-17, 2017)

Mediante la simbología del suelo, se realizan combinaciones como se presenta a continuación

TIPOLOGÍA SUCS			
SIMBOLO	Características Generales		
GW	GRAVAS (>50% en Tamiz #4)	Limpias (Finos <5%)	Bien graduada
GP			Pobremente Graduada
GM		Con Finos (Finos >12%)	Componente Limoso
GC			Componente Arcilloso
SW	ARENAS(<50% en Tamiz #4)	Limpias (Finos <5%)	Bien graduada
SP			Pobremente Graduada
SM		Con Finos (Finos >12%)	Componente Limoso
SC			Componente Arcilloso
ML	LIMOS	Baja Plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja Plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGANICOS	Baja Plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
PT	TURBAS	Suelos Altamente Orgánicos	

Tabla 14 tipología S.U.C.S la tabla muestra la simbología utilizada para la clasificación del suelo obtenido de la norma ASTM D 2487-17

La norma ASTM D 2487-17, identifica tres divisiones principales del suelo; suelos de grano grueso, fino y orgánicos. Cada uno de estos grupos se subclasifican, generando 15 grupos básicos completamente identificados según especificidades granulométricas. de. En el anexo #3 se muestra las tablas que muestran la respectiva clasificación.

Para determinar si el suelo es orgánico, según ese sistema, debe ser comparado el límite líquido obtenido en dos preparaciones distintas de la muestra. Si la relación del límite líquido obtenido en una muestra previamente seca en horno (110°C más menos 10) y el límite líquido en una muestra obtenido en condición natural es menor a 0.75, se considera a la muestra como orgánica. se debe obtener el límite líquido seco.

4.8 CONSOLIDACIÓN

La consolidación es un fenómeno que se presenta en los suelos finos cohesivos saturados (Limos, Arcillas), debido a un incremento de esfuerzos generado por cargas, lo cual provoca una disminución del volumen de los poros dado que las partículas del suelo se consideran incompresibles o de efecto despreciable y la expulsión de aire o agua de los espacios vacíos ayudan al reacomodo de las partículas (INVE). El efecto visible externo es el asentamiento del estrato. Dicho comportamiento se traduce en tres categorías:

- Asentamientos inmediatos: provocada por la deformación elástica que sufre el suelo (no detectable en este ensayo)
- Asentamientos por consolidación primaria: provocado por el cambio de volumen en los suelos saturados, haciendo que se expulse el agua que se encuentran en los espacios vacíos.
- Asentamiento por consolidación secundaria: se produce por un reacomodo de partículas

Al momento de colocar una carga en un estrato de suelo saturado, el incremento de poros aumenta inmediatamente dependiendo del tipo de depósito, [en suelos arenosos este fenómeno ocurre instantáneamente puesto que las arenas son muy permeables y por lo cual el agua saldrá rápidamente, ocasionando una reducción de su volumen, haciendo que sufra un asentamiento inmediato]. En el caso de suelos arcillosos por tener una baja permeabilidad

el agua saldrá lentamente haciendo que su reducción de volumen se produzca lentamente y su asentamiento sea lento. Este comportamiento se debe a los esfuerzos efectivos que se producen en los estratos de suelo. En el capítulo 9 de consolidación de la guía mecánica de suelos por Gonzalo Duque indica que en un estrato de suelo tiene un esfuerzo total (σ), una presión interna o de poros (U) y el esfuerzo efectivo (σ') que se define como la diferencia del esfuerzo total menos la presión de poros. (Duque Escobar & Escobar Potes, 2002)

$$\sigma' = \sigma - U$$

Ecuación 17 *esfuerzo efectivo* (Duque Escobar & Escobar Potes, 2002)

Para comprender los esfuerzos efectivos que se producen en un estrato de suelo sometido a una carga externa, se considera un suelo saturado con una membrana flexible como se muestra en la figura # 6. El esfuerzo total (σ) que es producido por una carga externa la cual es perpendicular a la membrana (Alva Hurtado , s.f.). La presión de poros u ($u > \sigma$), dado que se trata de una presión hidrostática, tiene la misma intensidad en todas las direcciones. La presión de poros (u) es perpendicular a la membrana, y de esta manera se puede observar los esfuerzos normales que se encuentran ejercidos en la membrana, apreciando que la diferencia de esfuerzos ($\sigma-u$) son transmitidos a la estructura del suelo a través de la membrana para una situación de equilibrio, por lo tanto, se puede decir que los esfuerzos efectivos ($\sigma-u$) son una medida de la carga transmitida por la estructura del suelo. (Alva Hurtado , s.f.)

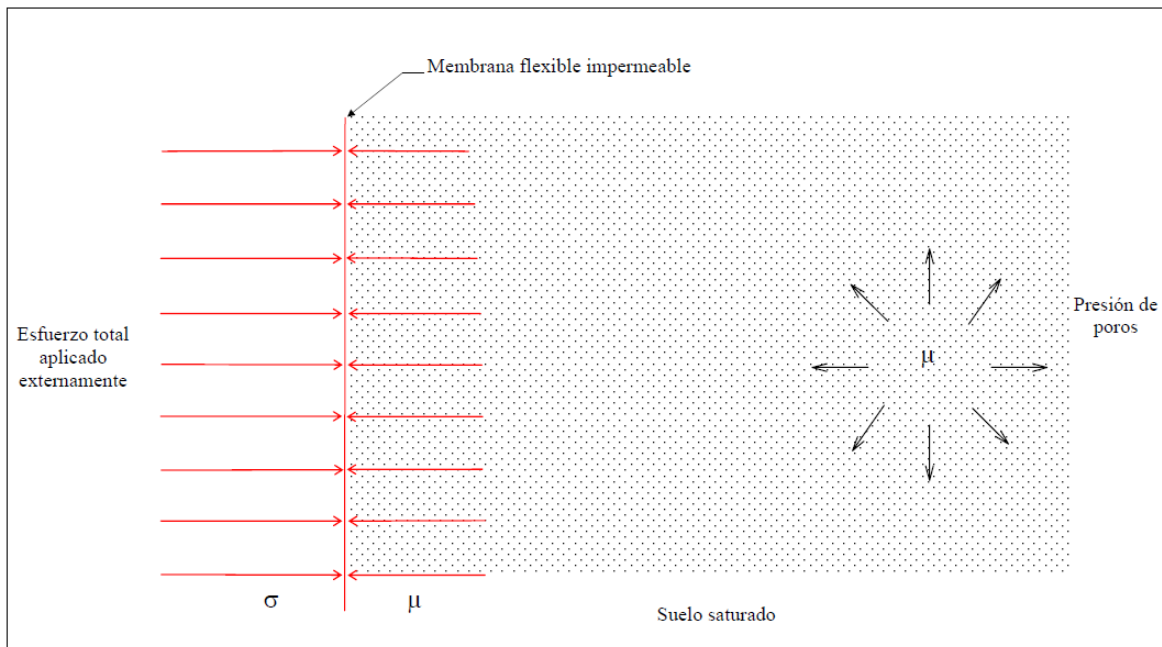


Figura 6 Esquema de la presión de poros Nota. Obtenido de (Alva Hurtado , s.f.)

Como en las arcillas se tiene baja permeabilidad y el agua es incompresible, al momento de colocar una carga rápida dicho esfuerzo es tomado por la presión de poros (u), por lo cual el esfuerzo total es igual a la presión de poros, haciendo que las partículas de suelos no transmitan carga, sino el agua. Después de un determinado tiempo el agua será drenada, haciendo que el exceso de presión de poros decrezca transmitiendo los esfuerzos al sólido, mientras que en las arenas por ser muy permeables este esfuerzo se transmite rápidamente al sólido, haciendo que se consolide rápidamente a diferencia que las arcillas.

Originalmente, dicha analogía fue presentada por Terzaghi, para ello propuso un modelo fácil de entender, el cual, consiste en un pistón con un pequeño orificio donde el resorte es el estrato suelo, al momento de aplicar una carga el agua empieza a salir por el orificio, haciendo que el resorte empieza a deformarse conforme el agua sale tal y como se muestra en la figura #7. Se puede observar que el agua es el que resiste dichos esfuerzos al comienzo, y mientras el agua se va drenando los esfuerzos son transmitidos al resorte tal y como sucede en un estrato de suelo. (Duque Escobar & Escobar Potes, 2002)

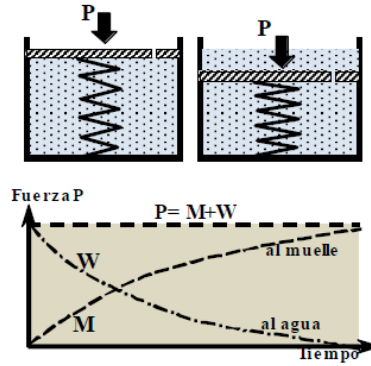


Figura 7 Analogía del pistón. Obtenido de (Duque Escobar & Escobar Potes, 2002)

A lo largo de la historia se han presentado asentamientos no previsto en las estructuras a causa del fenómeno de consolidación. Debido a la compresibilidad de los estratos de suelos arcillosos o limos plásticos se ha convertido en un tema de estudio, por lo cual se han elaborado métodos permitiendo establecer el asentamiento y distribución que se pueda presentar en un estrato. Para poder obtener una relación entre la carga que se aplica a un estrato consolidable y la reducción de su volumen, así como la estimación del tiempo necesario para que esto ocurra, se recurre a las pruebas de consolidación unidimensional. El ensayo de consolidación consiste en aplicar diferentes estados de carga a una muestra de suelo confinada lateralmente, con el objetivo que la muestra se deforme en una sola dirección, en el acápite 3.9.1 se detalla la realización de este proceso mediante la norma vigente para el ensayo de consolidación. (BADILLO, 2005)

La deformación que sufre la muestra de suelo, colocada en un consolidómetro, a causa de una carga, se mide a través de un deformímetro y un cronometro. Se determina el tiempo que requiere el espécimen para alcázar la deformación medida. Los resultados obtenidos permiten la construcción de una gráfica en escala semilogarítmica, que permite conocer el tiempo en el cual la muestra alcanzó el 100% de la consolidación primaria. Una vez obtenidas las gráficas de consolidación como se muestra en la figura #8, para los diferentes estados de carga ensayados, se podrá obtener las curvas de relación de vacíos vs presión vertical como se muestra en la figura #9, mediante estas graficas se podrá obtener los siguientes parámetros: (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

- C_c índice de compresión
- C_v coeficiente de consolidación
- a_v coeficiente de consolidación
- m_v coeficiente de compresibilidad volumétrico

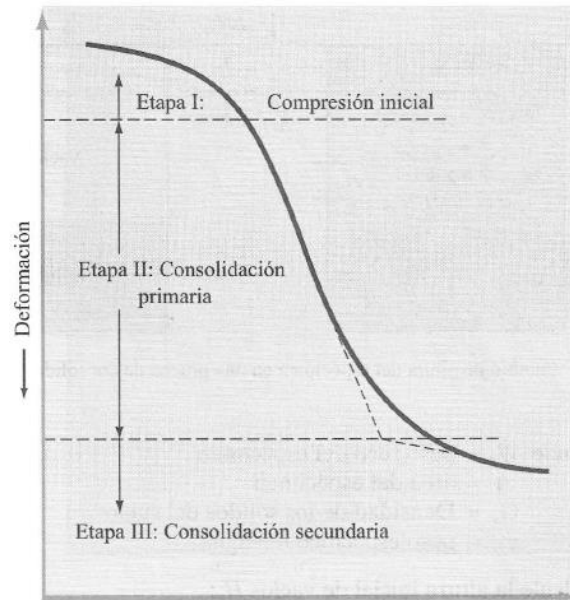


Figura 8 curva de consolidación. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

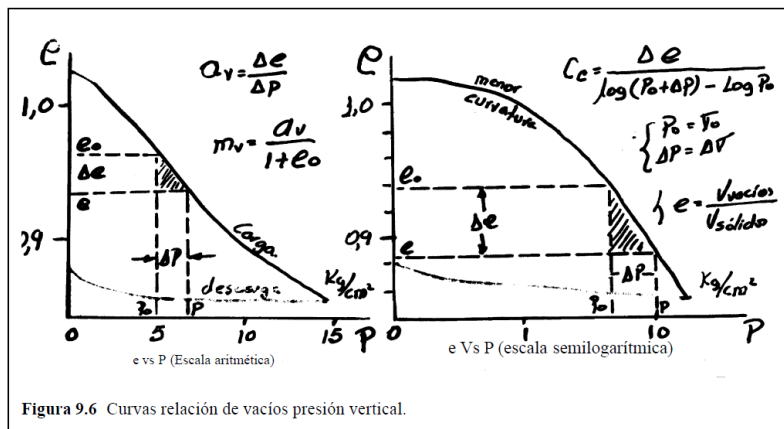


Figura 9.6 Curvas relación de vacíos presión vertical.

Figura 9 curvas relación de vacíos presión vertical. Obtenido de (Duque Escobar & Escobar Potes, 2002)

Cada uno de los parámetros señalados anteriormente se presentarán en los siguientes acápite.

4.8.1 ECUACIÓN DE CONSOLIDACIÓN

Tasa de consolidación

Para la determinación de esta tasa de consolidación se trabajó con las siguientes suposiciones enumeradas por Terzaghi en 1925 y que aún son válidas: el sistema arcillas-agua es homogéneo, la saturación es completa, la compresibilidad del agua es insignificante, la compresibilidad de los granos del suelo es insignificante pero se encarga de la reorganización de los granos del suelo, se estima que el flujo del agua va en una sola dirección estimando a esta dirección como compresión, la ley de Darcy es válida para los cálculos (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005).

Bajo estas hipótesis Terzaghi desarrolló la ecuación diferencial cuya solución permite calcular la tasa de consolidación. A continuación, se presenta la deducción expuesta por Braja Das (1999)

Se establece que la tasa de:

$(\text{pérdida de agua}) - (\text{afluencia de agua}) = \text{cambio de volumen}$

Es lo mismo que decir:

$$\left(v_z + \frac{\delta v_z}{\delta z} dz \right) \delta_x \delta_y - v_z \delta_x \delta_y = \frac{dv}{\delta t}$$

Se obtiene que:

V = volumen del elemento de suelo

V_z = velocidad de flujo en la dirección z

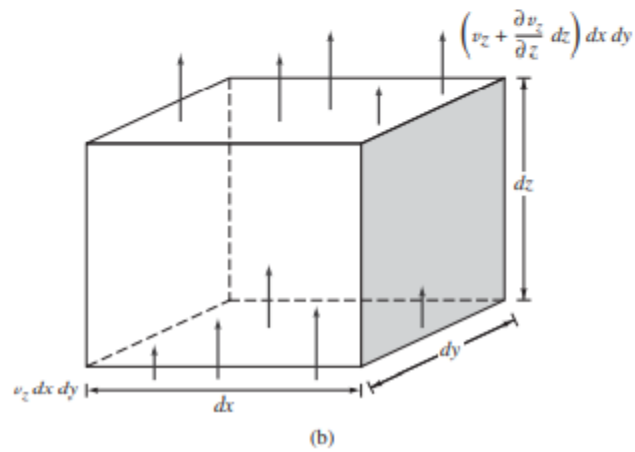
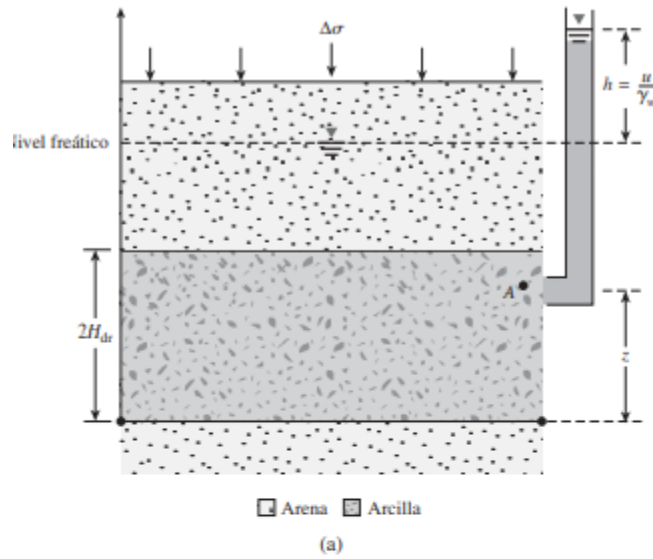


Figura 10 (a) Capa de arcilla sometida a consolidación, (b) flujo de agua en a durante la consolidación. Obtenido de (Braja, 2013)

Ley de Darcy

$$v_z = k_i = -k \frac{\delta h}{\delta z} = -\frac{k}{\gamma_w} \frac{\delta u}{\delta z}$$

Ecuación 18

Variación de volumen del elemento suelo igual a la variación del volumen de vacíos

$$\frac{\delta v}{\delta t} = \frac{\delta v_v}{\delta t} = \frac{\delta(v_s + e v_s)}{\delta t} = \frac{\delta v}{\delta t} + V_s \frac{d e}{\delta t} + e \frac{\delta v_s}{\delta t}$$

Ecuación 19

V_s = volumen de sólidos del suelo

V_v = volumen de vacíos

Sólido incomprensible

Suponiendo que:

$$\frac{\delta v_s}{\delta t} = 0$$

$$v_s = \frac{v}{1 + e_0} = \frac{d_x d_y d_z}{1 + e_0}$$

Ecuación 20

Sustituyendo en la ecuación de variación de volumen del elemento suelo igual a la variación del volumen de vacíos se obtiene:

$$\frac{\delta v}{\delta t} = \frac{d_x d_y d_z}{1 + e_0} \frac{\delta e}{\delta t}$$

Ecuación 21

Sustituyendo en la ecuación de variación de volumen del elemento suelo igual a la variación del volumen de vacíos se obtiene:

$$\frac{\delta v}{\delta t} = \frac{d_x d_y d_z}{1 + e_0} \frac{\delta e}{\delta t}$$

Ecuación 22

Se obtiene luego de los reemplazos pertinentes:

$$\left(v_z + \frac{\delta v_z}{\delta z} dz\right) \delta_x \delta_y - v_z \delta x \delta y = \frac{dv}{\delta t}$$

$$\left(\frac{dv_z}{\delta z} dz\right) dx dy = \frac{\delta V}{\delta t}$$

Ecuación 23

$$-\frac{k}{\gamma_w} \frac{\delta^2 v}{\delta z^2} = \frac{1}{d_x d_y d_z} \frac{\delta v}{\delta t}$$

Tras la combinación de ecuaciones 22 y 23 obtenemos:

$$-\frac{k}{\gamma_w} \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} = \frac{1}{1 + e_0} \frac{\delta e}{\delta t}$$

Ecuación 24

Donde e_0 = índice de vacíos

Se analiza que la variación es lineal, a causa de la consecuencia del incremento de esfuerzo o decremento de la presión de poros

$$\frac{\delta e}{d(\Delta \sigma')} = a_v = \frac{\delta e}{d_t}$$

Se conoce que a_v es el coeficiente de compresibilidad

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0}$$

Se conoce que m_v es el coeficiente de compresibilidad volumétrica

$$Cv = \frac{k}{\gamma_w m_v}$$

Se conoce Cv como el coeficiente de consolidación

Conociendo estas definiciones y reemplazando en la ecuación principal se desprende la ecuación de la consolidación

$$-\frac{k}{\gamma_w} \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} = \frac{1}{1 + e_0} \frac{\delta e}{\delta t}$$

$$-\frac{k}{\gamma_w} \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} = -\frac{av}{1 + e_0} \frac{\delta u}{\delta t}$$

$$\frac{k}{\gamma_w m_v} \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} = \frac{\delta u}{\delta t}$$

Ecuación de la consolidación

$$Cv * \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} = \frac{\delta u}{\delta t}$$

La solución de la ecuación considera los siguientes límites de frontera:

para:

$$z=0 \quad u=0$$

para:

$$z=2 \text{ Hdr} \quad u=0$$

$$t=0 \quad u= u_o$$

$$u = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left(\frac{1}{H} \int_0^{2H} U_i \operatorname{sen} \frac{n\pi z}{2H} dz \right) \left(\operatorname{sen} \frac{n\pi z}{2H} \right) e^{\left(\frac{n^2 \pi^2 C_v t}{4H^2} \right)}$$

Debido a que el coeficiente de consolidación C_v es constante y el tiempo es múltiplo de C_v se puede emplear el factor adimensional denominado factor tiempo.

$$T_i = \frac{C_v t_i}{H^2}$$

Ti= factor tiempo

Integrando y reformulando la solución se obtiene

$$M = \frac{\pi}{2} (2m + 1)$$

$$u = \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{a_{ui}}{M} \left(\operatorname{sen} \frac{Mz}{H} \right) e^{(-M^2 T)}$$

Debido que el proceso de consolidación es consecuencia del exceso de presión de poros, se puede determinar el grado de consolidación de acuerdo con la profundidad z en cualquier tiempo, Considerando:

$$U_z = \frac{u_0 - U_z}{v_0} = 1 - \frac{U_z}{U_0}$$

$$u_z = u_o (1 + U_z)$$

$$u = \frac{1}{u_o} \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2o_u}{M} \left(\operatorname{sen} \frac{Mz}{H} \right) e^{(-M^2 T)}$$

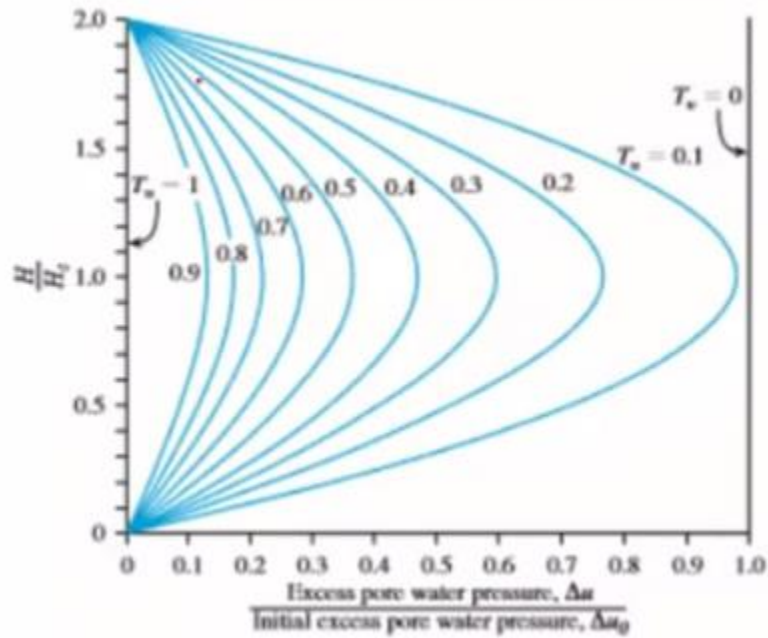


Figura 11 variación de U_z con T_v y z/H_{dr} . Obtenido de (Braja, 2013)

Por simplificación se utiliza el promedio de la consolidación después de un lapso debido a que no toda la muestra se consolida igualmente, por razones prácticas se toma:

$$U = \frac{St \text{ (asentamiento de la capa de arcilla en el tiempo } t \text{ después de la aplicación de la carga)}}{S_{max} \text{ (asentamiento máximo bajo la carga aplicada)}}$$

La solución de la ecuación, si se toma el perfil de presión inicial y actual, se puede integrar para obtener:

$$U = 1 - \frac{u_i}{u_o}$$

U =presión de poros

Se obtiene:

$$\begin{aligned} U = \frac{St}{S_{max}} &= \frac{\int_0^{2H} (\Delta u_o) dz - \int_0^{2H} (\Delta u) dz}{\int_0^{2H} (\Delta u_o) dz} \\ &= 1 - \frac{\text{Área actual del exceso de presión de poro}}{\text{Área de presión de poro inicial}} \end{aligned}$$

De esta expresión se puede obtener la variación de U con T

$$U = \frac{St}{S_{max}} = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \left(\frac{2}{M_2}\right) e^{-M^2 T v}$$

Para U de 0 a 60%

4.8.2 ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

La norma D2435 permite replicar el fenómeno de consolidación en el laboratorio, para ello se tomará una muestra inalterada. La muestra deberá ser restringida lateralmente y cargada axialmente con incrementos de esfuerzos (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019). Cada uno de los incrementos se mantendrá hasta que la presión de poros producida por la carga se disipe por completo. Se deberá tomar medidas de la disminución del espesor de la muestra cada determinado tiempo, mientras se disipa la presión de poros. (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019)

Los datos tomados en el ensayo de consolidación (laboratorio), permiten el cálculo del coeficiente de consolidación, índice de compresión, coeficiente de compresibilidad volumétrica y índice de compresión secundaria. Mediante la información obtenida se puede analizar el comportamiento del suelo sometido a cargas, analizar y comprender la deformación que esté presente, permitiendo un mayor entendimiento de su comportamiento.

Para el ensayo de consolidación se necesita consolidómetro, dispositivos de carga, piedras porosas, anillos de acero inoxidable tal como se muestra en la ilustración # 10 dichos aparatos deberán estar reguladas según las especificaciones dadas de la norma ASTM D2435.

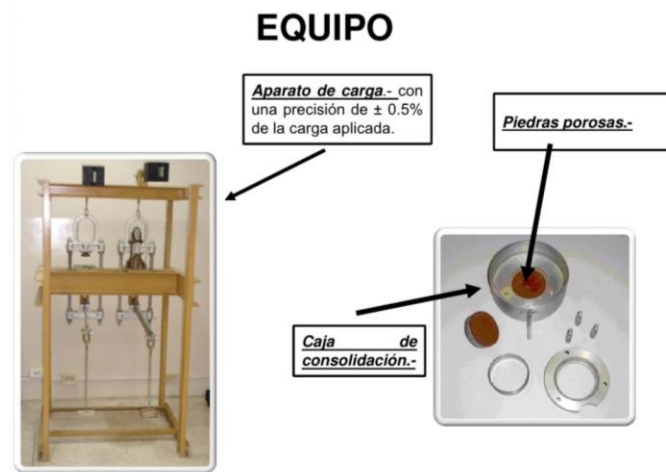
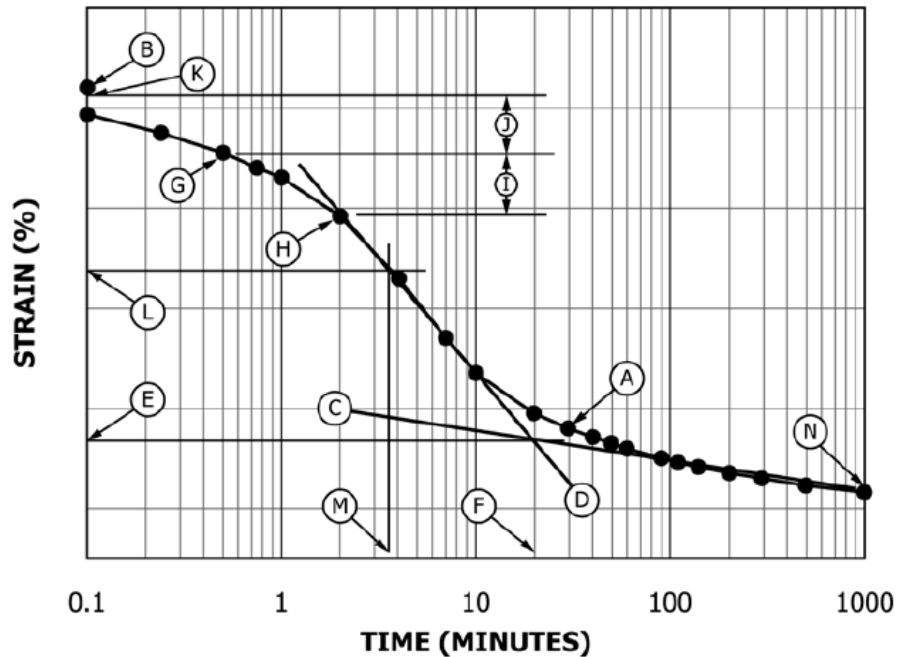


Ilustración 10 Equipo de laboratorio (Esparza Villalba , 2009)

Para la preparación de la muestra, se debe realizar lo más cuidadosamente posible, para no tener alteraciones del suelo o humedad, dicha muestra se colocará en el anillo de acero inoxidable, el anillo de consolidación tendrá un diámetro menor de 5mm que la muestra a ensayarse. Se enrazará la cara superior como la cara inferior, una vez colocada la muestra se deberá inundar con agua destilada mientras dure el ensayo, se colocará el deformímetro para medir el cambio de volumen que sufre la muestra por la carga aplicada. La norma D2435 para el progreso de carga estándar, consiste en; una relación de incremento de carga duplicando la presión sobre la muestra, con lo que recomienda cargar con las siguientes cargas 12,25,50,100,200 KPA (Kilo Pascales) dichos estados de carga no son obligatorios, es decir dependiendo del tipo de suelo y del tipo de estructura de ingeniería que se estudie, los estados de carga serán diferentes a los recomendados por la norma.

Una vez finalizado cada estado de carga, con los datos obtenidos mediante el deformímetro, se grafica la relación deformación vs tiempo, el tiempo será en escala logarítmica como nos indica la norma D2435. A continuación, se muestra una gráfica de consolidación



Gráfica 3 de consolidación. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019)

En la curva de consolidación, representación gráfica de la relación deformación vs tiempo para cada estado de carga, puede ser determinada de forma convencional el inicio y finalización de la consolidación primaria y secundaria o tiempos específicos para una deformación o consolidación predefinida. En general se conoce y aplican dos métodos empíricos para la normalización de esta curva; método de Casagrande y Taylor

A partir de tiempo (t_i) para un grado de consolidación, por lo general se utiliza el t correspondiente al 50 % de la consolidación (método de Casagrande) o t correspondiente al 90% (método de T), puede ser estimado el valor de C_v con la ayuda de la solución general de consolidación (ecuación 25 y 26)

Tanto el Método de Casagrande como Taylor serán explicados en los acápites 3.8.3 y 3.8.4.

4.8.3 MÉTODO DE CASA GRANDE

Para el cálculo del coeficiente de consolidación (C_v) la norma D2435, explica un cierto número de pasos que se deben tener en cuenta;

Se estimará el punto de curvatura máxima como el punto B en la gráfica # 3. Se dibuja una línea tangente de la mayor cantidad de puntos que se encuentre en la curvatura este punto será C tal como se muestra en la gráfica # 3, de igual manera se realizará otra tangente de los puntos donde cambia su curvatura, este punto será el punto D tal como se muestra en la imagen, dicha intersección será el final de la consolidación primaria, se extenderá una horizontal tomada la intercepción de C y D, el punto E será el 100% de la deformación axial ε_{100} y el punto F será tiempo t_{100} correspondiente al 100% de la consolidación primaria. (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019)

Para encontrar el 0% de la consolidación primaria (K), en gráfica # 3 se selecciona dos puntos G y H los cuales tienen una relación de tiempo $1t$ a $4t$ y se gráfica en la cabecera de la curva. Una vez colocados en la gráfica estos puntos se trazará una línea paralela al eje de las abscisas de los puntos G y H, la diferencia entre estos dos puntos da como resultado el punto I, para la obtención del punto J se deduce que $J = I$ como se muestra en la gráfica #3.

Para encontrar el 50% de la consolidación primaria, será el promedio correspondiente al de las deformaciones axiales 0 y 100% que da como resultado el punto L, una vez encontrado el punto L se deberá encontrar t_{50} que es el tiempo requerido para el 50% de la consolidación, para el cual se trazará una línea paralela al eje de las ordenadas, la cual interseque el punto L en la curva de consolidación, en el eje de las ordenadas se obtendrá el punto (M) el cual indica el t_{50} (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019)

Una vez obtenido la lectura del punto (M) la norma D2435 presenta la siguiente ecuación para el cálculo del coeficiente de consolidación:

$$cv = \frac{Tv(U = 50\%) * H^2}{t_{50}}$$

Ecuación 25 *Calculo de cv por casas grande. Obtenido de la norma. (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019)*

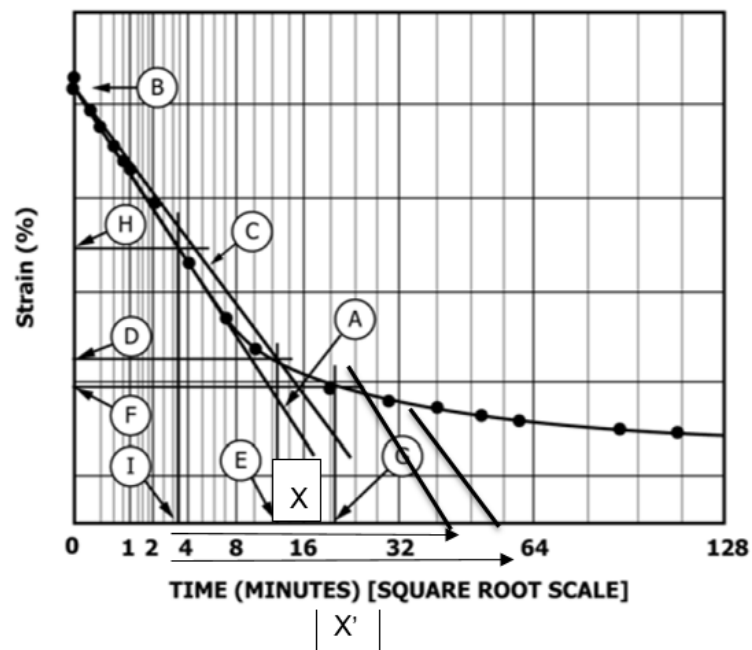
Dónde: t_v ($U=50\%$) es el factor de tiempo para un U del 50%, que en tablas se lo puede encontrar, dicho valor es de 0.197

$H = \frac{1}{2}$ de la altura inicial de la muestra (doblemente drenada)

t_{50} = Tiempo correspondiente al 50% de la consolidación

4.8.4 MÉTODO DE TAYLOR

Para el cálculo del coeficiente de consolidación (C_v) según Taylor, se debe tener en cuenta que, a diferencia de Casagrande, Taylor utiliza una gráfica que relaciona la deformación vs la raíz cuadrada del tiempo, utilizando los mismos datos que Casagrande (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019). La norma D2435 proporciona unos pasos para la realización de este método como se muestra en la gráfica 4



Gráfica 4 Método de Taylor. Obtenida de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019)

Se traza una recta (A), la cual debe pasar por los primeros puntos que representan las primeras lecturas del tiempo como se muestra en la gráfica # 4. Se extiende la recta (A) hasta que corte con el eje de las ordenadas, generando el punto (B) que representa el 0% de la consolidación. La intersección de la recta (A) en el eje de las abscisas da una distancia (X) medido desde el

origen. Se define una segunda recta (C), la cual tendrá origen desde el punto (B) y su intersección es el eje de las abscisas sea (X') la distancia es 1.5 veces la distancia (X) medida igualmente desde el origen.

La intersección de la recta (C) con la curva de datos es la deformación al 90% (D) y el t_{90} que corresponde al tiempo para llegar al 90% de la consolidación primaria (E). Una vez obtenida la lectura del punto (E) se deberá elevar al cuadrado, dado que el valor de t_{90} se encuentra en raíz del tiempo. Una vez obtenido la lectura del punto (E) la norma D2435 presenta la siguiente ecuación para el cálculo del coeficiente de consolidación:

$$Cv = \frac{Tv(U = 90\%) * H^2}{t_{90}}$$

Ecuación 26 *Calculo de cv por Taylor Obtenida de la norma.* (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019)

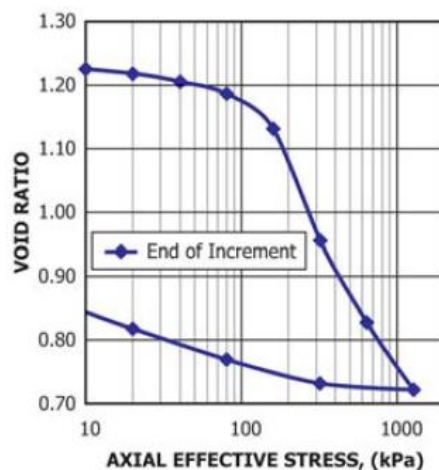
Dónde: t_v (U=90%) es el factor de tiempo para un U del 50%, que en tablas se lo puede encontrar, dicho valor es de 0.848

$H = \frac{1}{2}$ de la altura inicial de la muestra (doblemente drenada)

T_{90} = Tiempo correspondiente al 90% de la consolidación

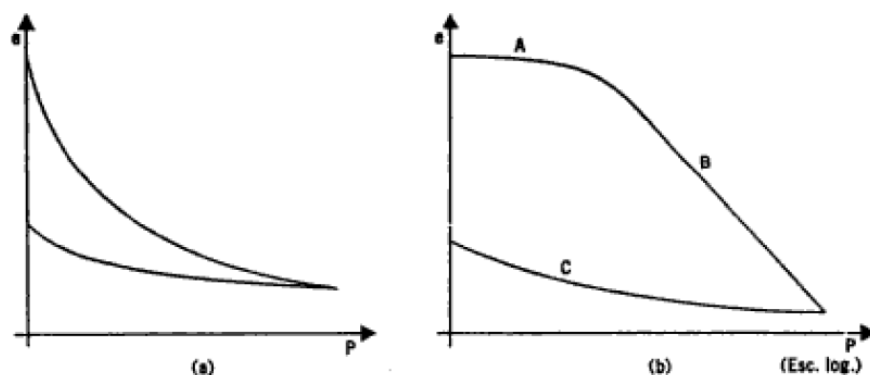
4.8.5 DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE COMPRESIBILIDAD

Como ya se ha explicado el fenómeno de consolidación, se resume de la siguiente manera, se trata de una reducción del volumen del estrato de suelo, que está siendo sometida a una carga. Dicha reducción se debe a la expulsión de agua que se encuentra en los poros del suelo, dando como resultado un asentamiento del estrato. Mediante el ensayo de consolidación permite el cálculo de la magnitud del asentamiento por medio de curvas de compresibilidad, las cuales son dibujadas gráficamente con las siguientes relaciones (e vs $\log \sigma'$; e vs σ' ; ε vs $\log \sigma'$), por lo general se suele representar en relación de vacíos en escala normal y el esfuerzo efectivo en escala logarítmica como se muestra en la gráfica # 5 (Poliotti & Sierra, 2011)



Gráfica 5 Curva de compresibilidad. Obtenido de (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019)

Para determinar la curva de compresibilidad de la muestra ensayada debe alcanzar la deformación máxima bajo un incremento de carga externo, la relación de vacíos que tenía al inicio será muy diferente a la que tiene al finalizar. Así para cada incremento de carga se tendrá una relación de vacíos final. Una vez terminado todos los estados de carga que se haya previsto para la muestra se tendrá valores suficientes para la construcción de la gráfica cuyas abscisas se colocan los valores de la presión actuante en escala logarítmica o normal, el eje de las ordenadas se colocará la relación de vacíos (e) en escala normal (aritmética) como se muestra en la gráfica # 6. Estas curvas son las de compresibilidad y se obtiene una por cada prueba de consolidación completa. (BADILLO, 2005)



Gráfica 6 la gráfica a representa a la escala aritmética y el b representa a la escala logarítmica. Obtenido de (BADILLO, 2005)

La curva de compresibilidad consta de tres partes; el primer tramo de una parte creciente llamada de re-compresión (A), el segundo tramo consta de una parte recta llamado tramo virgen (B), (este segundo tramo se presenta cuando se trabaja en escala logarítmica), el tercer tramo, el cual se genera al descargar las cargas obteniéndose una curva de recuperación de la muestra, llamado tramo de descarga (C).

El tramo (A), llamado tramo de re-compresión, es aquel que las presiones aplicadas a la muestra son menores o iguales a las presiones que tenía durante su vida pasada, por eso su representación suele ser un tramo curvo que comienza en forma casi horizontal. El tramo (B) llamado tramo virgen es donde la muestra de suelo experimenta presiones a las cuales nunca ha sido sometido, es por esta razón que su representación general es de un tramo recto y con él se llega a la final de la etapa del estado de carga. El tramo (C) conocido como tramo de descarga es donde se disminuye la carga hasta hacerla nula (INTERNATIONAL, ASTM D2435/D2435M – 11, 2019).

Para los cálculos de asentamiento se deberá tener en cuenta que varía dependiendo de la carga que se coloque, dependiendo si dicha carga es mayor o menor a la carga que el suelo ha sido sometido a lo largo de su historia geológica, para ello se tendrá presente tres conceptos:

- *Carga de preconsolidación*: es la máxima carga o presión efectiva que ha sido sometido un suelo a lo largo de su historia geológica
- *Suelo normalmente consolidado*: es aquel cuya carga o presión efectiva actual es igual a la carga de preconsolidación.
- *Suelo preconsolidado*: es aquel cuya carga o presión efectiva actual es menor que la carga de preconsolidación

La presión de consolidación (OCR) para un suelo se define:

$$OCR = \frac{\sigma' c}{\sigma'}$$

Donde:

$\sigma' c$ = Es la presión de preconsolidación de la muestra

$\sigma' =$ Es la presión efectiva presente

La determinación de la carga de preconsolidación, puede ser determinada a través del método de Casagrande. El método gráfico que se desarrolla en la curva de e (relación de vacíos) vs esfuerzo efectivo (escala logarítmica) obtenida a partir del ensayo de consolidación, se explica en el siguiente acápite.

4.8.6 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN C_c .

De la curva de compresibilidad puede ser determinada el coeficiente de compresibilidad que es definido como:

$$C_c = \frac{(e_1 - e_2)}{\log\left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1}\right)} = \frac{\Delta e}{\Delta \log P}$$

Ecuación 27 *coeficiente de consolidación obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)*

Skempton en el año de 1994 propuso una formula empírica la cual permite calcular el índice de compresibilidad para arcillas inalteradas:

$$C_c = 0.009(LL - 10)$$

Y para arcillas remodeladas:

$$C_c = 0.007(LL - 10)$$

Donde LL es el límite líquido (%). Skempton propuso estas ecuaciones empíricas a falta de datos en el ensayo de consolidación, estas ecuaciones son usadas para poder obtener un cálculo aproximado más no exacto del índice de compresibilidad, en 1980 Rendon-Herrero recopiló varias correlaciones más, las cuales se muestran la tabla #15 (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)

Ecuación	Región de aplicabilidad
$C_c = 0.01w_N$	Arcillas de Chicago
$C_c = 1.15(e_o - 0.27)$	Todas las arcillas
$C_c = 0.30(e_o - 0.27)$	Suelos cohesivos inorgánicos: limo, arcilla limosa, arcilla
$C_c = 0.0115w_N$	Suelos orgánicos: turbas, limo orgánico y arcilla
$C_c = 0.0046(LL - 9)$	Arcillas brasileñas
$C_c = 0.75(e_o - 0.5)$	Suelos con baja plasticidad
$C_c = 0.208e_o + 0.0083$	Arcillas de Chicago
$C_c = 0.156e_o + 0.0107$	Todas las arcillas

Tabla 15 ecuaciones de coeficiente de consolidación obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA, 2005)

Rendon Herrero al observar varias arcillas naturales presentó la relación para el índice de compresibilidad de la siguiente forma

$$C_c = 0.141G_s^{1.2} \left(\frac{1 + e_o}{G_s} \right)^{2.38}$$

Ecuación 28 determinación del cc por Rendón herreno. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)

Un estudio en el año 2004 realizado por Park y Koumoto expresaron el índice de compresibilidad de la siguiente forma

$$C_c = \frac{n_o}{371.747 - 4.275n_o}$$

Ecuación 29 determinación de cc por Park y Koumoto. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)

Donde n_o es la porosidad del suelo en situ.

4.8.7 CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA Y TERCIARIA

Como se ha explicado en los capítulos anteriores; el fenómeno de consolidación es un problema que se presenta en suelos finos saturados y para poder dar solución se utilizó el procedimiento proporcionado por Terzaghi, el cual considera que el suelo se deforma a medida que el esfuerzo progresa. El agua que se encuentra en sus poros es la responsable del

tiempo que se demora en comprimirse el estrato, haciéndolo un fenómeno exclusivamente hidrodinámico. Sin embargo, las predicciones realizadas con este método no siempre reflejan el hundimiento que puede presentarse en campo y laboratorio, en muchos casos se presentan asentamientos mayores y durante más tiempo, esto se debe al asentamiento secundario, que es el cambio de volumen debido a un reacomodo de las partículas internas en la masa de suelo. (Umaña Romero , 2008)

Como previamente se mencionó, al aplicar una carga a un suelo fino saturado, el esfuerzo provocado es inicialmente soportado por el poro de agua y a medida que transcurre el tiempo, el agua se drena hacia las partes permeables permitiendo disipar la presión de poro, y de esta manera provocando la transferencia de esfuerzos a la parte sólida. Durante este proceso, la reducción que sufre el estrato de suelo es igual al volumen de agua expulsada. La velocidad de deformación está en función de la velocidad de salida de agua conocido como la consolidación primaria, sin embargo, una vez que el exceso de presión de poros se ha disipado los esfuerzos continúa un proceso de deformación llamado consolidación secundaria. Tanto la consolidación primaria y secundaria, en muestras de laboratorio, suelen manifestarse dentro de 24 horas. Sin embargo, cuando los tiempos de ensayos son mayores pueden presentar formas no convencionales, fenómeno el cual no está enteramente descrito por las teorías tradicionales. (Umaña Romero , 2008)

Buisman y Gray en 1936 fueron los primeros en citar diferencias respecto a la teoría presentada por Terzaghi, mediante una serie de ensayos que se realizaron primeramente con Taylor en 1942, presentaron resultados de larga duración realizadas en Holanda, tanto en estructuras como en laboratorio, encontrando que a pesar de haber terminado la consolidación, el estrato de suelo realmente cuenta con pequeñas sobrepresiones intersticiales lo cual hace que se siga consolidando a una tasa de velocidad más baja y produciendo una velocidad de flujo del agua mucho más pequeño, dándolo como resultado una consolidación secundaria como se puede observar en la figura # 13, demostrando que el efecto de la consolidación secundaria no se están contemplando en el tratamiento teórico de aquella época. (Lambe & whitman, 2004)

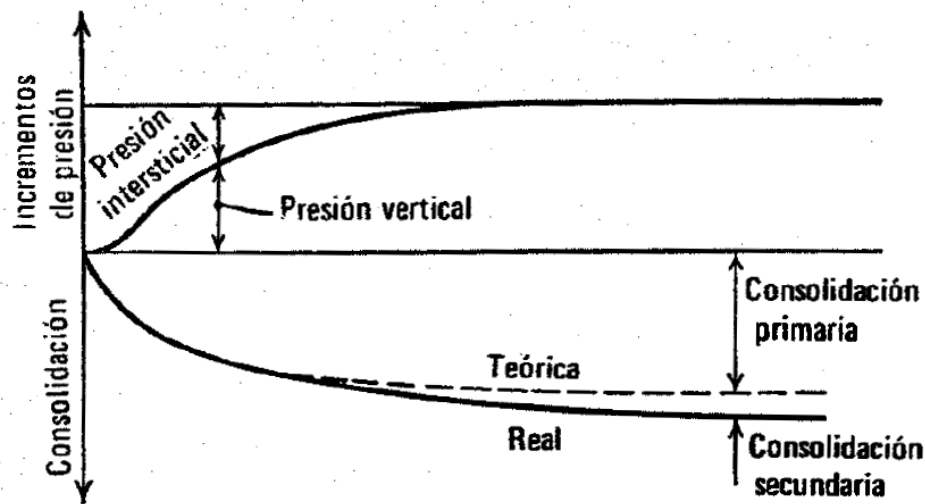


Fig. 27.14. Consolidación primaria y secundaria.

Figura 12 Consolidación primaria y secundaria. Obtenida de (Lambe & whitman, 2004)

Con la investigación presentada, Buisman creía que ambos efectos ocurren simultáneamente y que podría cambiar los parámetros producido por la consolidación secundaria después de un tiempo prolongado. El fenómeno de consolidación secundaria lo atribuyo a la deformación plástica del agua absorbida, acompañada del agua libre. Para el cálculo del asentamiento secundario se propuso la siguiente ecuación (Umaña Romero , 2008)

$$Z_t = \alpha_p + \alpha_s \log_{10} t$$

Ecuación 30 Interpretación para medir o interpretar los efectos secundarios. Obtenido de (Umaña Romero , 2008)

Donde:

Z_t = Hundimiento total en un tiempo t

α_p = Hundimiento por consolidación

α_s = Parámetros del efecto secundario

Con el pasar de los años la ecuación # 31 fue confirmado por Haefeli, Schaad y Koppejan en 1948, para pruebas de consolidación en laboratorio de 3 semanas de duración. Koppejan, al

observar los ensayos de laboratorio cambio lo planteado por Terzaghi y Buisman para llegar a una relación donde el asentamiento total de un suelo se encuentre conformado por asentamiento producido por la consolidación primaria, y el asentamiento producido por la consolidación secundaria como se muestra en la ecuación 32.

$$s = h_o \left(\frac{1}{c_p} + \frac{1}{c_s} \log_{10} t \right) \log_{10} \frac{p_o + \Delta p}{p_o}$$

Ecuación 31 *asentamiento total elaborado por Koppejan en 1948. Obtenido de (Umaña Romero , 2008)*

Donde:

$s =$	Asentamiento total
$h_o =$	Altura inicial de la muestra
c_p y $c_s =$	Parámetros de consolidación primaria y secundaria
$t =$	Tiempo
$p_o =$	Carga inicial y su incremento
$\Delta p =$	incremento de carga

A partir de las investigaciones presentadas por Buisman y Gray surgieron nuevas teorías con el fin de entender los asentamientos en un suelo fino saturado, atreves de la consolidación primaria y secundaria, y como estas dos consolidaciones podrían subsistir a través de un modelo matemático, haciendo que la teoría de consolidación de Terzaghi sea la base para un sin número de teorías.

Las investigaciones realizadas a lo largo del tiempo corroboraron que la consolidación secundaria varía dependiendo del tipo de suelo que se ensaye, ya que en suelos muy plásticos se puede observar que la duración de la consolidación secundaria, es mayor que para suelos normalmente plásticos haciendo que su asentamiento secundario sea notable, sin embargo este tipo de suelos no generan tanto problema en el asentamiento total del estrato de suelo, es decir; a pesar que se presente la consolidación secundaria, su asentamiento es

relativamente pequeño comparado con el asentamiento primario, el problema se presenta en suelos con contenido orgánico, donde presenta un asentamiento por consolidación secundaria mayor al asentamiento provocado por consolidación primaria, haciendo que el tiempo de consolidación de 24 horas que se utiliza en los ensayos se extienda a 3 semanas, 2 meses e incluso un año, provocando que la curva de consolidación sea muy distinta a la que comúnmente se emplea.

Como se mencionó en el capítulo 4.6 los suelos orgánicos son complejos, la mayor parte de su estructura está compuesta por elementos de origen biológico como son los restos de vegetación o animal y en estado de descomposición. Estos suelos presentan problemas al momento de cimentar estructuras, dado que sus asentamientos son altos, su resistencias bajas y compresibilidades altas. Con el objetivo de mostrar la importancia de la consolidación secundaria en este tipo de suelos varios autores aportaron al entendimiento de los suelos orgánicos y realizaron pruebas de consolidación a largo plazo en laboratorio, en el año 1980 Dhowian y Edil, realizaron investigaciones en turbas, obtuvieron dos muestras de Middleton y Portage cuyos contenidos de humedad fueron de 550% y 600%, la muestra de Middleton fue sometida a una carga por 15 días y la de Portage por 4 días, los resultados se presentan en la figura # 14

Como se puede observar en la figura # 14 los resultados presentan muestran que la consolidación secundaria es mayor a la consolidación primaria en las dos pruebas.

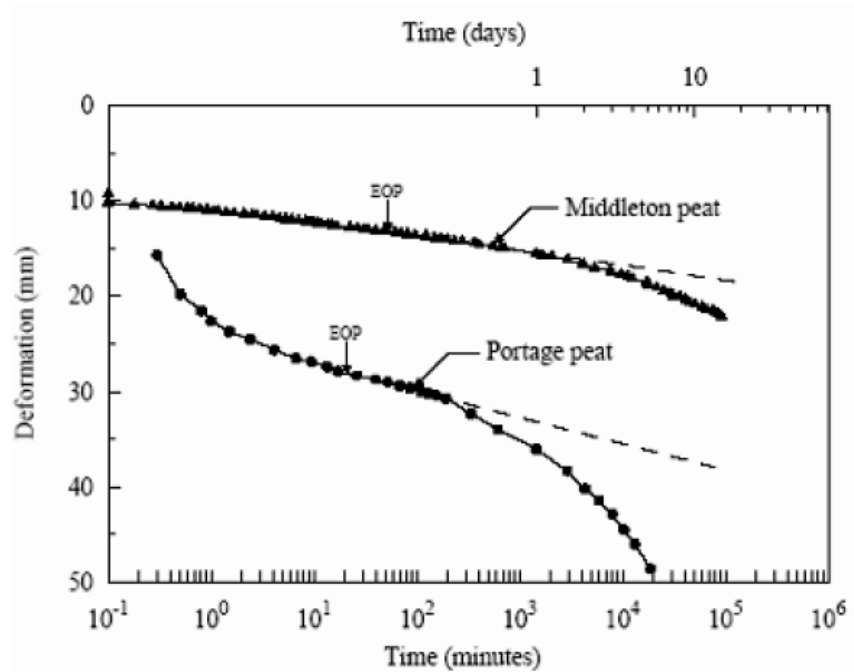


Figura 13 Curvas de consolidación en turbas por Dhowian y Eduk 1980. Obtenido de (Umaña Romero , 2008)

En 1992 Feda presentó otra investigación en una consolidación a largo plazo registrando la deformación por un periodo de 4 años, la curva de consolidación realizada por Feda se muestra en la figura # 15, se puede observar claramente que la deformación por consolidación secundaria es mucho mayor a la deformación por consolidación primaria. La gráfica cuenta con tres tramos, el primer tramo siendo la parte de la concavidad hacia abajo, el segundo presentando un tramo recto y el tercero presentando una concavidad hacia arriba.

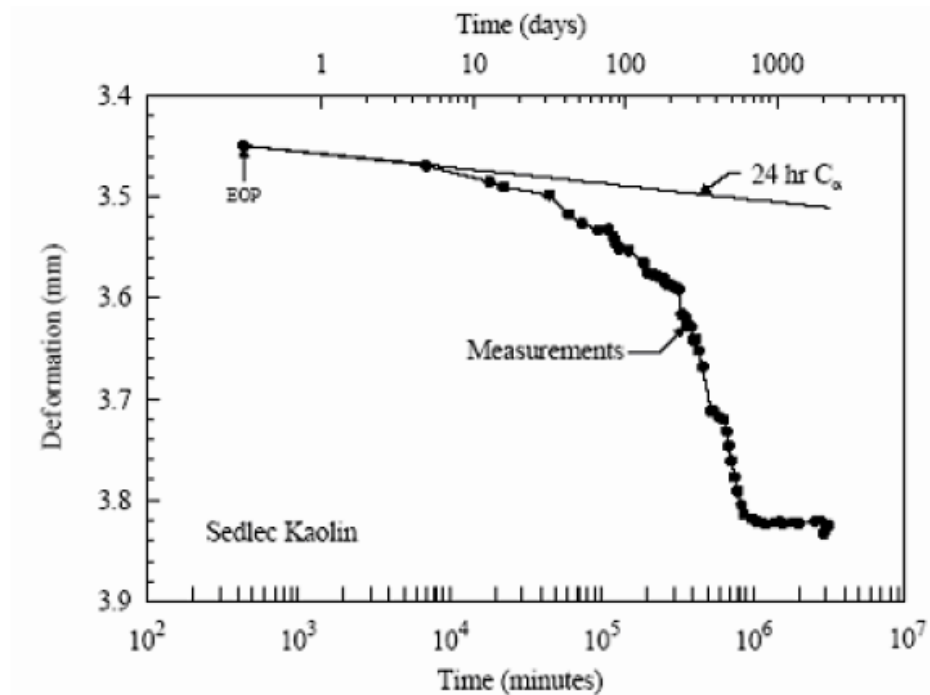


Figura 14 curva de consolidación presentada por Feda en 1992. Obtenido de (Umaña Romero , 2008)

Con los ensayos de largo plazo presentados anteriormente, se puede observar que un suelo orgánico presenta asentamientos secundarios que se debe tener en cuenta al momento de realizar los ensayos de consolidación. Sin embargo, suelos cuyo contenido orgánico sea muy alto y caiga en la definición de turba pueden presentar hasta una consolidación terciaria. En dichos suelos conocidos como turbas, cuando la tasa de consolidación secundaria llega a un punto donde desaparece por tiempos largos, es decir parece que la consolidación ha culminado. Luego de este periodo aparece un aumento lineal en la deformación de la turba haciendo que la tasa de tiempo de compresión aumente sustancialmente dando lugar a un componente de deformación determinado consolidación terciaria, en la figura # 16. (Dhowian & Edil, 1980)

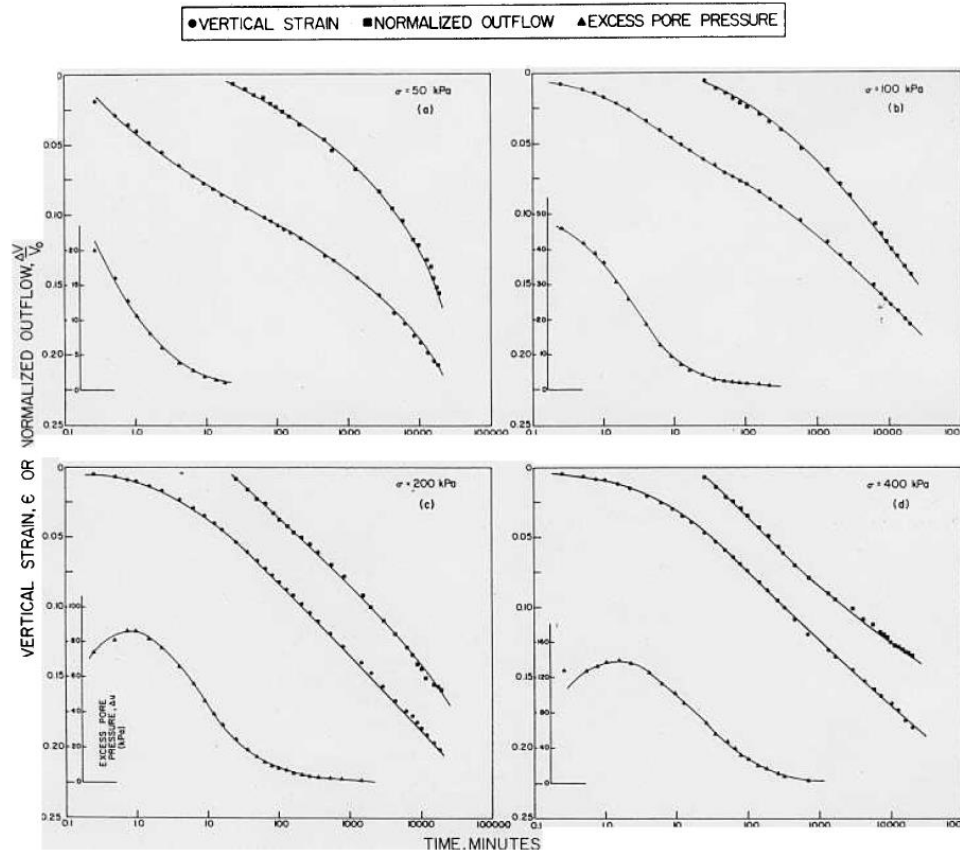


Figura 15 consolidación es muestras de turbas de Portage. Obtenido de (Dhowian & Edil, 1980)

Los ensayos presentados en la figura # 16 fueron aplicados una carga de 200 a 400 kpa en un periodo de un año, durante ese periodo se observó que la consolidación terciaria se fusiona con la consolidación secundaria prolongado el tiempo de consolidación y provocando que se presente una tercera curvatura. (Dhowian & Edil, 1980). Para el cálculo del asentamiento por consolidación secundaria se debe tomar el tramo de la curva donde se presenta el ajuste plástico del suelo, la gráfica de la deformación en función del logaritmo de tiempo es prácticamente lineal, como se muestra en la figura # 17. (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015, pág. 201)

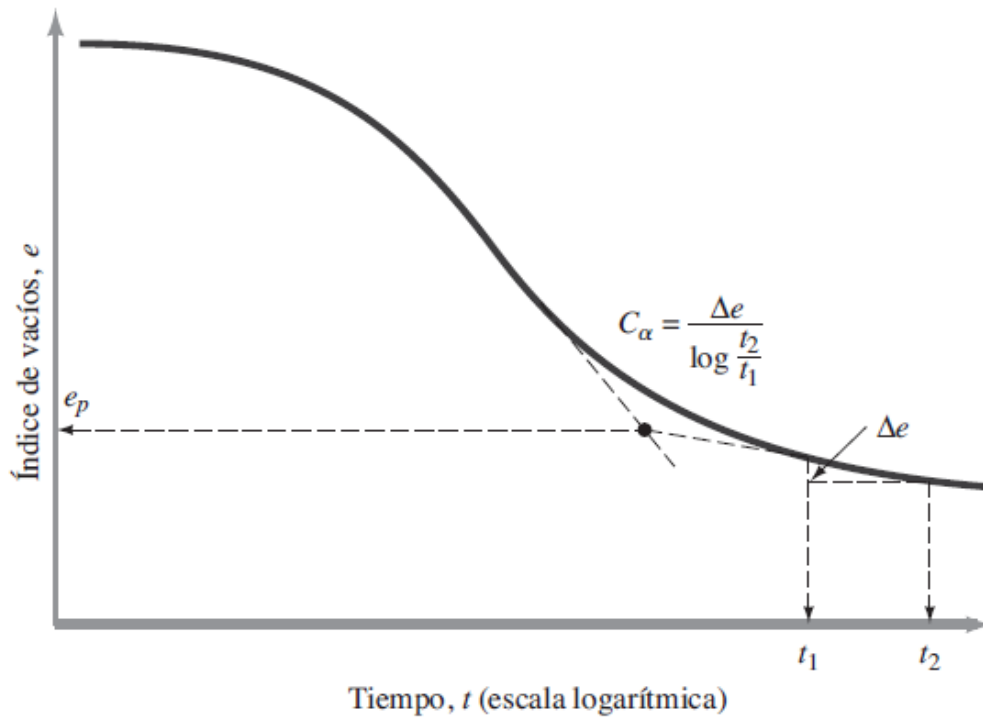


Figura 16 Variación de e con log t bajo un incremento de carga dado y la definición de compresión secundaria. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)

El índice de compresión secundaria se define como se muestra en la figura # 17 como:

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\log t_2 - \log t_1} = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}$$

Ecuación 32 Índice de compresión secundaria. Obtenido de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)

Donde:

C_α = índice de compresión secundaria

Δe = cambio de relación de vacíos

t_1, t_2 = tiempo

CAPÍTULO V: METODOLOGÍA

5.1 INTRODUCCIÓN

Una vez presentada la teoría sobre la cual se sustenta la investigación, a continuación, se detalla la metodología llevada a cabo para la realización de la presente investigación. La campaña de investigación en campo se conformó de los siguientes sondeos:

- **Primera intervención en campo:** El 15 de julio del 2019 se realizó la perforación continua (PC001), el 16 de julio del 2019 se llevó a cabo los ensayos de penetración estándar SPT en el sondeo (PSPT001) y el 17 de julio del 2019 la toma de muestras inalteradas a través de tubos Shelby (PSHEL 001). En las tres perforaciones realizadas se alcanzó la profundidad de 30 metros. Una vez obtenidas las muestras alteradas e inalteradas en los sondeos PSPT001 y PSHEL 001, en laboratorio se realizaron los siguientes ensayos; granulometría, hidrometría, sistema de clasificación y consolidación. Todos los ensayos fueron realizados según las normas presentadas en el capítulo 3.
- **Segunda intervención en campo:** El 10 de enero del 2020 se realizó la toma de muestras con tubo Shelby a profundidades según información obtenida en la perforación continua. En la perforación realizada se alcanzó una profundidad de 19 metros.

Las perforaciones mencionadas fueron realizadas mediante las normas vigentes y detalladas en el capítulo 3. Una vez obtenidas las muestras se procedió a los ensayos de laboratorio: granulometría, hidrometrías, sistema de clasificación de suelos, contenido orgánico, determinación de la gravedad específica, relaciones fundamentales y consolidaciones. Cada ensayo fue realizado mediante las normas vigentes como se indica en el capítulo 4.

Los trabajos de campo y ensayos de laboratorio fueron realizados con las medidas de seguridad y protección correspondientes; el terreno fue preparado y señalizado con el fin de evitar daños y molestias en el lugar de perforación.

Se debe mantener limpieza y orden en el lugar de trabajo, con normas de seguridad de diversas maniobras, se trabaja con equipos de protección individual y además se debe efectuar control en el estado del equipo (Herrera, 2012). Por lo que los ensayos fueron realizados con las medidas de seguridad y protección correspondientes; el terreno fue

preparado y señalizado con el fin de evitar daños y molestias en el lugar de perforación y actuación.

5.2 PRIMERA INTERVENCIÓN DE CAMPO

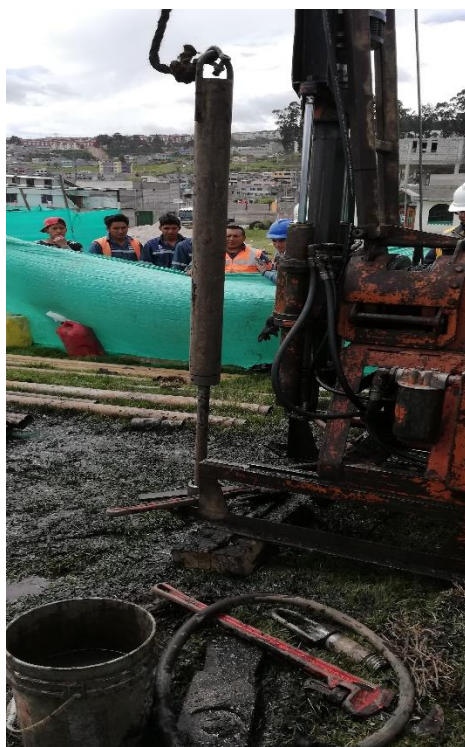
Se preparó el terreno con el fin de evitar molestias y daños al entorno en el cual se iba a trabajar, previamente la comunidad había otorgado el permiso para que se trabaje en la zona, además, se hizo previa visita al lugar para identificar las rutas de acceso de los equipos, se procedió con la implementación del equipo de trabajo el cual se lo hizo cerrado, así se podría mitigar los incidentes con los pobladores ya que el lugar de trabajo está ubicado a un costado de la cancha de este barrio conocido como El Garrochal. Como se muestra en la ilustración gráfica



Fotografía 1 Sitio de perforación el Garrochal. Maquina Acker ACE

La perforación continua tiene como objetivo poder observar los 30 metros de una manera más clara y continua, con el fin de ayudar a ver como se encuentra constituido el pozo y tener una idea de lo que se pueda presentar a futuro. Se lo realizó mediante la maquina ACKER, se utilizó rotación con lavado, tubería HQ hasta los 12 metros sin revestimiento, tubería hwt con revestimiento hasta los 21 metros. Para la obtención de las muestras prácticamente no se utilizó agua y la rotación fue casi nula debido a que se trata de suelos blandos y en los tramos un poco más difíciles se utilizó hincado leve.

El ensayo del SPT, se lo realizo con la ayuda de la maquina ACKER, la cual cuenta con un martillo tipo Safety (con cabeza de golpe interna) de un peso de alrededor de 63.5 kg y con una caída de 76.2 cm aproximadamente.



Fotografía 2 Ensayo de spt.

El número de golpes que se reportó durante el ensayo va desde 4 hasta más de 50 golpes, las muestras obtenidas fueron analizadas mediante el ensayo manual visual, previamente puestas en fundas y selladas con cinta para evitar la pérdida de humedad.



Fotografía 3 Muestra obtenido por el ensayo del spt.

Para la obtención de muestras inalteradas se empleó tubos Shelby de 7.5cm (3 pulgadas) de diámetro con espesor de 1.5 mm y 1 m de longitud, la maquina empleada fue la ACKER.



Fotografía 4 Tubo Shelby de pared delgada

Debido a que el suelo contaba con un alto contenido de humedad, las extracciones de algunas muestras se obtuvieron con un bajo porcentaje de recuperación. A partir del metro 8 se presentaron problemas debido al alto contenido de agua, el cual provoco que la muestra no se mantuviera dentro del tubo Shelby y se perdiera al momento de su estación. Debido a esto

se tomó la decisión de extraer los metros siguientes por medio del barril en seco, con lo cual se extrae la muestra dentro del tubo de perforación y mediante presión de agua se extrae la muestra, una vez extraída la muestra se le procedió a colocar parafina en toda la muestra.



Fotografía 5 Muestra obtenida por barril seco

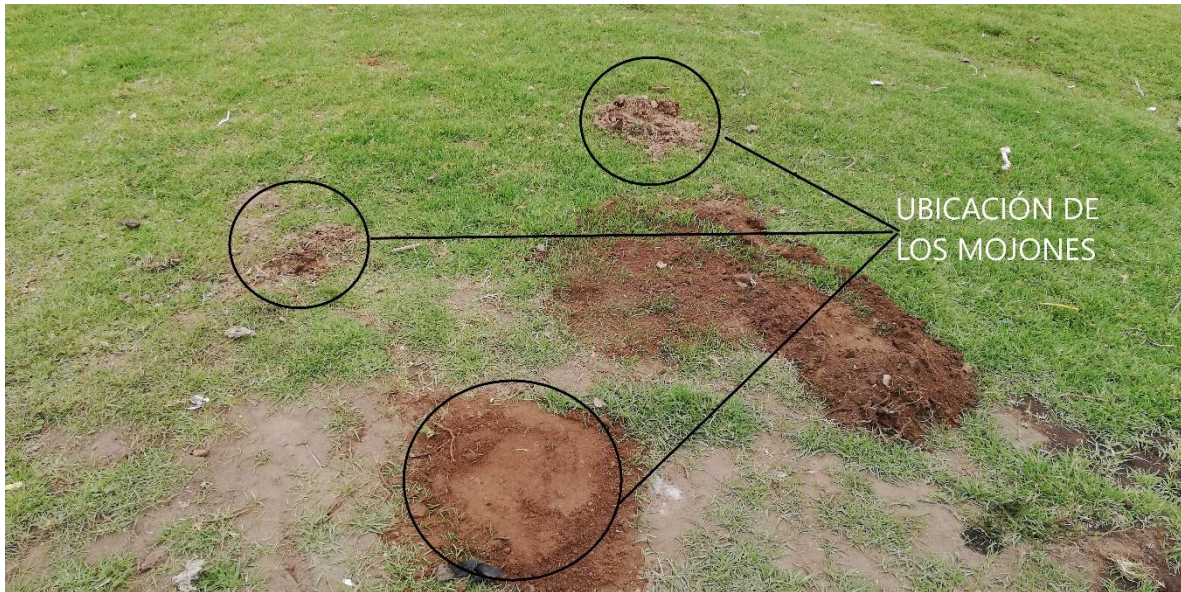


Fotografía 6 Muestra parafinada

Al finalizar los sondeos se dejó el lugar en condiciones seguras y en correcta restauración del lugar de trabajo y retirando cualquier residuo, en las bocas se procedió a hincar un mojón de hormigón enrasado el cual las protege como tapón. El anexo fotográfico muestra el trabajo realizado en campo.



Fotografía 7 Mojón colocado en sitio de perforación



Fotografía 8 Ubicación de las tres perforaciones del pozo 004

5.3 SEGUNDA INTERVENCIÓN DE CAMPO

Por inconvenientes presentados en los resultados de consolidación, se decidió realizar una nueva perforación, para obtener muestras inalteradas por tubo shelby, este sondeo se lo denomino PSHEL 002. Se realizó la toma de muestras inalteradas de tubo Shelby con pared delgada utilizando el tubo de diámetro de 7.60 cm, espesor 1.8 mm y 1 m de longitud, para la perforación se utilizó equipo de perforación ACKER de la marca ACKFF.



Fotografía 9 Maquina de perforación Aker

Se obtuvieron los siguientes porcentajes de recuperación.

	Longitud recuperada. (m)	% de recuperación
2-2.60	0,40	66,67
3-3.60	0,05	8,33
3.80-4.50	0,54	90,00
5-5.60	0,51	85,00
6-5.60	0,52	86,67
7-7.60	0,45	75,00
8-8.60	0,50	83,33
9-9.60	0,56	93,33
10-10.60	0,57	95,00
11-11.60	0,00	0,00
12-12.60	0,54	90,00
13-13.60	0,50	83,33
14-14.60	0,53	88,33
15-15.60	0,52	86,67
18-18.60	0,50	83,33
19-19.60	0,53	88,33

Tabla 16 % de recuperación

Esta perforación se la realizo a 2460 m.s.n.m. (dato tomado con GPS, por lo que implica +/- 5 metros de precisión) a una distancia de 10 metros de donde se realizó la primera campaña

de perforación. En campo se controló la presión y se mantuvo velocidad constante en la perforación, además realizaron las siguientes observaciones:

PROFUNDIDAD	PRESIÓN	OBSERVACIONES
2.00-2.60	110	
3.00-3.60	0.2	poca muestra
3.80-4.60	0.1	presencia de agua
5.00-5.60	200	presencia de agua
6.00-6.60	70	presencia de agua
7.00-7.60	40	presencia de agua
8.00-8.60	0	presencia de agua (bastante)
9.00-9.60	10	material más conciso
10.00-10.60	0	poca agua
11.00-11.60	0	no hubo muestra
12.00-12.60	200	Agua material muy blando
13.00-13.60	0	ceniza, presencia de agua
14.00-14.60	200	
15.00-15.60	200	solo se obtuvo 30 cm de muestra
18.00-18.60	60	
19.00-19.60	200	

Tabla 17 observación

Se observó presencia de agua desde el metro 3.80, la perforación fue normal hasta el metro 15, después se utilizó perforación con agua debido a las condiciones del suelo.

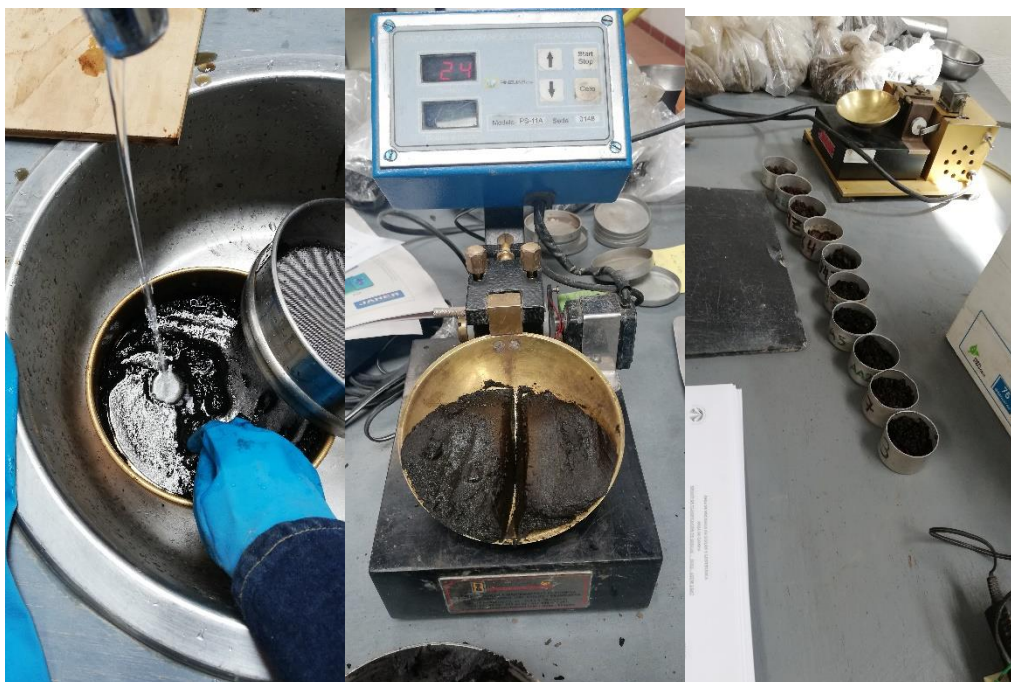
Al finalizar la perforación el sitio de trabajo fue reestablecido y se colocó una tapa de madera en la cabeza de perforación el lugar fue adecuadamente limpiado y señalado.



Fotografía 10 Colocación del mojón de madera segunda campaña.

5.4 METODOLOGÍA DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio correspondientes a las primeras perforaciones se los realizo el 20 de julio del 2019, se empezó con los ensayos de granulometría y clasificación de suelos (SUCS), dichos ensayos fueron tomadas de la perforación del SPT (PSPT001).



Fotografía 11 Ensayos para la clasificación sus

El material presenta una gran parte de finos por lo cual se realizó hidrometrías de cuatro profundidades (2m, 7m, 9m, 15m), Los ensayos de consolidación fueron realizadas de cuatro profundidades (1m, 3m, 6m y 8m) de las muestras obtenidas por tubo shelby (PSHEL 001). Se realizó un ensayo de contenido orgánico del mismo lote a la profundidad 6 m.

Finalizado los primeros ensayos de consolidación, los gráficos obtenidos de los consolidómetro presentaban una curva incompleta, es decir el material seguía deformándose una vez finalizado el ensayo a las 24 horas, además se obtuvo un valor de 88% de materia orgánica en el metro 6, con lo cual se trataba de un suelo altamente orgánico considerado como turba. Debido a esta condición, no prevista en la investigación, se debió modificar el programa de investigación. Al estudiar este tipo de suelos altamente orgánicos, su comportamiento y tiempos de consolidación cambio todo lo planteado hasta ese momento, siendo la consolidación secundaria una de las partes más importante de la investigación según lo señalado en el capítulo 4.8.6

Como se mencionó las curvas no alcanzaron el 100% de la consolidación por lo cual se realizó una segunda perforación el 10 de enero del 2020 para obtener nuevas muestras

inalteradas mediante tubos shelby (PSHEL 002). Una vez obtenidas las muestras de 45cm de recuperación, se realizaron los ensayos pertinentes para su análisis. Los ensayos de consolidación se realizaron en equipos manuales con el propósito de ajustar el método para el ensayo. Uno de los procedimientos que se modificó fue la frecuencia de toma de datos. En los primeros 30 minutos fueron registradas deformaciones cada dos minutos, para luego registrar cada 30 minutos hasta cumplir las 4 horas de ensayo. A partir de la cuarta hora hasta completar las 8 horas se registró cada hora. Luego de las ocho horas, se registró la deformación a las 24 horas. A partir de las 24 horas se realizó la toma de datos cada cuatro horas, hasta poder observar un pequeño cambio de pendiente donde se daba por terminado el ensayo. Al realizar la toma de puntos de esta manera, aparecen zonas muy interesantes para el análisis, las cuales no se presentaban en los consolidómetros automáticos por el hecho de tomar valores según la norma. Por lo que. A continuación, se analizará los resultados obtenidos de cada uno de las perforaciones y ensayos realizados, a medida que se hacia la investigación y se obtenía los resultados.

CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y ANALISIS DE LOS ENSAYOS EN LABORATORIO

En este capítulo se presenta y analiza los resultados obtenidos en las prospecciones de campo, ensayos de campo – laboratorio, que se realizaron en el sector de investigación y en las muestras obtenidas respectivamente, según el plan y metodología planteada.

6.1 PERFORACIÓN CONTINUA

La perforación continua permitió la obtención de muestras correspondiente a toda la profundidad de prospección. El perfil completo posibilitó la identificación y clasificación de cada uno de los estratos que lo componen. Esta caracterización y clasificación abarcó el ámbito geológico y de la mecánica de suelos. A partir del conocimiento a detalle de sus componentes y estratificación facilitó la elección de los estratos, en los cuales se obtendrían las muestras para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

La perforación continua no es un método frecuente en investigación geotécnica sobre suelo, debido a la dificultad en la obtención de adecuados porcentajes de recuperación. Sin embargo, frente a la complejidad y cantidad de los componentes del perfil, difícil de detectar

por los tradicionales métodos, se utilizó la práctica recomendada por la ASTM D2113-14 (Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Exploration). El resultado del procedimiento empleado se detalla a continuación junto con el ensayo manual visual.

En los dos primeros metros se encontró material conformado por raíces, trozos de ladrillos y fundas lo que representa material de relleno. Desde el metro 3 hasta el metro 10 el suelo se encuentra entre húmedo y muy húmedo, se empieza a percibir un olor putrefacto de las muestras y en ciertos tramos hay presencia de raíces por lo que es registrado como suelos con presencia de orgánicos. Entre los metros 8, 9 y 10 se encontró ceniza volcánica, (la cantidad de partículas finas se presentan hasta el metro 10 y de partículas de arena en los primeros 2 metros, lo que con lleva a que se trata de un material con alto porcentaje de partículas finas con presencia de materia orgánica. La consistencia de la materia a lo largo de los primeros 10 metros de la perforación se lo clasifica entre blanda y muy blanda, exceptuando los primeros 2 metros de relleno.

Desde el metro 11 hasta el metro 20 se mantiene el suelo entre húmedo y muy húmedo. Del metro 12 hasta el metro 15 se encontró ciertos tramos con presencia de ceniza volcánica donde la mayor cantidad de este material se ubica a partir del metro 13.2 hasta el metro 14.0 y del metro 14.2 hasta el metro 15.0. La consistencia se mantiene entre blando y muy blando excepto entre los metros 15, 16 y 17 donde presenta una consistencia entre blando y firme. Del metro 11 al 13 se obtuvo un limo puro, a partir del metro 13 se empieza a encontrar presencia de partículas finas y arena hasta el metro 20. Entre el metro 14, 15 y 16 es donde se encontró mayor cantidad de arena y partículas finas, se puede decir que en este estrato de 10 metros presenta transiciones de material los cuales se estudian con detalle por medio de los ensayos de laboratorio.

Desde el metro 21 hasta el metro 30 el suelo se encuentra húmedo. Se observó que la consistencia del suelo pasa a ser firme, exceptuando los metros 24,25,26 y 27 donde se presentó una consistencia de blando y muy blando, además de un incremento de partículas finas y arena con ciertas partículas de arena de grano mediano. Se encontró presencia de gravas a partir del metro 27 hasta el metro 30.

6.2 ENSAYO DE SPT

Mediante el ensayo del spt practicado a cada metro de profundidad, en el pozo PSPT 001 se obtuvo; muestras alteradas, y la medida de la compacidad o estimación de la consistencia de la zona de ensayo. Las muestras alteradas, de la cuchara partida, fueron sometidas a ensayos de clasificación manual visual en campo y clasificación en laboratorio. Los resultados de los ensayos de clasificación se presentan en los próximos capítulos, A continuación, se detalla los resultados del valor del N spt. y clasificación manual visual.

6.2.1 OBSERVACIÓN EN CAMPO

Del metro 1 hasta metro 10, se obtuvo valores bajos de N spt que van desde 2 a 6, según el cual se clasifica el sector de ensayo como de consistencia blanda. De las muestras obtenidas en la cuchara partida se verificó material con tenacidad baja, plasticidad alta y de igual manera que en la perforación continua, presenta un suelo entre húmedo y muy húmedo. Se percibe un olor a putrefacción en la muestras y presencia de raíces en los primeros 3 metros. El color del material es de color café negro

Del metro 11 hasta el metro 20, se obtuvo número de golpes muy dispersos, es decir del metro 11 al metro 14 el número de golpes va desde 2 hasta 7, del metro 15 al metro 17 el número de golpes se incrementa de 16 hasta 51, y del metro 18 al metro 20 vuelve a bajar dando un número de golpes de 1 hasta 4. Según la clasificación manual visual, presenta un suelo húmedo, la consistencia blanda se mantiene desde el metro 11 hasta el metro 14, del metro 15 hasta el 17 su consistencia es firme y del metro 18 al metro 20 vuelve a ser blanda. La tenacidad se mantiene baja hasta el metro 15.25, del metro 15.25 al metro 17, la tenacidad es alta y del metro 18 al 20 l vuelve a ser baja. La plasticidad se mantiene alta del metro 11 al metro 20, excepto en los metros 15.25 a 17 donde es nula. Del metro 12 al metro 15 se encontró capas de ceniza; en el metro 12.35 a 12.45 un estrato de 5cm , en el metro 14.35 a 14.45 se presenta otro estrato de 5 cm y del metro 15 a 15.25 se presenta ceniza mezclado con material fino. Se presentan estratos pequeños de arena con una compacidad moderada, dichos estratos de arena eran de aproximadamente 15 cm, con grano de arena fino y en el metro 15 con grano de arena grueso. Los metros 16 y 17 se encuentran partículas de arena

mezcladas con partículas finas describiéndolas como un limo arenoso. El olor empieza a disminuir a partir del metro 12 sin embargo, en gran parte de las muestras se encontró material orgánico vegetal, es decir pedazos de raíces y maderas. El color se mantiene en café oscuro, excepto en los maestros 16 y 17 donde se reportó un color gris verdoso.

Del metro 21 hasta el metro 30 el número de golpes también es variado. Del metro 21 al metro 25 se reporta un número de golpes de 0 a 3. Del metro 26 al metro 30 se reporta un incremento en el número de golpes de 10 hasta 100, dando como rechazo según la norma empleada para el ensayo del spt. De igual manera que los anteriores 10 metros, según la clasificación manual visual presenta un suelo húmedo, del metro 21 al metro 25 su consistencia se mantiene blanda, del metro 26 al metro 30 cambia entre dura y muy dura. La tenacidad se mantiene baja desde el metro 21 hasta el metro 26, del metro 27 al metro 28 la tenacidad es moderada y del metro 29 al metro 30 su tenacidad es alta. La plasticidad se mantiene alta hasta el metro 27, del metro 28 su plasticidad es nula y del metro 29 al metro 30 la plasticidad es nula. Entre el metro 26 al metro 27 se vuelve a encontrar estratos pequeños de arena cementada, con partículas de arena medianas y grandes. Del metro 28 al metro 30 las partículas de arena se mezclan con las finas denotando como un limo arenoso, al igual que los 10 metros anteriores, el material no tiene ningún olor y a diferencia de los 10 metros anteriores no se reportó ningún material orgánico vegetal.

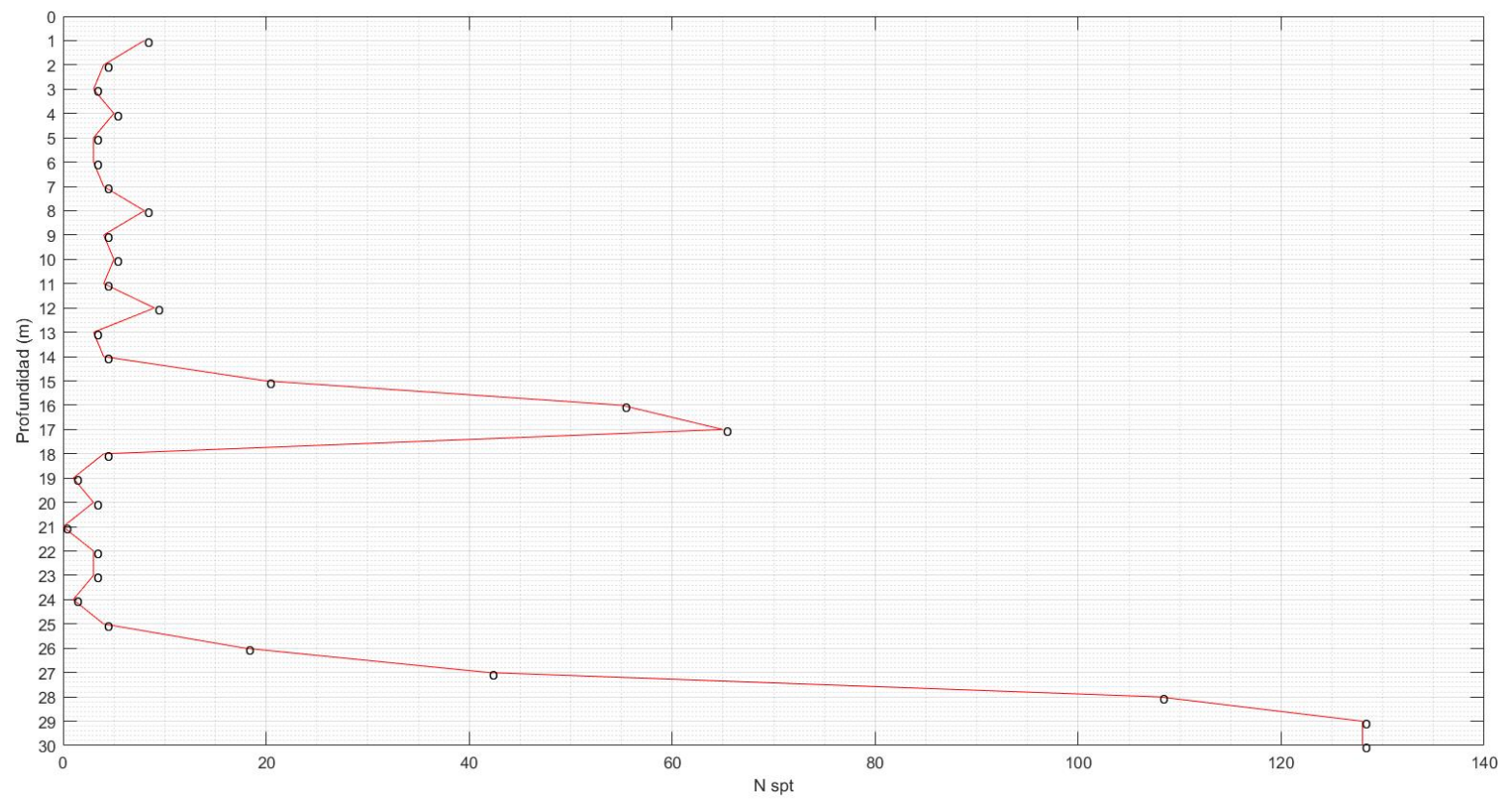
6.2.2 INVESTIGACIÓN EN OFICINA

Obtenido el número de golpes se procede a corregir por energía, para ello se utilizará un factor de corrección de energía (CE) de 1.28 que corresponde a un N_{77} (Ocoña, 2019), esta corrección por energía fue realizada en el 2019 por Doménica Ocaña para la máquina de perforación Acker y un martillo Safety de la Universidad Católica del Ecuador, el mismo que se utilizó para la presente investigación. En la tabla # 18 se presenta el N_{77} corregido y el porcentaje de recuperación de las muestras obtenidas por medio de la cuchara partida, de igual manera se graficó profundidad vs N_{77} spt para la visualización de la resistencia del suelo como se muestra en la gráfica # 7.

PSPT 001							
PROFUNDIDAD	NÚMERO DE GOLPES			NSPT	N CORREGIDO (77)	RECUPERCIÓN [cm]	RECUPERACIÓN [%]
1	2	3	3	6	8	25	56
2	1	1	2	3	4	40	89
3	1	1	1	2	3	35	78
4	1	2	2	4	5	40	89
5	0	1	1	2	3	45	100
6	1	1	1	2	3	45	100
7	2	1	2	3	4	45	100
8	1	1	5	6	8	45	100
9	2	2	1	3	4	45	100
10	1	2	2	4	5	40	89
11	1	1	2	3	4	35	78
12	5	5	2	7	9	40	89
13	1	1	1	2	3	45	100
14	2	2	1	3	4	45	100
15	2	9	7	16	20	45	100
16	10	13	30	43	55	35	78
17	13	24	27	51	65	40	89
18	1	1	2	3	4	45	100
19	2	0	1	1	1	45	100
20	2	1	1	2	3	45	100

21	2	0	0	0	0	45	100
22	0	1	1	2	3	40	89
23	1	1	1	2	3	40	89
24	1	0	1	1	1	45	100
25	1	2	1	3	4	45	100
26	2	4	10	14	18	40	89
27	14	15	18	33	42	40	89
28	26	34	50	84	108	30	67
29	50	50	50	100	128	10	22
30	50	50	50	100	128	25	56

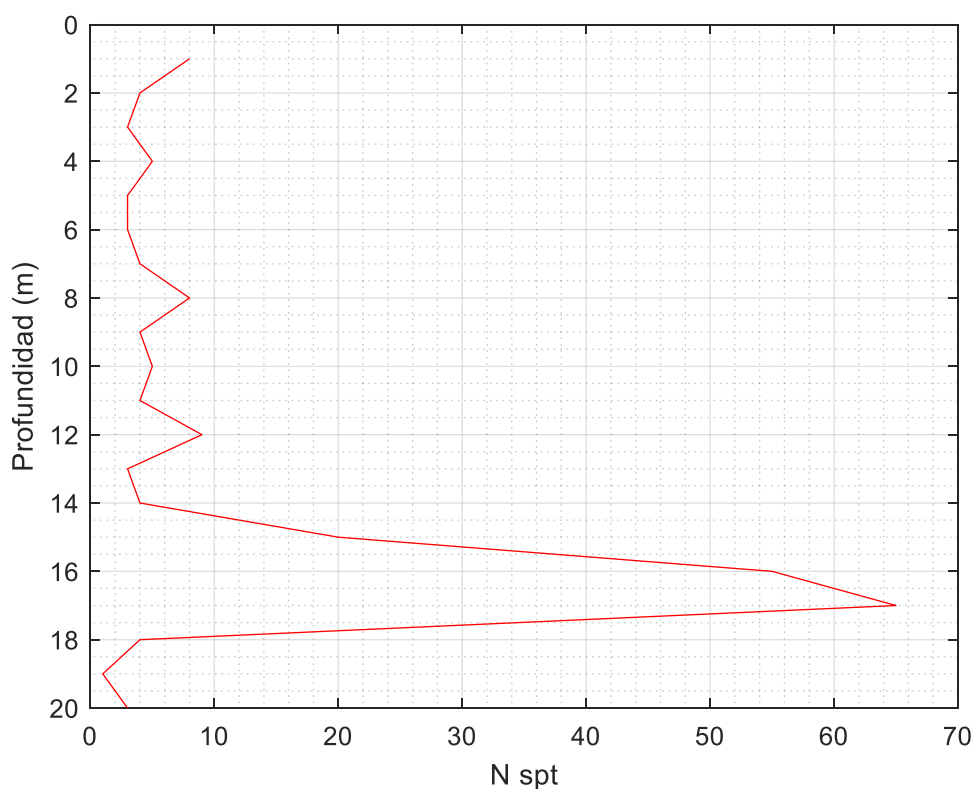
Tabla 18 Ensayo del SPT (PSPT 001)



Gráfica 7 Profundidad vs N_{77} spt

En la gráfica # 7 se observa que el perfil competo, consta de dos estratos resistentes ubicados del 15-17 metros y 26-30 metros, donde se registraron el mayor número de golpes. En los metros 15,16 y 17 se observa un incremento en el número de golpes que se encuentran entre 20, 55 y 65. Como se mencionó en el capítulo 3.3 cuando el ensayo presenta un número de golpes mayor a 50, la norma ASTM D1586 lo considera como rechazo. Los últimos tres metros de prospección, presentó un número de golpes calificados como rechazo.

Para un mayor análisis de los primeros metros en la gráfica # 8 se muestra solo hasta el metro 20.



Gráfica 8 Profundidad vs N₇₇ spt

Se observa incrementos en el número de golpes de los metros 4,8 y 12. En los metros 16 y 17 según el levantamiento geológico realizado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, indica que se encuentra una arcilla limosa y una arena gruesa con un alto grado de consolidación de origen fluvio lacustre. Además, identifican que el suelo tiene

una brecha endurecida dando un número de golpes del SPT obtenido es alto. De la misma manera del metro 25-27 el perfil geológico presentado en el registro de perforaciones de la Microzonificación Sísmica del Distrito Metropolitano de Quito, indica que se trata de una arcilla limosa con una consistencia alta dando una caracterización como cangagua. Del metro 28-30 se encuentra una mayor presencia de arena, la cual está mezclada con grava siendo muy poco plástico, lo cual explica el número de golpes los cuales dan como rechazo en dichas profundidades.

Mediante el número de golpes obtenidos por el ensayo SPT, se puede calificar la compacidad del depósito como muy suelto, suelto, medio, rígido, muy rígido y duro, para suelos de grano grueso (Arenas), y para suelos de grano fino (Limos y Arcillas) se clasifica la consistencia en: muy suave, suave, medio suave, densa y muy densa. (INTERNATIONAL, ASTM D1586M-18, 2019). Se observa que los 10 primeros metros del pozo obtenemos número de golpes entre 7-2 golpes, por lo cual se trata de un suelo suave a medio suave. Del metro 10 al metro 20 tenemos una variación del número de golpes drástica ya que se obtuvo golpes desde 4 hasta 65 golpes, por lo cual, del metro 11 al metro 14 presenta un suelo suave a medio suave, del metro 15 al metro 17 presenta un suelo medio suelto a muy denso siendo estos los metros que presentan mayor número de golpes. Del metro 21 al metro 30 presenta lo mismo que el anterior tramo analizado con golpes que van desde 0 a 120 golpes, del metro 21 al metro 25 presenta un suelo suave y del metro 26 al metro 27 presenta un suelo rígido a muy rígido, siendo estos metros los cuales se presentan con un mayor número de golpes. Se utilizó la ilustración # 11 y 12 para definir su consistencia

Consistency	q_u in tons/ ft ²					
	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Very Stiff	Hard
N	< 2	2–4	4–8	8–15	15–30	> 30
q_u	< 0.25	0.25–0.50	0.50–1.00	1.00–2.00	2.00–4.00	> 4.00

Ilustración 11: Densidad relativa para suelos finos según el SPT. Fuente: (INTERNATIONAL, ASTM D1586M-18, 2019)

Relative Density of Sands according to Results of Standard Penetration Test

No. of Blows N	Relative Density
0–4	Very loose
4–10	Loose
10–30	Medium
30–50	Dense
Over 50	Very dense

Ilustración 12: Densidad relativa para arenas, según el SPT. Fuente (INTERNATIONAL, ASTM D1586M-18, 2019)

6.3 CLASIFICACIÓN SUCS

Para el ensayo de clasificación SUCS se utilizaron las muestras obtenidas de los pozos PSPT 001, PSHEL 001 y PSHEL 002.

6.3.1 GRANULOMETRÍA

El ensayo de granulometría se realizó mediante la norma ASTM D1140-17. A continuación se presentará los resultados obtenidos del PSPT 001.

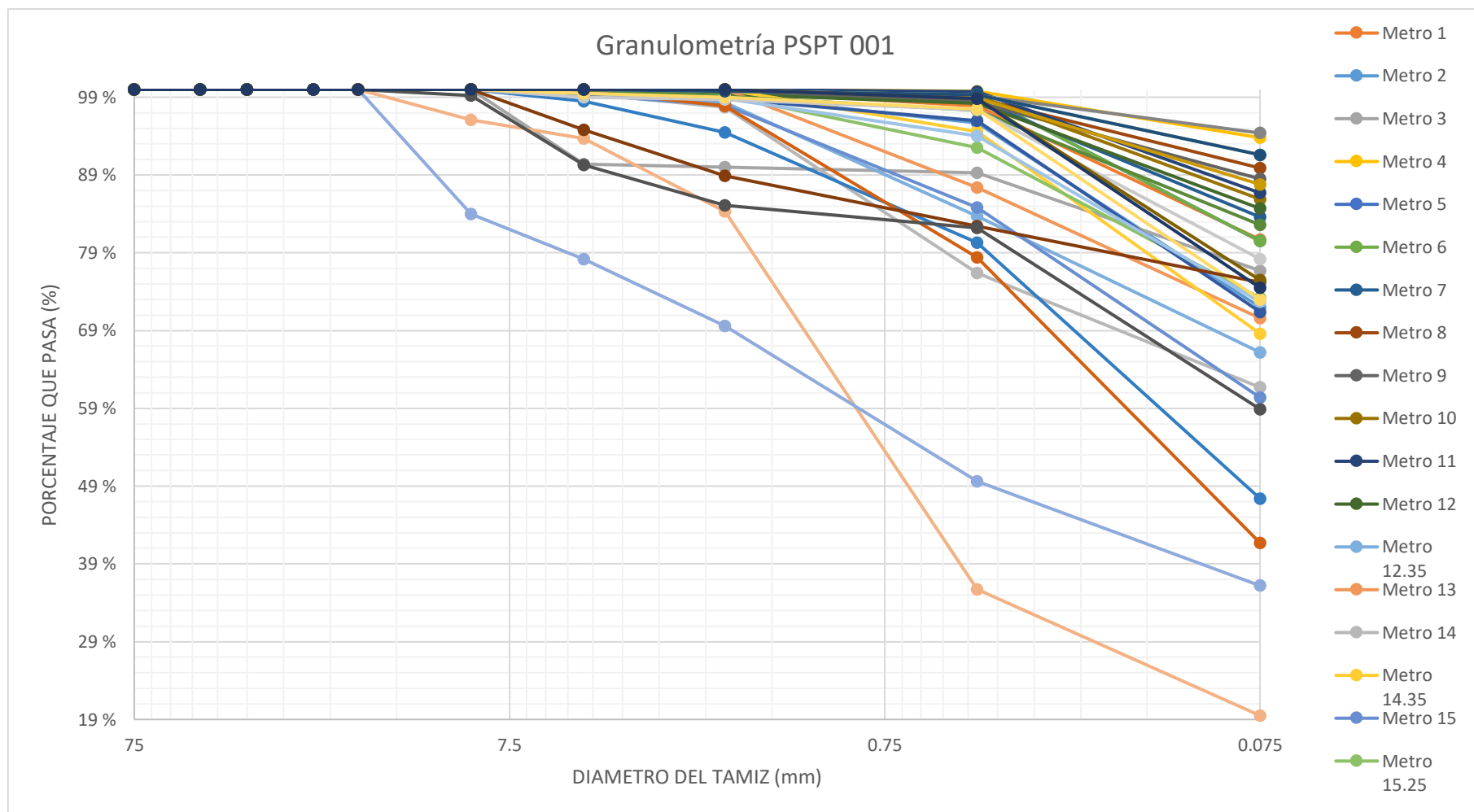
PSPT 001					
PORCENTAJE QUE PASA					
TAMIZ N°	3/8"	4	10	40	200
Metro	9.5 mm	4.75 mm	2 mm	0.425 mm	0.075 mm
1.00	100.00	100.00	99.80	97.90	80.70
2.00	100.00	99.80	99.20	95.70	72.00

3.00	100.00	90.40	90.00	89.30	76.70
4.00	100.00	100.00	100.00	99.80	93.80
5.00	100.00	100.00	100.00	99.40	80.50
6.00	100.00	100.00	100.00	99.40	80.50
7.00	100.00	99.80	99.70	98.60	83.60
8.00	100.00	100.00	100.00	98.90	89.90
9.00	100.00	100.00	99.90	98.40	88.50
10.00	100.00	100.00	99.90	99.20	85.90
11.00	100.00	100.00	100.00	99.70	86.70
12.00	100.00	100.00	99.40	98.20	84.70
12.35	100.00	99.60	98.30	83.70	66.20
13.00	100.00	100.00	100.00	87.40	70.60
14.00	100.00	99.50	97.70	76.40	61.70
14.35	100.00	100.00	100.00	94.60	68.60
15.00	100.00	99.30	98.00	84.80	60.40
15.25	100.00	99.60	99.20	92.50	73.20
16.00	100.00	98.50	94.50	80.30	47.40
17.00	100.00	99.90	97.90	78.40	41.70
18.00	100.00	100.00	99.80	98.80	88.80
19.00	100.00	100.00	99.90	99.20	94.40
20.00	100.00	100.00	100.00	98.90	87.80
21.00	100.00	99.30	98.80	96.00	71.40
22.00	100.00	100.00	99.10	97.30	82.60
23.00	100.00	99.50	98.80	94.00	72.70
24.00	96.10	93.70	84.30	35.70	19.50
25.00	100.00	99.00	98.70	97.40	78.20
26.00	100.00	99.50	99.00	97.50	73.00
26.35	84.00	78.20	69.60	49.60	36.20
27.00	100.00	100.00	99.80	99.30	91.60
27.30	100.00	100.00	99.80	99.30	91.60
28.00	100.00	94.80	88.90	82.40	75.20
29.00	99.20	90.30	85.10	82.20	58.90
29.35	100.00	100.00	100.00	98.80	75.50
30.00	100.00	100.00	100.00	98.80	74.50

Tabla 19 Porcentaje que pasa vs Tamiz (PSPT 001)

Como se puede observar en la tabla # 19, el pozo PSPT 001 tiene como predominante material que pasa el tamiz # 200 por tanto, en su mayoría se trata de un material fino, con excepción en los metros 15-17 y 24, en donde se presenta estratos de materiales predominantemente arenoso.

Del metro 2 hasta el metro 12, se presenta un material completamente fino, teniendo un 85% del material con tamaños de partículas menores a 0.075mm y apenas un 15% que lo retiene. Entre los metros 12.35 hasta el metro 17.00 se observa una disminución del porcentaje de material que pasa el tamiz # 200, variando entre el 70 a 40 %, teniendo entre un 30 a 60 % de material retenido (arena). De igual manera en el metro 24 encontramos material que en el tamiz #200 apenas pasa un 19.50%, por tanto, el 80.5% del material es arena, con porcentajes pequeños de grava. Siendo, además un estrato resistente muy pequeño. En los dos siguientes metros 25 y 26, vuelve a subir el porcentaje de material que pasa el tamiz # 200 a un 78%, correspondiendo apenas el 22% de arena fina. En el metro 26.35 aparece un pequeño estrato de 30 cm donde se asemeja al metro 24, es decir tiene un porcentaje que pasa el tamiz # 200 de 36.2% con un 63.80% de material retenido lo que presenta más arena que fino, convirtiéndose en un estrato de arena. Del metro 27 al metro 30 se observa un mayor porcentaje de suelo fino que pasa el tamiz # 200 entre un 75 hasta un 90 % excluyendo el metro 29 que tiene un porcentaje de 59%, por lo cual sigue siendo un material fino con mayor cantidad de arena. Se puede decir que efectivamente en los últimos 30 metros continúa siendo material fino con un incremento de material grueso tratándose más de un limo arenoso. A continuación, se presenta las curvas granulométricas de los 30 m.



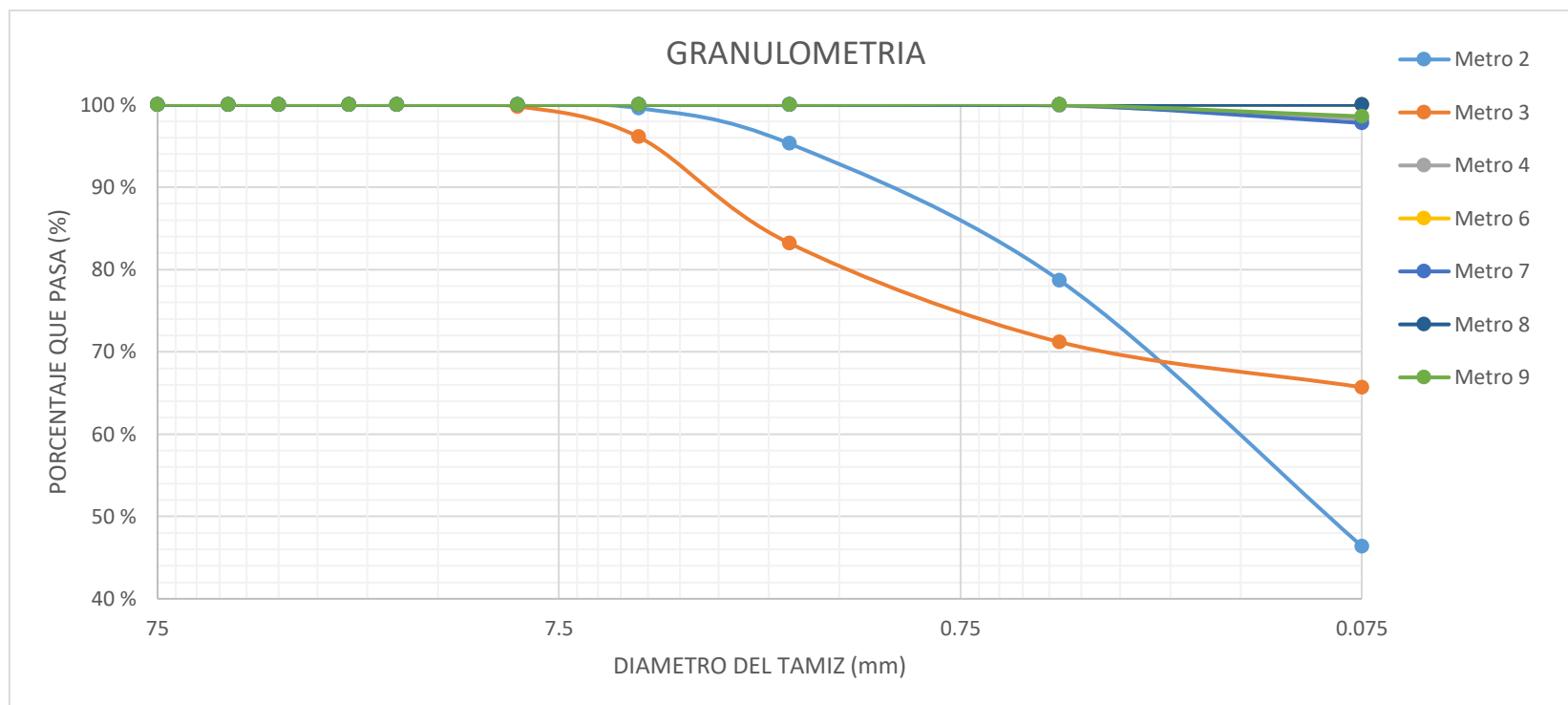
Gráfica 9 *Curvas Granulometrías PSPT 001*

Para la corroboración de los datos del pozo PSPT 001, el laboratorio de la Universidad Católica realizó 7 granulometrías en los primeros 10 metros del pozo PSHEL 001, los cuales se muestran a continuación en la tabla # 20.

PSHEL 001					
PORCENTAJE QUE PASA					
TAMIZ N°	3/8"	4	10	40	200
Metro	9.5mm	4.75mm	2mm	0.425mm	0.075mm
2	100	99.6	95.30	78.70	46.40
3	99.8	96.1	83.2	71.2	65.7
4	100	100	100	99.9	98.3
6	100	100	100	99.9	99.5
7	100	100	100	100	97.8
8	100	100	100	100	100
9	100	100	100	100	98.6

Tabla 20 Porcentaje que pasa vs # de tamiz (PSHEL 001). Obtenido de (PUCE, 2019)

Como se puede observar en la tabla # 20 la distribución granulométrica del material es similar a lo obtenido en el sódalo PSPT 001 a la misma profundidad. Se tiene que el material predominante en su mayoría es fino, a excepción de los dos primeros metros donde se presenta una mayor cantidad de arena que en el pozo PSPT 001. Con lo cual en los primeros metros se tiene una mitad de limo, y la otra mitad se trata de un limo arenoso. Mientras que en los metros 4,6,7,8 y 9 se presenta un incremento en la parte fina siendo está mayor a la del pozo PSPT 001. A continuación, se presenta las curvas granulométricas obtenidos del pozo PSHEL 001.



Gráfica 10 *Curvas Granulométricas PSHEL 001*

A continuación, se presenta los resultados obtenidos en las muestras del pozo PSHEL 002. En este pozo se realizaron ensayos granulométricos por duplicado a cada metro de profundidad. Por medio de tablas se detallará los porcentajes que pasan de cada tamiz.

PSHEL 002 (1)					
PORCENTAJE QUE PASA					
TAMIZ N°	3/8"	4	10	40	200
Metro	9.5 mm	4.75 mm	2 mm	0.425 mm	0.075 mm
2	100.00	100.00	99.76	98.54	86.61
4	100.00	100.00	100.00	99.89	95.42
5	100.00	99.67	99.25	98.33	85.51
6	100.00	99.97	99.92	99.85	98.79
7	100.00	100.00	100.00	99.68	96.89
8	100.00	100.00	100.00	99.72	95.59
9	99.26	98.50	97.04	71.80	57.55
10	100.00	100.00	100.00	99.85	98.23
12	100.00	99.49	98.81	92.68	74.87
13	100.00	99.93	99.87	78.49	58.05
14	100.00	99.29	97.48	82.20	58.48
15	100.00	99.60	99.20	92.50	73.20
18	100.00	99.54	96.01	54.26	38.24
19	100.00	99.33	97.50	76.85	58.23

Tabla 21 Porcentaje que pasa vs # de tamiz (PSHEL 002 (1))

PSHEL 002 (2)					
PORCENTAJE QUE PASA					
TAMIZ N°	3/8"	4	10	40	200
Metro	9.50 mm	4.75 mm	2.00 mm	0.425 mm	0.075 mm
2	100.00	100.00	99.95	99.04	87.75
4	100.00	100.00	99.91	99.27	89.56
5	100.00	100.00	99.95	98.88	85.49
6	100.00	99.86	99.70	99.46	96.37
7	100.00	99.82	99.70	99.22	94.62
8	100.00	100.00	100.00	99.75	94.94
9	99.27	98.78	96.42	65.49	50.54
10	100.00	100.00	99.97	99.78	96.95
12	100.00	100.00	99.92	97.67	91.97
13	100.00	99.68	98.58	63.27	38.78

14	100.00	99.26	97.37	81.45	56.72
15	99.21	97.34	93.70	71.40	43.99
18	100.00	99.41	95.19	56.67	42.49
19	100.00	100.00	99.71	94.41	84.91

Tabla 22 Porcentaje que pasa vs # de tamiz (PSHEL 002 (2))

De igual manera que los pozos anteriores (PSPT 001, PSHEL 001) se observa que en su mayor parte el material fino pasante del tamiz # 200 es el material que predomina, con resultados similares en su composición granulométrica respecto de los obtenidos en los dos sondeos PSPT 001 y PSHELL 001. Este comportamiento a más de ser lógico debido a que todos los sondeos se ubicaron en el mismo sector se evidencia un cumplimiento de la norma de ensayo. A diferencia del pozo PSPT 001, los metros 3 y 11 tuvieron complicaciones al momento de extraer la muestra, mientras que los metros 16 y 17 se optó por no extraerlos dado que se buscaba obtener muestras inalteradas para el ensayo de consolidación.

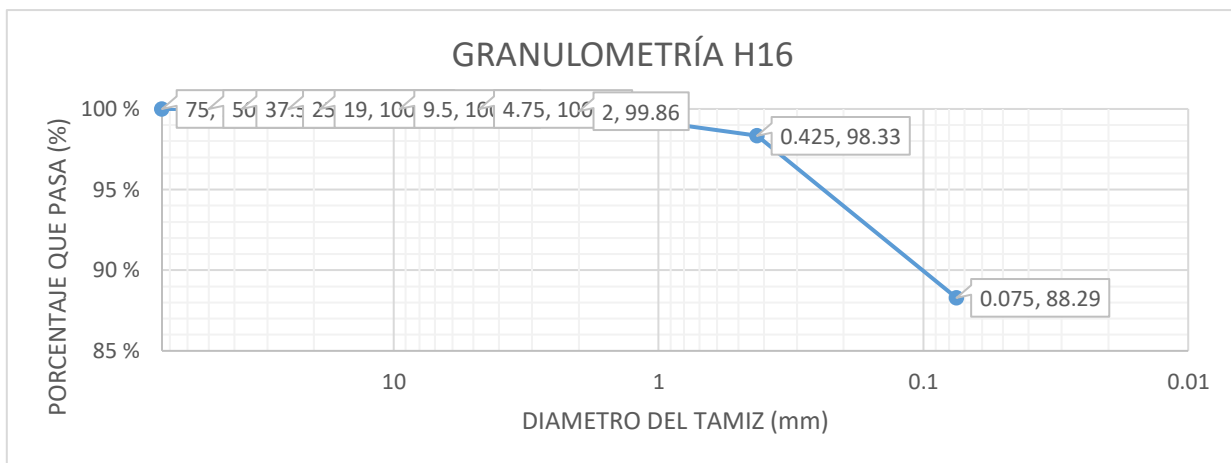
A diferencia del pozo PSPT 001 y PSHEL 001, en este pozo se detectó una variación en la cantidad de material grueso en el metro 9. Como se observa en las tablas # 21 y 22 se tiene un porcentaje de material que pasa el tamiz # 200 entre un 57.55 y un 50.54% en los dos ensayos granulométricos realizados, teniendo alrededor de un 42% y 49% del material granular (arena gruesa), y de 1% a 2% de grava. El material se clasifica como un limo arenoso. Existe una aparente diferencia con el material reportado a esa profundidad en el sondeo PSPT 001 y PSHEL 001, sin embargo, se explica esa variación por un desfase entre la profundidad de extracción de un sondeo respecto a otro. Por la inconsistencia presentada, se analizó la muestra y se observó físicamente que el resto de su composición es de un material fino. A continuación, se muestra un anexo fotográfico de la muestra usada para la granulometría.



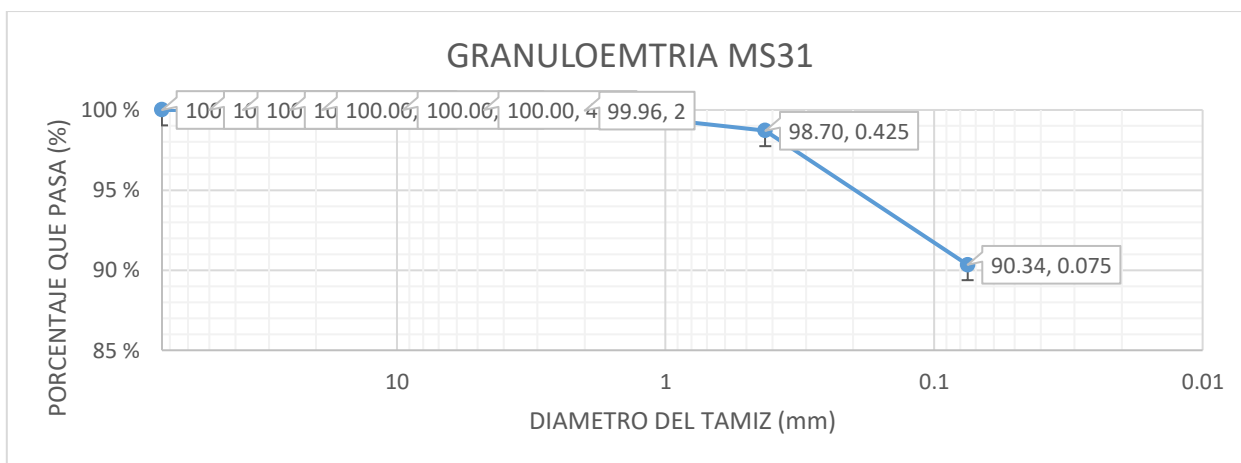
Fotografía 12 Muestra del metro 9 a 9.15 utilizado para el ensayo de granulometría.

Como se observa en la fotografía # 12, la muestra usada para el ensayo de granulometría presenta un alto contenido de humedad y un posible lavado en campo, debido a partículas gruesas, por lo que se demuestra el alto contenido de arena, presente en el ensayo granulometría. Por lo cual el metro 9 presenta un estrato de 15cm de una arena limosa, no registrada en los dos pozos PSPT 001 Y PSHEL 001.

Con la información obtenida por granulometría, más lo reportado anteriormente, se deduce que el metro 9 era la intersección entre un limo arenoso y un limo, por lo cual se realizó dos ensayos más de granulometría de la parte del limo que se encontró en el metro 9.30-9.45. A continuación, se presentan las dos granulometrías realizadas.



Gráfica 11 Granulometría #3 del metro 9



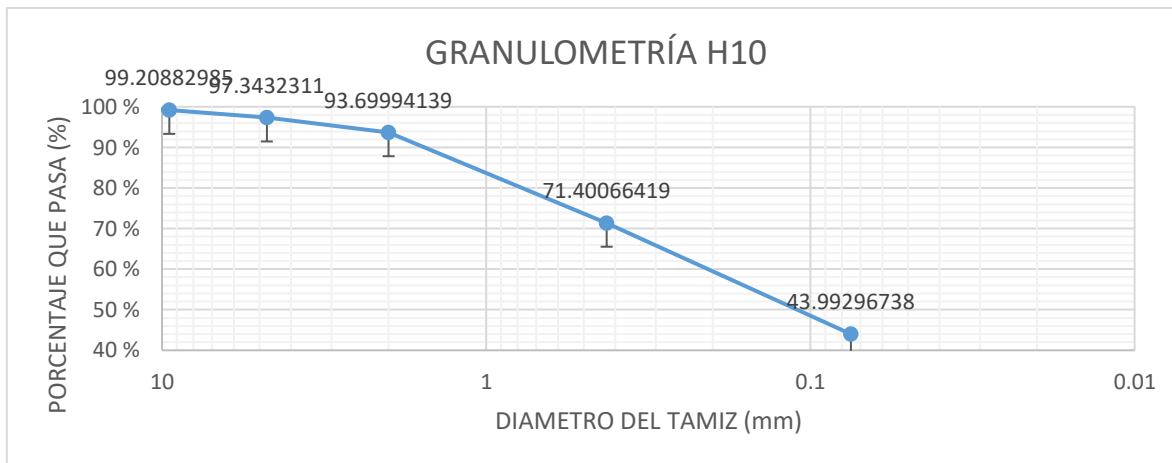
Gráfica 12 Granulometría #4 del metro 9

Como se puede observar en la gráfica # 11 y 12 el porcentaje que pasa el tamiz # 200 se encuentra entre un 90% y 88%, y apenas un 10% a 12% de arena, una composición de material diferente respecto a lo reportado anteriormente. Lo cual se reporta que en el metro 9 se tiene un posible estrato drenante aproximadamente de unos 15 cm, no presentes en el pozo PSPT 001 y PSHEL 001.

En los metros 10 y 12 se observa que el porcentaje de material fino pasante del tamiz # 200 presenta un incremento alrededor del 90%. Se observa que los metros 13, 14, 15 y 18 el porcentaje de material fino pasante del tamiz # 200 empieza a disminuir, con porcentajes que van desde 38% hasta 56%, lo cual verifica lo encontrado en el pozo PSPT 001, con la

excepción del metro 12 donde el porcentaje de finos es mayor, y en el metro 18 donde el porcentaje de arena es mayor que lo presentado en el pozo PSPT 001.

En el metro 15 se encontró un estrato de material granular grueso (15.30 – 15.45) muy parecido al reportado en el pozo PSPT 001 a la profundidad de 15.25, por lo cual se realizó un ensayo de granulometría en este estrato, presentando un porcentaje de arena del 53% con 3% de grava. A continuación, se presenta el análisis granulométrico.



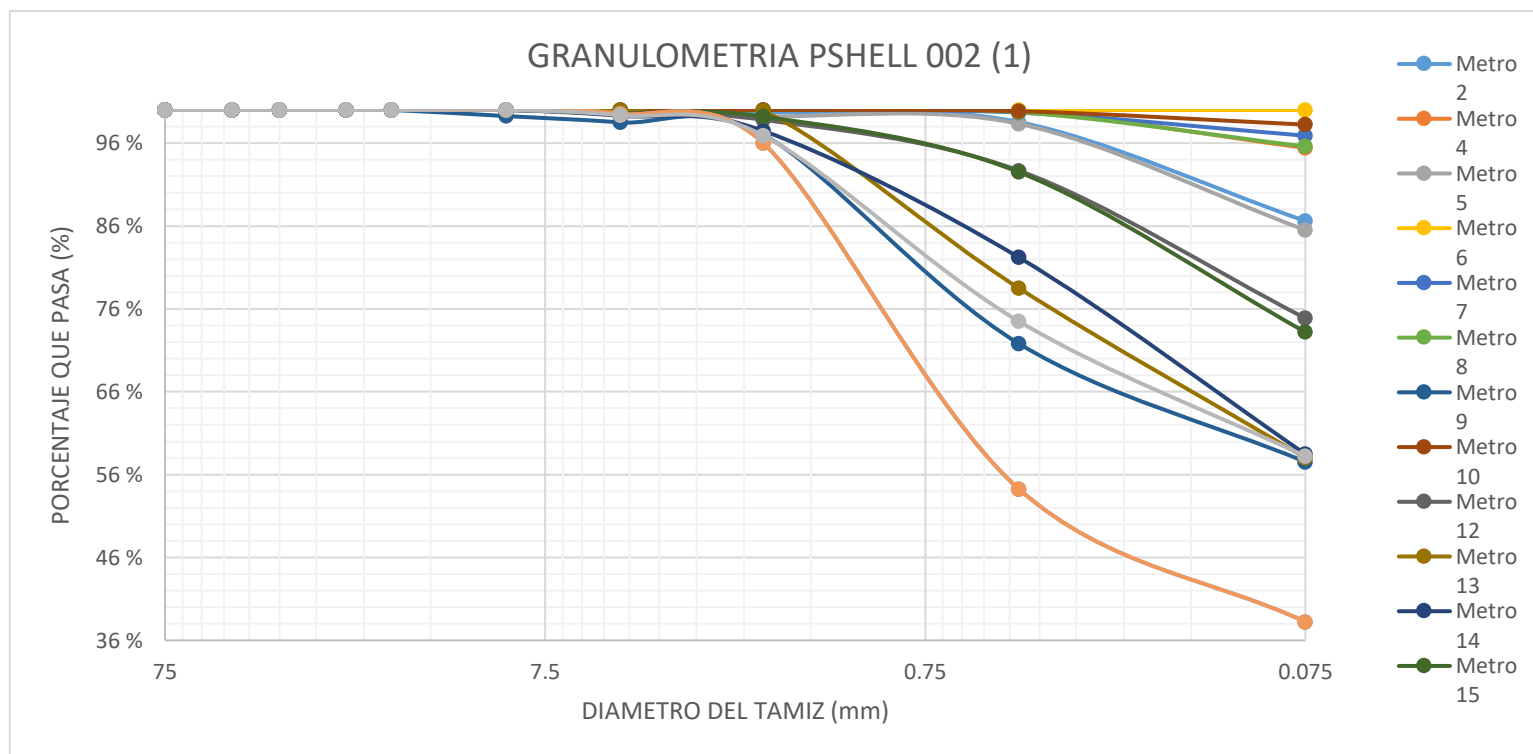
Gráfica 13 Granulometría # 2 del metro 15

De igual manera se mostrará un anexo fotográfico de la muestra donde se realizó la granulometría.

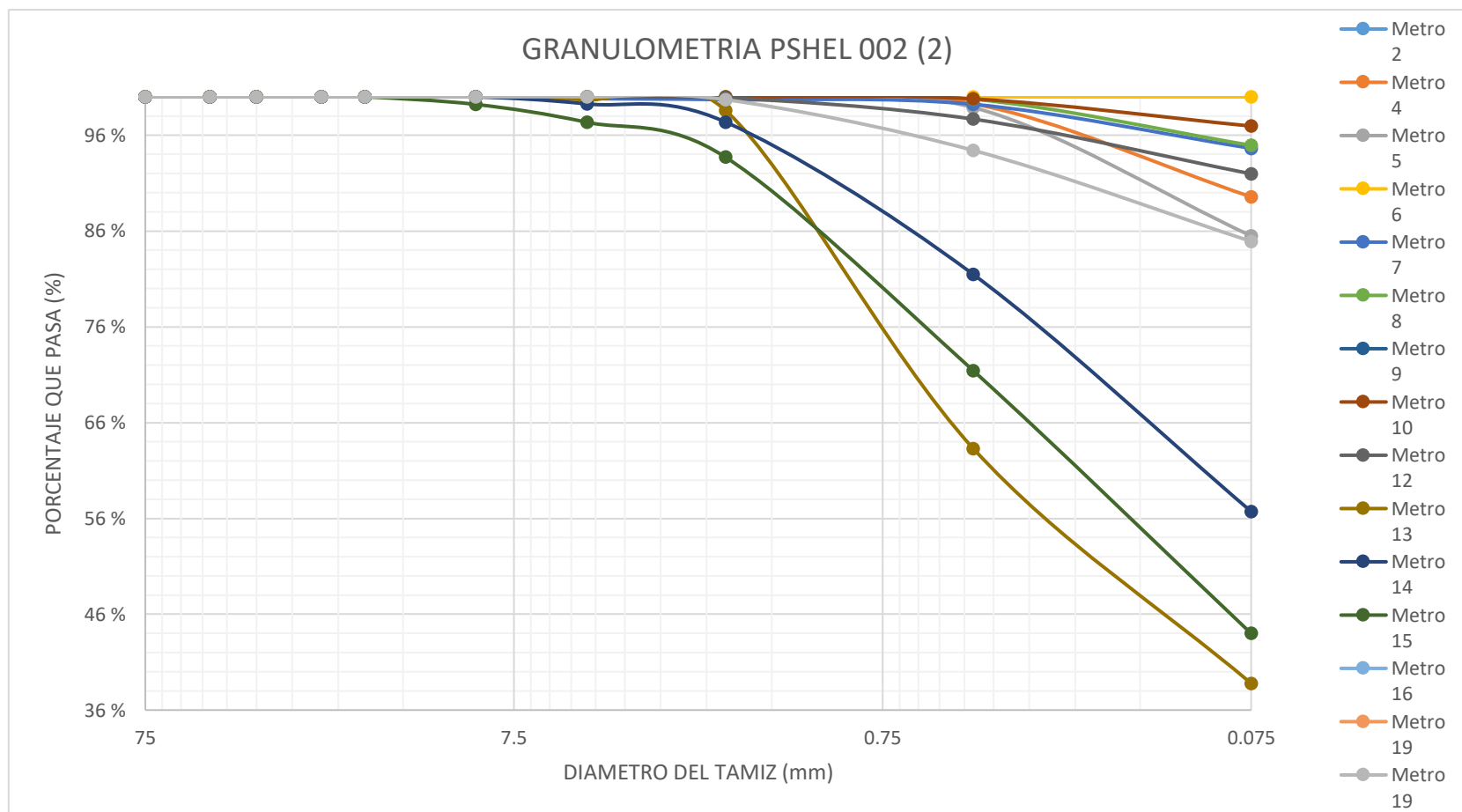


Fotografía 13 Muestra del metro 15.30 a 15.45 utilizado para el ensayo de granulometría.

Como se muestra en la fotografía # 13, el porcentaje de arena es notorio a simple vista. Con lo cual, se verifica la variación del nivel de referencia en profundidad anteriormente mencionado. El metro 19 vuelve a presentar un incremento de finos respecto a la arena, similar a los datos presentados en el pozo PSPT 001 Y PSHEL 001. A continuación, se presentarán las gráficas granulométricas de los 19 metros.

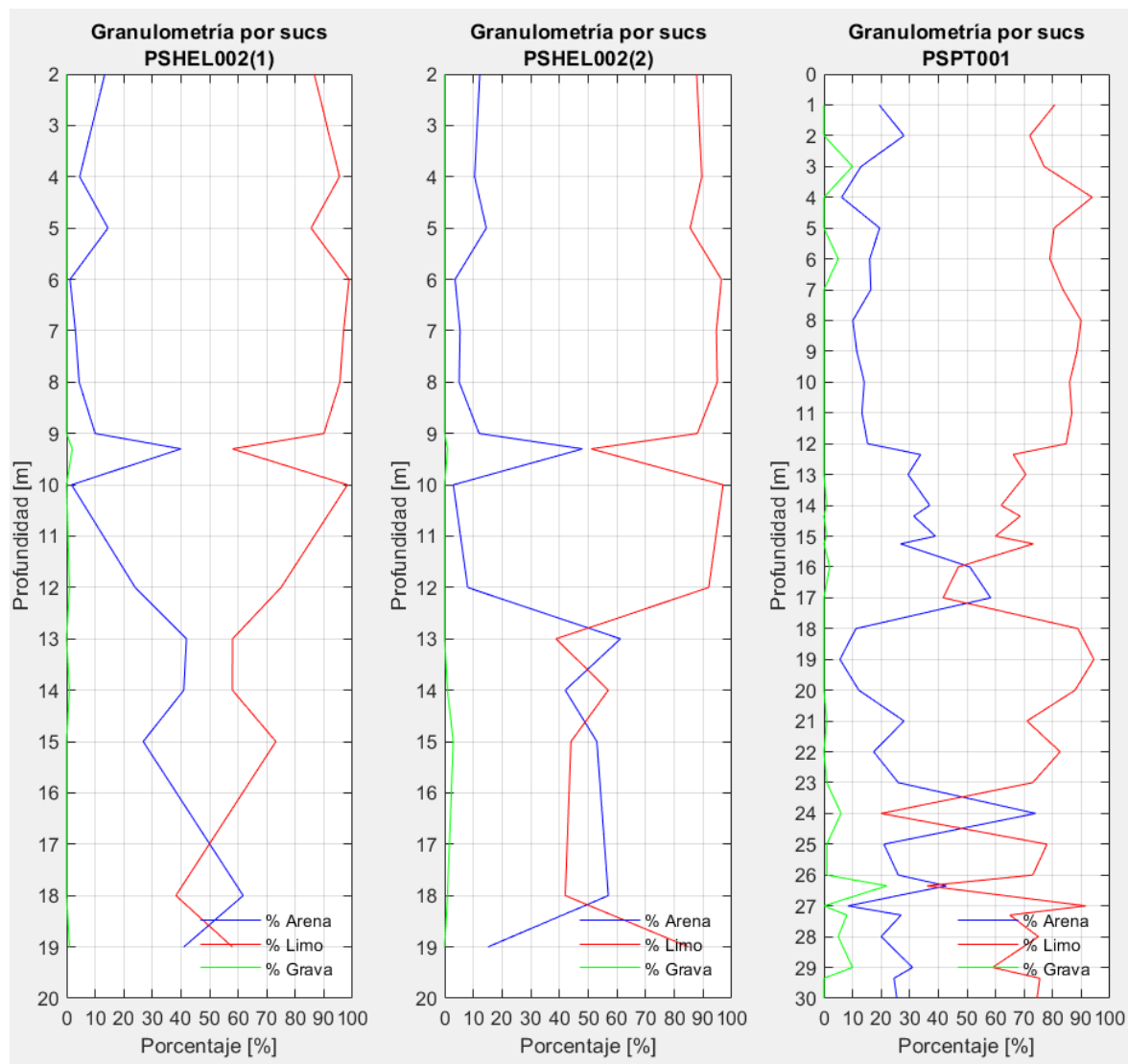


Gráfica 14 Granulometría del pozo PSHEL 001 (1)



Gráfica 15 Granulometría PSHEL 002 (2)

En las gráficas # 14 y 15 tiene una cierta variación de la una respecto a la otra, como se mencionó anteriormente, sin embargo, esta variación no se distingue a simple vista. Para poder observar dichas variaciones de las partículas a lo largo de cada pozo, se presenta la siguiente gráfica, donde se comparan las granulometrías del pozo PSHEL 001 Y PSHEL 002.



Gráfica 16 Granulometría vs profundidad

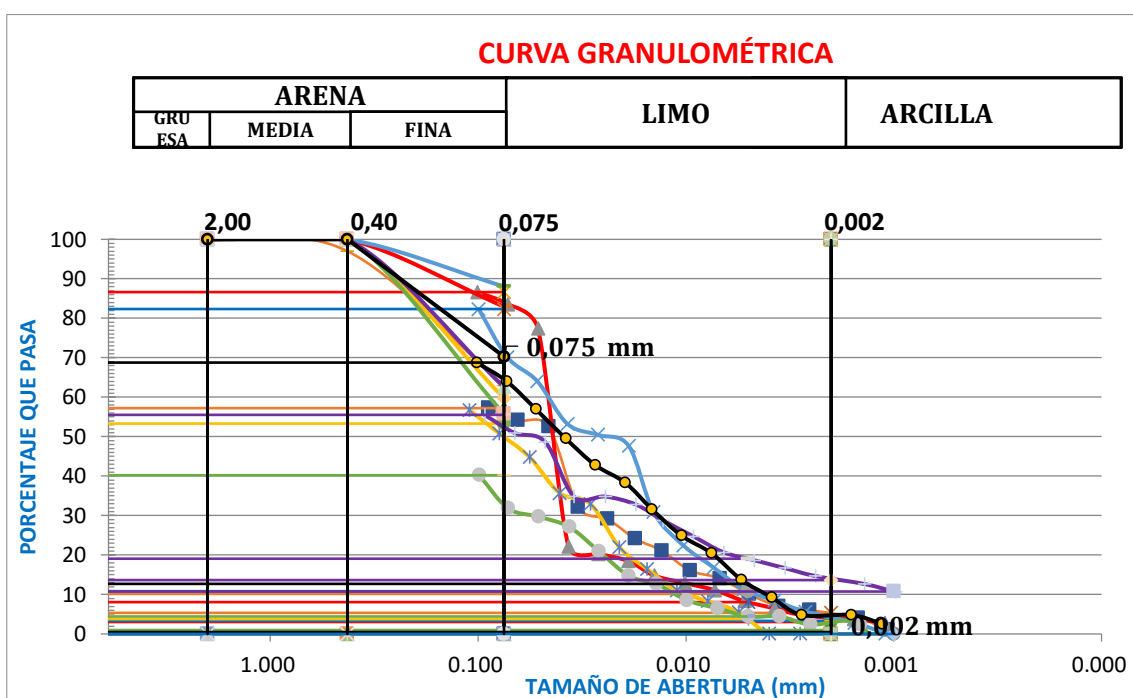
Como se observa en la forma de presentación de la gráfica # 16, es factible detectar y determinar los metros que presentan una mayor cantidad de arena. Se observa que los metros 9 y 15 antes mencionados resaltan a simple vista, con lo cual se puede afirmar que el metro 9 presenta un pequeño estrato drenante, mientras que el metro 15 permite confirmar un

desplazamiento en profundidad entre los pozos (PSHEL 001 Y PSHEL 002), además de una clara tendencia en que el material predominante es un material fino (Limo) a lo largo de los 30 metros. Se observa que a partir del metro 26 se presenta un ligero incremento de grava,

6.3.2 HIDROMETRÍA

Se realizaron ensayos de granulometría por sedimentación, mediante el empleo de hidrómetro, en muestras obtenidas en el sondeo PSHEL 002 de 19 metros, para las siguientes profundidades.

Tabla 23 Curva Granulométrica



RESULTADOS

	Granulometría por hidrómetro			Granulometría por Tamizado		
Profundidad	< 0,075mm (%)	< 0,005 mm (%)	< 0,002mm (%)	Tamiz N° 10 (%)	Tamiz N° 40 (%)	Tamiz N° 200 (%)
2,15-2,30	57,2	10,2	5,3	100	97	63
5,15-5,30	86,6	8,1	3,0	100	100	83
10,30-10,50	82,3	10,8	3,3	100	100	88

12,15- 12,30	53,3	3,8	0,0	100	100	60
13,30- 13,50	40,2	4,4	1,0	100	100	56
18,30- 18,50	55,5	19,1	13,6	100	100	63
19,15- 19,30	68,8	12,7	0,5	100	100	70

Tabla 24 resultados

Los resultados del ensayo granulométrico por sedimentación practicado en la muestra representativa de 2.15 a 2.30, evidencia que el material fino (más pequeño que 0.075 mm) está compuesto en un 51.9% por partículas entre 0,075 y 0,002 (tamaño de limo) y un 5 % menor a 0,002 (tamaño de arcilla, probablemente con minerales arcillosos). En la muestra representativa de 5.15 a 5.30, evidencia que el material fino (más pequeño que 0.075 mm) está compuesto en un 83.6% por partículas entre 0,075 y 0,002 (tamaño de limo) y un 3 % menor de 0,002 (tamaño de arcilla, probablemente con minerales arcillosos). En la muestra representativa de 10.30 a 10.50 se evidencia que el material fino (más pequeño que 0.075 mm) está compuesto en un 79% por partículas entre 0,075 y 0,002 (tamaño de limo) y un 3 % menores de 0,002 (tamaño de arcilla, probablemente con minerales arcillosos). En la muestra representativa de 12.15 a 12.30 se evidencia que el material fino (más pequeño que 0.075 mm) está compuesto en un 53% por partículas entre 0,075 y 0,002 (tamaño de limo) sin presencia de partículas menores a 0,002. En la muestra representativa de 13.30 a 13.50 se evidencia que el material fino (más pequeño que 0.075 mm) está compuesto en un 39.2% por partículas entre 0,075 y 0,002 (tamaño de limo) y un 1% menor de 0,002 (tamaño de arcilla, probablemente con minerales arcillosos). En la muestra representativa de 18.30 a 18.50 se evidencia que el material fino (más pequeño que 0.075 mm) está compuesto en un 41.9% por partículas entre 0,075 y 0,002 (tamaño de limo) y un 13.6 % menor de 0,002 (tamaño de arcilla, probablemente con minerales arcillosos). En la muestra representativa de 19.15 a 19.30 se evidencia que el material fino (más pequeño que 0.075

mm) está compuesto en un 68.3% por partículas entre 0,075 y 0,002 (tamaño de limo) y un 0,5 % menor de 0,002 (tamaño de arcilla, probablemente con minerales arcillosos)

6.3.3 ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG

De igual manera que las granulometrías, los límites de Atterberg fueron obtenidos en ensayos sobre muestras de los de los pozos PSPT 001, PSHEL 001 Y PSHEL 002. A continuación, se muestran los resultados obtenidos del pozo PSPT 001 con la respectiva clasificación sucs.

Nota: El material insuficiente se registra como MI en todas las tablas presentas en esta investigación

PSPT 001 LÍMITES DE ATTERBERG Y CLASIFICACIÓN SUCS						
PROFUNDIDAD	LL	LP	IP	HUMEDAD	CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD	
1,00-1,45	MI	MI	MI	71	ML	LIMO
2,00-2,45	82	62	20	83	OH	LIMO ORGANICO CON ARENA
3,00-3,45	143	115	28	179	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
4,00-5,45	160	101	59	307	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
5,00-5,45	248	166	82	268	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
6,00-6,45	209	169	40	303	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
7,00-7,45	183	128	55	208	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
8,00-8,45	174	113	61	306	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
9,00-9,45	186	118	68	313	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

10,00-10,45	180	108	72	311	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
11,00-11,45	290	183	107	308	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
12,00-12,35	259	155	104	309	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
12,35-12,45	MI	MI	MI	50	OL	LIMO ORGANICO ARENOSO
13,00-13,45	344	239	105	319	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
14,00-14,35	314	194	120	196	OH	LIMO ORGANICO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD
14,35-14,45	MI	MI	MI	72	OL	LIMO ORGANICO CON ARENA
15,00-15,25	216	118	98	136	OH	LIMO ORGANICO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD
15,25-15,45	MI	MI	MI	50	SM	ARENA LIMOSA
16,00-16,45	34	25	9	29	SM	ARENA LIMOSA
17,00-17,45	39	30	9	41	SM	ARENA LIMOSA
18,00-18,45	130	90	40	127	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
19,00-19,45	187	132	55	148	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
20,00-20,45	126	90	36	131	MH	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD
21,00-21,45	80	51	29	80	MH	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
22,00-22,45	89	57	32	88	MH	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

23,00-23,45	92	49	43	78	MH	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
24,00-24,45	187	119	68	153	SP	ARENA MAL GRADUADA
25,00-25,45	138	87	51	117	MH	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD
26,00-26,35	79	55	24	76	MH	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
26,35-26,45	MI	MI	MI	63	SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA
27,00-27,30	MI	MI	MI	140	ML	LIMO
27,30-27,45	MI	MI	MI	33	ML	LIMO CON ARENA
28,00-28,45	37	28	9	35	ML	LIMO ARENOSO
29,00-29,35	43	35	8	37	ML	LIMO ARENOSO
29,35-29,45	MI	MI	MI	33	ML	LIMO CON ARENA
30,00-30,45	40	28	12	35	ML	LIMO CON ARENA

Tabla 25 *Limites de Atterberg PSPT 001*

Como se puede observar en la tabla # 25, se presentan límites líquidos (LL) variados a lo largo de todo el pozo. Se puede analizar que el límite liquido de los primeros 10 metros se encuentra entre 80 y 250, y a partir del metro 5 se nota un incremento en el LL en especial en los metros 5 y 6. De la misma manera se tiene los valores del índice de plasticidad (IP) que se encuentra entre 20 y 80, y tiene un incremento a partir del metro 5. Se observa que los 2 primeros metros al tener valores relativamente bajos comparados con los metros siguientes, se clasifican como limo y un limo orgánico con arena, a partir del metro 3 hasta el metro 7 la clasificación pasa a ser un limo orgánico de alta plasticidad con arena. Del metro 8 hasta el metro 10 se mantiene la alta plasticidad, pero varía su clasificación debido a la su granulometría teniendo un limo orgánico de alta plasticidad. Otro punto que se tiene son los altos contenidos de humedad que se presentan y que varían desde 70% hasta 300%. El nivel freático se reporta a los 3.0 m de profundidad.

Del metro 11 al metro 15 se presentan LL altos, siendo estos los valores más altos presentados en el pozo PSPT 001 que van de desde 220 hasta 340. Los metros 16 y 17 presentan valores de LL bajos alrededor de 35, a partir del metro 18 hasta el metro 20 presenta un incremento en el LL, no llegando a valores como los presentados del metro 11 al 15, pero teniendo valores altos alrededor 130 a 180. Los IP del metro 11 al metro 15 son alrededor de 100, mientras que en el metro 16 y 17 presenta valores de 9, y a partir del metro 18 al metro 20 se incrementa con valores alrededor de 40 a 50. Los contenidos de humedad son variables, del metro 11 al metro 15 se presentan valores de 140% a 300%, mientras que los metros 16 y 17 están alrededor de 30% a 40%, y del metro 18 al metro 20 se tiene valores de 130% a 140%. Por medio de los ensayos granulometrías y su respectivo análisis presentado en el capítulo 6.4.1 se determinó un incremento en el porcentaje de arena respecto a los 10 primeros metros, y al contar con valores de LL y IP altos excepto en los metros 16 y 17, la clasificación se mantiene como un limo orgánico de alta plasticidad con arena (OH) y cambiado en los metros 12, 14 y 15 por un limo orgánico arenosos de alta plasticidad (OH), mientras que los metros 11, 18 19 y 20 presentan una menor cantidad arena por lo que se mantiene en un limo orgánico de alta plasticidad(OH). Mientras que los metros 16 y 17 siendo los que presentan menos LL y IP y una mayor cantidad de arena, su clasificación se presenta como una arena limosa (SM). Dentro de estos 10 metros analizados se presentaron estratos pequeños en los metros 12.35 – 12.45, 14.35 – 14.45 y 15.25 – 15.45 alrededor de 10cm aproximadamente, estos pequeños estratos tienen un incremento significativo en su contenido de arena, por lo cual fue imposible extraer material suficiente para la obtención de los límites. Los tramos presentan contenido de humedad relativamente bajo comparados con las humedades presentadas anteriormente, denotando en su clasificación como un limo orgánico con arena.

En los últimos 10 metros, se presenta un decremento en los LL, del metro 21 al metro 23 se presentan valores alrededor 80 a 90. Los metros 24 y 25 presentan valores del LL alrededor de 130 y 180, a partir del metro 26 el valor de LL vuelve a bajar, presentado valores que van de 80 a 40. Los metros 27 y 29 sus muestras fueron insuficientes para poder obtener los límites. De igual manera los IP son bajos, del metro 21 al 23 se tiene valores que van 40 a 30, mientras que los metros 24 y 25 tiene valores de 20 y 50. Del metro 26 en adelante se tiene valores de IP alrededor de 10, exceptuando los metros anteriormente explicados. El

contenido de agua se presenta con una disminución en los últimos 10 metros, con valores que van de 70% a 80% en los metros 21 a 23 y en los metros 24 a 27 se presenta un leve incremento con valores de 120 a 150. A partir del metro 28 se tiene un decremento con valores que van alrededor de 35%. Se puede observar un incremento de arena más notable que en los 10 metros anteriores, con lo cual se tiene una clasificación de un limo de alta plasticidad con arena desde el metro 21 hasta el metro 23. En el metro 24 se presenta una arena mal graduada, siendo un estrato con una cierta cantidad de limo de alta plasticidad, retomando este comportamiento en el metro 26 como un limo de alta plasticidad con arena. El metro 27 se clasifica como un limo y del metro 28 en adelante como un limo arenoso. Dentro de estos 10 metros analizados se presentaron pequeños estrados de 10cm aproximadamente, en los metros: 26.35 – 26.45, 27.30 – 27.45 y 29.35 – 29.45. Donde la muestra era insuficiente para determinar no se calculó sus respectivos límites, sus contenidos de humedad son bajos respecto a los presentados en este pozo que van de 30% a 70%. La clasificación se presenta de una arena limosa con grava en el metro 26.35 – 26.45 mientras que en los otros dos metros se reporta un limo con arena.

Como se puede observar a lo largo del pozo PSPT 001 se presentan IP altos del metro 4 hasta el metro 15, siendo la zona con más plasticidad hasta el momento. Los metros 16 y 17 representan el estrato resistente según el ensayo del SPT, y denotando un cambio de estrato. De los metros 18 a 25 se presenta un IP más bajo respecto al estrato superior, pero siendo de alta plasticidad. A pesar de eso, se trata de un limo un poco menos plástico, pero presentando contenido de arena más notable. Del metro 26 hasta el metro 30 se presenta un tercer estrato, donde su IP es bajo al igual que su contenido de humedad siendo esta zona donde mayor número de golpes se obtuvo en el ensayo del SPT, siendo un limo con poca plasticidad o incluso nula. En ciertos tramos se convierte en arena.

Para corroborar la información obtenida del pozo PSPT 001 LÍMITES DE ATTERBERG se realizaron los límites de Atterberg del pozo PSHEL 001 de los primeros 10 metros, esta información fue proporcionada por el laboratorio de la Universidad Católica. A continuación, se muestra los resultados obtenidos.

PSHEL 001						
PROFUNDIDAD	LL	LP	IP	HUMEDAD	CLASIFICACION	
2.00-2.50	52	39	13	40	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
3.00-3.50	200	179	21	98	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
4.00-4.50	354	289	65	101	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
6.00-6.50	200	146	54	101	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
7.00-7.50	345	273	68 72	102	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
8.00-8.50	177	123	54	100	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
9.0-9.50	465	314	151	96	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

Tabla 26 *Limites de Atterberg PSHEL 001. Obtenido de (PUCE, 2019)*

La tabla # 26 presenta valores LL altos a partir del metro 3 hasta el metro 9 con valores que van alrededor de 200 y 460 lo que se ubica dentro de un mismo rango respecto a los límites del pozo PSPT 001. Los IP son valores altos los cuales están alrededor de 60 a 150 por tanto son clasificados como de alta plasticidad. Se puede observar que los contenidos de agua presentan una disminución respecto al anterior pozo, presentado valores alrededor de 60% a 100%, por lo tanto, podemos ver que a pesar de estos cambios el pozo es muy similar al pozo PSPT 001. De igual manera la clasificación presentada es prácticamente la misma del pozo PSPT 001, siendo un limo de alta plasticidad (OH).

Para el pozo PSHEL 002 se obtuvo los límites líquidos secos en horno, como se explicó en el capítulo 4.7. A continuación se presenta la tabla # 27 con los límites secos y su respectiva división.

PSHEL 002 DETERMINACIÓN LL SECO en horno / LL natural			
PROFUNDIDA	LL no seco	LL seco	LL seco/ LL no seco
1,00-1,45	MI	MI	MI
2.00-2.15	52	12	0.23
3.0-3.05	60	0	0
4.25-4.34	190	0	0
5.00-5.15	106	15	0.14
6,30-6,45	250	0	0
7.00-7.15	238	0	0
8.0-8.15	149	0	0
9.00-9.15	177	0	0
10-10.15	195	17	0.09
11,00-11,45	MI	MI	MI
12.15-12.30	266	0	0
13.20-13.30	203	0	0
14.30-14.45	387	0	0
15.28-15.45	216	0	0
16,00-16,45	MI	MI	MI
17,00-17,45	MI	MI	MI
18.15-18.30	MI	MI	MI

Tabla 27 Límite líquido seco dividido para el Límite líquido no seco

Como se puede observar en la tabla # 27 la profundidad en la que pudo obtener el límite líquido seco en horno fueron de los metros 2, 5 y 10. Los demás metros al momento de realizar el ensayo mediante la copa de Casagrande, no presentaban ninguna plasticidad, debido a que el material se comportaba como una arena suela, es decir no era moldeable. Debido a esto se colocó su límite líquido seco con el valor de cero, al momento de dividir el LL seco para el LL natural, se obtiene valores menores a 0.75 lo que significa según SUCS que se trata de un material orgánico.

Se obtuvieron los límites de Atterberg para el pozo PSHEL 002, como se ensayaron muestras parecidas el pozo se presentará con dos tablas los cuales comparten los límites de Atterberg, pero difieren en su clasificación por granulometría.

PSHEL 002 (1)						
PROFUNDIDA	LL	LP	IP	HUMEDAD	CLASIFICACION	
1,00-1,45	MI	MI	MI	71	-	LIMO
2.00-2.15	52	39	13	40	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
3.0-3.05	60	45	15	81	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
4.25-4.34	190	101	89	255	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
5.00-5.15	106	66	40	115	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
6,30-6,45	250	170	80	421	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
7.00-7.15	280	174	106	232	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
8.0-8.15	147	105	44	48	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
9.00-9.15	177	122	55	313	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
						LIMO ORGANICO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD

10-10.15	195	152	43	134	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
12.15-12.30	266	178	88	275	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
13.20-13.30	203	145	58	33	OH	LIMO ORGANICO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD
14.30-14.45	387	262	125	50	OH	LIMO ORGANICO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD
15.28-15.45	216	118	98	55	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
18.15-18.30	MI	MI	MI	127	SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA
19-19.15	55	36	19	75	OL	LIMO ORGANICO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD

Tabla 28 Límites de Atterberg PSHEL 002 (1)

PSHEL 002 (1)						
PROFUNDIDA	LL	LP	IP	HUMEDAD	CLASIFICACION	
1,00-1,45	MI	MI	MI	71	-	LIMO
2.00-2.15	52	39	13	40	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

3.0-3.05	60	45	15	81	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
4.25-4.34	190	101	89	255	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
5.00-5.15	106	66	40	115	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
6.30-6.45	250	170	80	421	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
7.00-7.15	238	114	124	232	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
8.0-8.15	147	105	44	48	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
9.00-9.15	177	122	55	313	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
						LIMO ORGANICO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD
10-10.15	195	152	43	134	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
12.15-12.30	266	178	88	275	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

13.20-13.30	203	145	58	33	OH	LIMO ORGANICO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD
14.30-14.45	387	262	125	50	OH	LIMO ORGANICO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD
15.28-15.45	MI	MI	MI	55	OH	ARENA LIMOSA
18.15-18.30	MI	MI	MI	127	SM	ARENA LIMOSA
19-19.15	55	36	19	75	OH	LIMO ORGANICO DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA

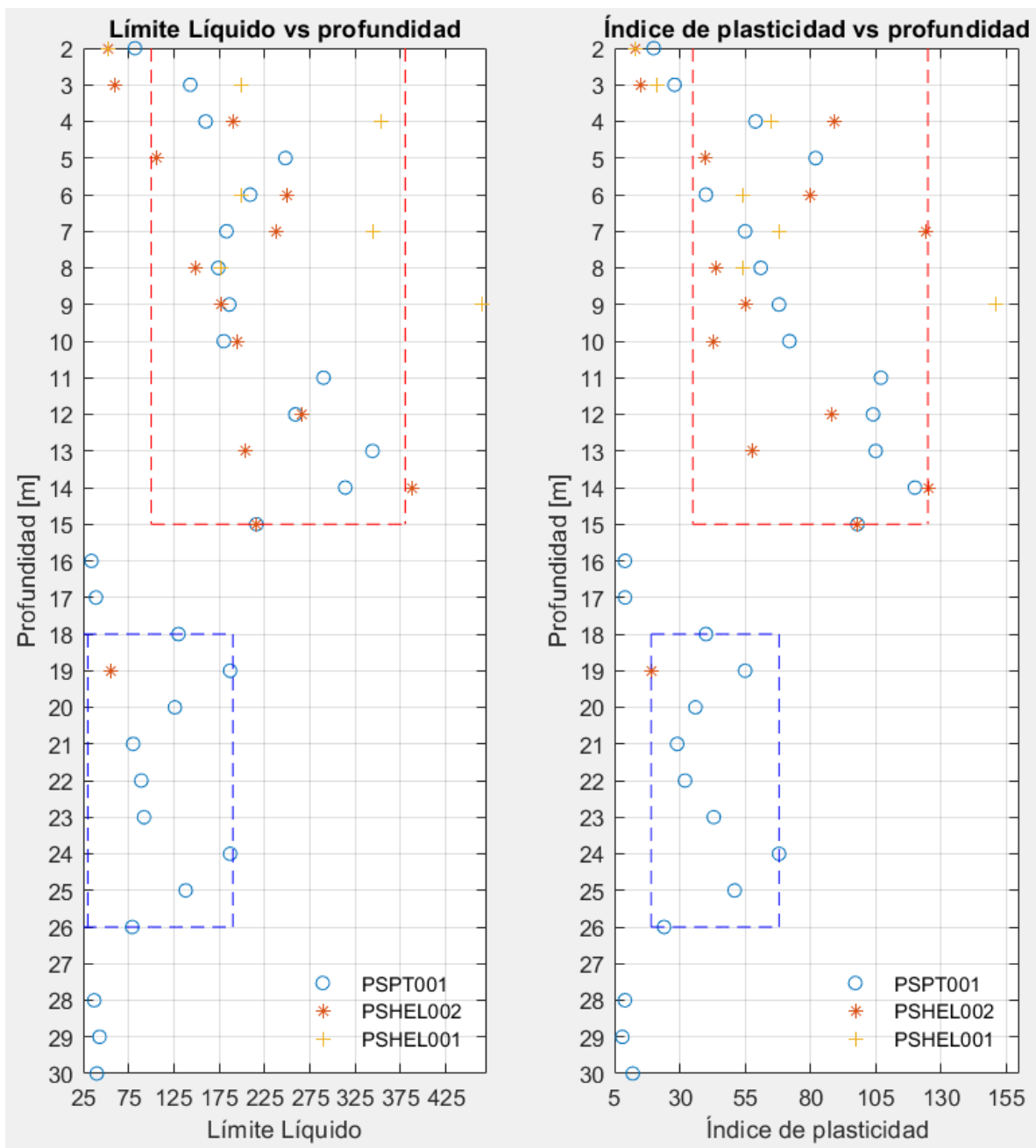
Tabla 29 Límites de Atterberg PSHELL 002 (2)

Se observa que el límite líquido se mantiene alto entre los primeros 15 metros con valores alrededor de 100 y 380. Donde se observar que el comportamiento del límite líquido es similar a partir del metro 4 hasta el metro 12 en los tres pozos presentados donde el valor se mantiene aproximadamente entre 100 y 300. A partir del metro 15 se nota como empieza a bajar el LL. Un factor que ha ido variando a lo largo de la investigación es la humedad de cada pozo, en donde se ha notado que el material pierde humedad relativamente fácil de un ensayo respecto a otro, provocando que se tenga pérdidas de húmeda drásticas en ciertos puntos.

Dado que para el pozo PSHEL 002 se realizaron ensayos pares por cada metro, se pudo comprobar ciertos cambios en los metros 5, 9, 12 y 15 que se evidencian al momento de definir el tipo de suelo. Se observa en las tablas # 28 y 29 que la definición cambia en los metros antes mencionados, haciendo que el limo orgánico de alta plasticidad que se obtuvo cambie a un limo orgánico de alta plasticidad con arena, incluso hasta llegar a obtener un limo orgánico arenoso. Un claro ejemplo de estos cambios se da en el metro 9 donde se puede observar que la mitad del metro es limo orgánico y la otra es un limo orgánico arenoso, por lo que se deduce que el material del estrato tiene una cantidad mayor de arena de lo que se

presentó en el ensayo manual visual y los ensayos de perforación continua. Los ensayos pertinentes a este ensayo se encuentran en el anexo # 4.

A continuación, se muestra una gráfica con información general del límite líquido y índice de plasticidad en conjunto de los tres pozos, para una mayor comprensión.



Gráfica 17 LL Vs profundidad y IP vs profundidad

Como se observa la gráfica # 17 los mayores LL se presentan del metro 2 al 15 y los mayores IP se presentan del metro 4 al 15, mientras los menores LL e IP se presentan del metro 18 a 26. Se observar que los tres pozos presentan valores del LL y IP similares entre sí, a pesar de tratarse de un material complejo.

6.4 ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO

A medida que se avanza con los análisis del estrato de suelo, una característica que se presenta en la mayoría de las muestras es el olor putrefacto proveniente de un suelo orgánico, al igual que pequeños fragmentos de material vegetal descompuesto. En la planificación de la investigación sobre la base de información preliminar se esperaba que se trate de un suelo orgánico tipo OH u OL con contenidos de materia orgánica alrededor de un 20%. Bajo esta hipótesis originalmente no se planificó una verificación de los contenidos de materia orgánica o ceniza, pero los comportamientos inesperados en los ensayos preliminares de consolidación, determinó la necesidad de utilizar un método cuantitativo para la materia orgánica. El método de ensayo y clasificación utilizada fue la ASTM D 2974, resultados que se presentan a continuación:

PSHEL 002 CONTENIDO ORGÁNICO						
METRO	CRISOL + SUELO	CRISOL + SUELO DESPUÉS HORNO DE 60°C	CRISOL + SUELO DESPUÉS DE LA MUFLA	% DE CENIZA	% DE CONTENIDO ORGÁNICO	CLASIFICACIÓN
2,30-2,40	49.09	43.04	40.44	60.65	39.35	SUELO ORGÁNICO
4,10-4,25	49.5	42.24	35.25	33.35	66.65	SUELO ORGÁNICO
5,30-5,45	45.97	38.65	32.98	28.94	71.06	SUELO ORGÁNICO
6,30-6,45	46.1	38.1	29.33	16.28	83.72	TURBA
7,00-7,15	49.9	42.13	31.49	13.89	86.11	TURBA
8,40-8,50	50.26	42.09	32.8	17.05	82.95	TURBA

9,30-9,45	47.56	39.19	33.54	31.54	68.46	SUELO ORGÁNICO
10,00-10,50	66.78	54.49	36.33	14.8	85.2	TURBA
12,30-12,45	51.41	43.13	33.18	21.66	78.34	TURBA
13,20-13,30	71.05	61.72	53.75	52.24	47.76	SUELO ORGÁNICO
14,15-14,30	59.82	53.74	47.05	60.96	39.04	SUELO ORGÁNICO
15,00-15,15	59.35	53.36	47.67	62.6	37.4	SUELO ORGÁNICO
18,00-18,15	64.18	57.05	48.23	56.29	43.71	SUELO ORGÁNICO
19,00-19,15	66.99	59.48	52.61	64.86	35.14	SUELO ORGÁNICO

Tabla 30 *Contenidos orgánicos y de ceniza del PSHEL 002*

Como se observa en la tabla # 30 los contenidos orgánicos determinado por el ensayo ASTM D2974 realizado del pozo PSHEL 002 rebasan por mucho los valores esperados, incluso se presentaron tramos de turba en ciertos metros. Autores como Bujan y Terzaghi proponen que un suelo orgánico se lo considera como tal, cuando tiene contenidos orgánicos desde un 20% a un 75% y pasado los 75% se los considera como turbas. Ingenieros geotécnicos rusos asumen que la turba es un suelo que contiene más del 50% de su peso, mientras que Hobbs sugiere que una turba es aquel suelo que tiene más del 27.5% de materia orgánico. (Bujang B.K: Huat, 2014, pág. 17). Para la clasificación presentada en la tabla # 3, se basó en la norma ASTM D4427-18 la cual clasifica a los suelos orgánicos como se muestra en la tabla # 34. Los cálculos se encuentran en el Anexo # 5

Se determina la clasificación a través de:

Rango de contenido orgánico (ASTM D4427-18)		
Tipo de suelo básico	Descripción	Contenido orgánico (%)
arcilla, limo, arena	ligeramente orgánico	2-20

suelo orgánico		25-75
Turba		>75

Tabla 31 Rangos de contenido orgánico. Obtenido de la norma ASTM D4427-18

Al contar con contenidos orgánicos elevados, se presentan ciertos problemas que no se tenían previstos, tanto para realizar los ensayos de laboratorio, como en la clasificación del suelo, por lo que ciertos ensayos y análisis redireccionaron el enfoque de la investigación hacia el contenido orgánico. Para poder validar los datos de contenido orgánico del pozo PSHEL 002 presentados en la tabla # 30, se realizó un ensayo de contenido orgánico del metro 6 perteneciente al pozo PSHEL 001. Se obtuvo como resultado un 88% de materia orgánica. Como se observa en la tabla # 30 el porcentaje de materia orgánica obtenida en el metro seis es del 83.72%, con la cual a pesar de no haber realizado el ensayo de contenido orgánico en el pozo PSHEL 001 y PSPT 001, se puede decir que los datos obtenidos del PSHEL 002, son representativos del lugar de perforación.

6.5 ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA

En la obtención de la gravedad específica (Gs) se utilizó la norma ASTM D854-14. El ensayo fue ejecutado en muestras que fueron obtenidas, a cada metro de perforación, de la maniobra del sondeo con tubo shelby PSHEL 002. De cada muestra, por metro de prospección, se realizaron tres ensayos de gravedad específica por cada metro. A continuación, se presenta los valores de Gs obtenidos.

PSHEL 002 GRAVEDAD ESPECIFICA			
METROS	GS ENSAYO 1	GS ENSAYO 2	GS ENSAYO 3
2	2.45	2.45	2.43
4	2.43	2.31	2.38
5	2.32	2.37	2.24
6	1.12	1.99	1.11
7	1.32	1.30	1.20
8	2.27	2.03	2.11
9	1.84	1.36	2.16

10	2.34	2.34	2.34
12	2.07	2.40	2.07
13	2.35	2.60	2.61
14	2.53	2.49	2.55
15	2.59	2.62	2.71
18	2.60	2.58	2.59
19	2.52	2.52	2.52

Tabla 32 Gravedad específica PSHEL 002

Como se observa en la tabla # 32 los valores del GS oscilan entre 1.11 a 2.71, siendo los valores más bajos en las zonas donde se encuentra mayor contenido de suelo orgánico. En la tabla # 6 obtenida del libro de Joseph e. Bowles, muestra valores de GS para limos orgánicos entre 2.65 a 2.69, con lo cual los valores reportados en la tabla # 32 salen de los rangos presentados por Bowles. Mientras que, Juárez Badillo (BADILLO, 2005, pág. 77) reporta valores de GS de hasta 1.5 en turbas y en arcillas orgánicas valores entre 2.2 y 2.6, con lo cual se ajustan a lo presentado en la tabla # 32. Como se explicó en el punto 5.5 los valores de contenido orgánico que se esperaba encontrar eran de alrededor del 20% o menos. Sin embargo, los valores determinados en los ensayos superaron el 35% incluso llegando a reportar valores mayores al 75% siendo estos considerados como turbas. Los valores de gravedad especifican (GS) reportados en los metros 6, 7, 8 y 12 fueron los que presentaron mayor dificultad debido a su alto contenido de materia orgánica. La norma ASTM D854-14 estipula que; para suelos con altos contenidos orgánicos (turba) se debe utilizar querosén y una bomba para este tipo de líquidos, con el propósito de obtener un valor más confiable. Al no contar en el laboratorio con este tipo de insumos, se decidió volver a realizar el ensayo de gravedad específica, como estipula la norma ASTM D854-14, de los metros donde los valores de GS se encontraban fuera de los rangos antes mencionados. En los metros 6 y 7 se obtuvieron valores de GS entre 1.08 y 1.32 por lo cual se volvió a realizar el ensayo de gravedad específica. Se calculó un promedio y se realizó un análisis simple de eliminación de datos más alejados de los valores obtenidos y se realizó un promedio de los restantes que se lo denominó promedio 2. Los cuales se encuentran en la tabla # 33

PSHEL 002 GRAVEDAD ESPECIFICA						
PROFUN DIDAD	GS ENSAYO 1	GS ENSAYO 2	GS ENSAYO 3	GS ENSAYO 4	PROMEDIO	PROMEDIO 2
2	2.45	2.45	2.43		2.44	2.44
4	2.43	2.31	2.38		2.37	2.41
5	2.32	2.37	2.24		2.31	2.35
6	1.12	1.08	1.11	1.99	1.33	1.99
7	1.32	1.3	1.2	2.01	1.46	2.01
8	2.27	2.03	2.11		2.14	2.19
9	1.84	1.36	2.16		1.79	2.16
10	2.34	2.34	2.34		2.34	2.34
12	2.07	2.4	2.07		2.18	2.18
13	2.35	2.6	2.61		2.52	2.52
14	2.53	2.49	2.55		2.52	2.52
15	2.59	2.62	2.71		2.64	2.67
18	2.6	2.58	2.59		2.59	2.59
19	2.52	2.52	2.52		2.52	2.52

Tabla 33 Valores de GS promedios PSHEL 002

Obtenido los valores de GS de los metros 6 y 7, sus promedios del pozo PSHEL 002, se realizará un análisis con el fin de cuantificar los valores de GS y realizar un análisis cualitativo. Los resultados obtenidos en promedio presentan valores de GS que se encuentran en un rango entre 1.30 a 2.64, teniendo en cuenta la tabla #6 presentada en el capítulo 4.4.1, donde se presenta valores para un limo orgánico en rangos de 2.65 - 2.69, por lo cual los valores presentados en la columna promedio no se encuentran dentro del rango para un limo orgánico.

Los resultados obtenidos del promedio 2, presenta valores de GS en rangos de 1.99 – 2.67, teniendo en cuenta la tabla #6, el único valor que se encuentran dentro de estos rangos, es el metro 15. Por lo tanto, los valores de GS presentados en esta investigación al contar con

altos contenidos de materia orgánica se deben justificar con valores de GS para Turbas o suelos altamente orgánicos. Como se mencionó en el presente capítulo, los valores de turbas se encuentran alrededor de 1.5 mientras que para suelos con altos contenido orgánico entre 2.2 – 2.6, con lo cual los rangos presentados en la columna promedio 2 se acoplan a los valores de GS previamente mencionados. Los valores de GS presentados en la columna promedio 2 serán los valores de GS que se utilizara en la presente investigación.

6.6 RELACIONES FUNDAMENTALES

Para obtener las relaciones fundamentales se utilizó la norma ASTM D7263-09(2018) e2. Las muestras utilizadas en el ensayo fueron tomadas de los siguientes pozos PC 001, PSHEL 001 Y PSHLE 002. Los resultados presentados de los pozos PSHEL 001 y PC 001 fueron proporcionadas por el laboratorio de suelos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (investigación Microzonificación geotécnica, quito). El valor de GS utilizado por el laboratorio fue de 2.6, siendo un valor asumido. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

PSHEL 001 RELACIONES FUNDAMENTALES							
METROS	GS	e	d hum gr/cm3	d seca gr/cm3	W%	S%	n%
2	2.6	1.04	1.78	1.27	39.59	98.84	51.01
4	2.6	10.54	0.23	1.05	360.7	89.73	91.27
6	2.6	5.15	0.42	1.19	181.15	91.53	73.73
7	2.6	4.06	1.28	0.51	95.47	95.47	80.25
8	2.6	7.41	1.1	0.31	256.57	89.99	88.11
9	2.6	7.54	1.12	0.3	268.3	92.48	88.29

Tabla 34 Relaciones fundamentales PSHEL 001. Obtenidos del informe (PUCE, 2019)

PC 001 RELACIONES FUNDAMENTALES							
METROS	GS	E	d hum gr/cm3	d seca gr/cm3	W%	S%	n%
13	2.6	3.22	1.02	0.62	65.32	52.74	76.3
14	2.6	9.96	1.04	0.24	339.27	88.6	90.87
14.5	2.6	4.68	1.08	0.46	137	761	82.4

16	2.6	1.77	1.52	0.94	61.93	91.01	63.89
18	2.6	3.26	1.25	0.61	104.96	83.73	76.52
19	2.6	4.23	1.24	0.5	149.85	92.16	80.87
20	2.6	2.83	1.37	0.68	101.02	92.88	73.88
21	2.6	3.24	1.3	0.61	111.36	89.29	76.43
22	2.6	2.37	1.4	0.77	81.42	89.28	70.34
23	2.6	2.88	1.36	0.67	103.41	93.47	74.2
24	2.6	2.34	1.41	0.78	81.55	90.69	70.04
25	2.6	3.49	1.31	0.58	125.53	93.58	77.72
26	2.6	2.96	1.33	0.66	102.18	89.83	74.73
27	2.6	0.97	1.76	1.32	32.95	88.76	49.11

Tabla 35 Relaciones fundamentales PC 001. Obtenidos del informe (PUCE, 2019)

PSHEL 002 RELACIONES FUNDAMENTALES								
METROS	GS	e	d hum gr/cm3	d seca gr/cm3	W%	S%	n%	CONTENIDO ORGANICO
2	2.44	1.53	1.57	0.96	55.57	88.37	60.54	39.35
4	2.41	2.12	1.45	0.77	95.49	108.65	67.93	66.65
5	2.35	1.44	1.55	0.96	55.57	90.63	59.03	71.06
6	1.99	2.78	1.26	0.53	123.39	88.27	73.56	83.72
7	2.01	6.42	1.14	0.27	298.67	93.45	86.53	86.11
8	2.19	1.27	1.52	0.96	220.00	95.47	56.04	82.95
9	2.16	1.97	1.39	0.73	93.66	102.76	66.32	68.46
10	2.34	1.30	-	-	188.00			85.20
12	2.18	2.71	1.32	0.59	203.90	163.86	73.07	78.34
13	2.52	2.86	1.39	0.65	121.78	107.33	74.09	47.76
14	2.52	1.98	1.51	0.85	29.23	37.25	66.41	39.04
15	2.67	2.00	1.56	0.89	68.91	91.99	66.67	37.40
18	2.59	1.15	1.74	1.20	43.72	98.31	53.53	43.71

19	2.52	1.95	1.51	0.85	37.73	48.69	66.13	35.14

Tabla 36 Relaciones fundamentales PSHEL 002

En las tablas #34 y #35 proporcionadas por el laboratorio de la universidad católica, la relación de vacíos (e) que se presenta es alta, llegando a tener valores alrededor de 1 – 4 en el PC011, mientras que en PSHEL 001 presenta valores entre 4 – 10, siendo esta la zona donde se encontró mayor contenido orgánico. Al no contar con valores de GS propios estos valores no son 100% representativos. Los porcentajes de contenido de humedad se mantienen altos alrededor de 100% a 250% en ambas tablas.

Los valores presentados en la tabla #36 se calcularon considerando los GS presentados en el capítulo 6.6. La relación de vacíos (e) se encuentran alrededor de 1.10 – 2.9, excepto el metro 7 que presenta un valor de (e) de 6.4, como se puede observar los valores de (e) son diferentes a los presentados en las tablas # 35 y # 36 por lo que, al contar con un GS más confiable, obtenido en laboratorio, los valores índices podrían calificarse, así mismo con confiables sin que ciertamente sean reales. Los valores de contenido de humedad son variables; del metro 2 al metro 4 se presentan valores alrededor 50% - 100%, del metro 6 al metro 13 se encuentran en 100% – 200% y del metro 14 al metro 19 presenta valores de 30% - 70%. El mayor porcentaje de contenido de humedad se encuentra en la zona con altos contenidos orgánicos y éste disminuye en zonas con menor contenido orgánico.

Los cálculos de gravedad especifican presentadas en esta investigación se encuentran en el anexo # 6.

Tipo de suelo	Relación de vacíos, e	Contenido natural de humedad en un estado saturado (%)	Peso unitario seco, γ_d (kN/m³)
Arena uniforme floja	0.8	30	14.5
Arena uniforme densa	0.45	16	18
Arena limosa angular de grano flojo	0.65	25	16
Arena limosa angular de grano denso	0.4	15	19
Arcilla dura	0.6	21	17
Arcilla blanda	0.9–1.4	30–50	11.5–14.5
Loess	0.9	25	13.5
Arcilla orgánica suave	2.5–3.2	90–120	6–8
Cajón glacial	0.3	10	21

Ilustración 13 Valores de relación de vacíos, humedad y peso seco de algunos suelos. Obtenidos de (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)

De acuerdo con la ilustración # 13, las densidades secas de una arcilla orgánica suave (blanda) son bajas comparadas con cualquier otro tipo de suelo. Se puede constatar que las densidades presentadas en las tablas # 34, 35 y 36 se asemejan a valores de la arcilla orgánica. De igual manera los contenidos de humedad para arcillas orgánicas son altas y se asemejan a los valores presentados. En la tabla # 36 a partir del metro 15 se observa que la densidad seca empieza a subir a medida que el porcentaje de agua disminuye, siendo estos últimos metros donde el porcentaje de contenido orgánico disminuye.

6.7 ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

Con los resultados obtenidos de la composición granulométrica del suelo obtenidos de los pozos prospectados, del análisis de las propiedades índice, de la cuantificación del contenido orgánico y características de consistencia se determinó realizar los ensayos de consolidación, en los metros del 4 al 8, y del metro 13 en adelante obtener una segunda campaña de consolidación en suelos menos blandos, y así poder tener dos estratos para su respectivo análisis.

De los resultados obtenidos en los ensayos se evalúa inicialmente el valor del OCR, el cual es la relación entre el esfuerzo obtenido en el ensayo de preconsolidación y el esfuerzo al cual se encuentra sometido el suelo en la actualidad. Los valores de OCR obtenidos son alrededor de 0.9 calificando al depósito como un suelo normalmente consolidado, lo cual significa que durante su vida geológica no ha soportado las cargas sometidas en laboratorio. Las cargas de laboratorio varían según la profundidad de la muestra. Se calculó los esfuerzos efectivos en cada punto, y desde este valor se empezó a cargar el doble a cada estado de carga, por lo cual efectivamente los valores de OCR estipulados deben ser cercanos a 1. Los cálculos del OCR se encuentran en el anexo # 9.

En un primer análisis de los resultados, bajo el alcance y aproximaciones de la norma ASTM D2435, la identificación de cambios en la curva, como manifestaciones de la terminación de la consolidación primaria y secundaria no fue clara. Por la razón señalada, fue necesario para las muestras del pozo PSHEL 002 dejar más tiempo y utilizar equipos de consolidación

manuales, como se explicó en el capítulo 5.4 de metodología. Se realizó esta modificación para poder obtener más información y observar con más detalle las curvas. A continuación, se presentan los resultados del C_v . Obtenidos del pozo PSHEL 002.

C_v

Nota: las abreviaturas colocadas a lado de las muestras son la identificación de los odómetros.

METRO 4		
cm²/seg		
CARGAS	Muestra 2V	
Kg/cm²	Cv TAYLOR	Cv CASA GRANDE
0.5	5.0E-03	7.80E-03
1	2.9E-03	3.60E-02
2	2.8E-02	1.80E-02
4	1.7E-02	5.60E-02
8	6.6E-04	8.83E-06
m²/años		
CARGAS	Muestra 2V	
Kg/cm²	Cv Taylor	Cv casa grande
0.5	1.57E+01	2.46E+01
1	9.27E+00	1.14E+02
2	8.97E+01	5.68E+01
4	5.31E+01	1.77E+02
8	2.09E+00	2.78E-02

Tabla 37 Cálculos del coeficiente de consolidación y índice de compresibilidad metro 4 PHEL 002

METRO 5				
Cm²/seg				
CARGAS	Muestra 1V		Muestra 1'V	
Kg/cm²	Cv Taylor	Cv casa grande	Cv Taylor	Cv casa grande
0.5	5.23E-03	3.81E-03	6.38E-03	5.08E-03

1	3.41E-03	2.43E-03	2.56E-03	1.98E-03
2	4.99E-03	2.43E-03	2.74E-03	2.97E-03
4	3.69E-03	6.67E-03	7.11E-03	4.64E-03
8	-	-	2.94E-03	3.95E-03
m²/años				
CARGAS	Muestra 1V		Muestra 1'V	
Kg/cm²	Cv Taylor	Cv casa grande	Cv Taylor	Cv casa grande
5	1.65E+01	1.20E+01	2.01E+01	1.60E+01
1	1.08E+01	7.65E+00	8.08E+00	6.23E+00
2	1.57E+01	7.65E+00	8.64E+00	9.35E+00
4	1.16E+01	2.10E+01	2.24E+01	1.46E+01
8	-	-	9.27E+00	1.25E+01

Tabla 38 Cálculos del coeficiente de consolidación y índice de compresibilidad metro 5 PHEL 002

METRO 8				
cm²/seg				
CARGAS	Muestra S70		Muestra AE137	
Kg/cm²	Cv Taylor	Cv casa grande	Cv Taylor	Cv casa grande
1.14	1.97E-03	4.81E-03	2.53E-03	4.81E-03
1.28	2.30E-02	2.46E+01	-	-
2.56	8.75E-04	1.51E-03	2.22E-03	4.41E-03
5.12	8.42E-04	1.29E-03	1.86E-03	1.76E-03
10.24	3.56E-04	7.15E-04	1.76E-03	1.17E-03
2.048	-	-	1.64E-03	1.06E-03
m²/años				
CARGAS	Muestra S70		Muestra AE137	
Kg/cm²	Cv Taylor	Cv casa grande	Cv Taylor	Cv casa grande
1.14	6.21E+00	1.52E+01	7.98E+00	1.52E+01

1.28	7.27E+01	7.76E+04	-	-
2.56	2.76E+00	4.76E+00	7.01E+00	1.39E+01
5.12	2.65E+00	4.07E+00	5.86E+00	5.56E+00
10.24	1.12E+00	2.25E+00	5.54E+00	3.71E+00
2.048	-	-	5.17E+00	3.33E+00

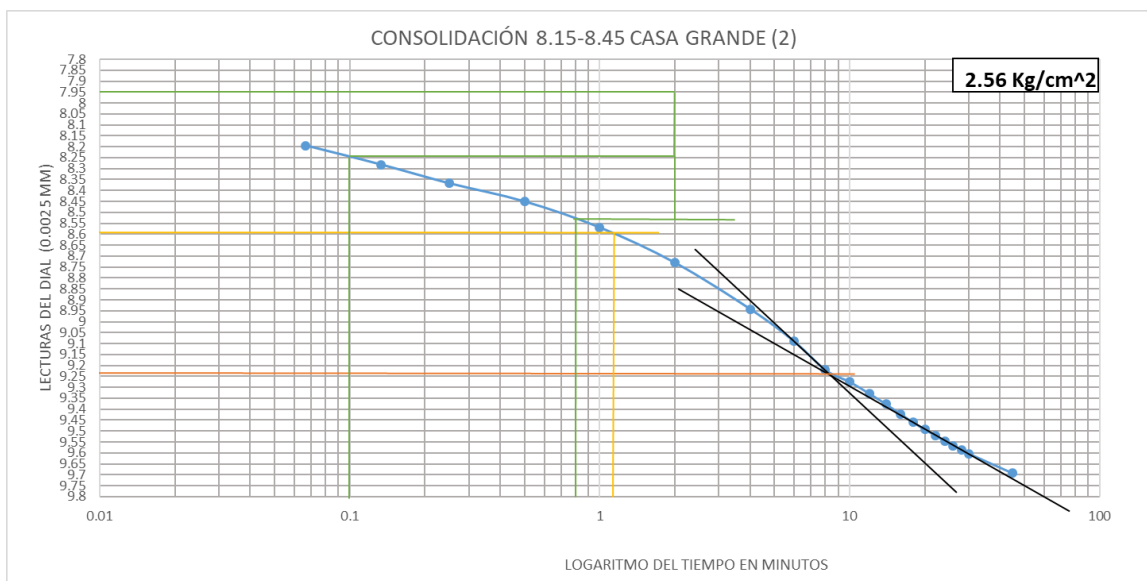
Tabla 39 Cálculos del coeficiente de consolidación y índice de compresibilidad metro 5 PHEL 002

METRO 13		
Cm²/seg		
CARGAS	Muestra 1V	
Kg/cm²	Cv Taylor	Cv casa grande
0.775	3.60E-02	3.78E-02
1.55	2.30E-02	9.13E-03
3.1	1.60E-02	5.30E-02
6.2	1.88E-03	1.89E-02
14.4	1.09E-03	5.30E-03
m²/años		
CARGAS	Muestra 1V	
Kg/cm²	Cv Taylor	Cv casa grande
0.775	1.14E+02	1.19E+02
1.55	7.27E+01	2.88E+01
3.1	5.05E+01	1.67E+02
6.2	5.93E+00	5.96E+01
14.4	3.43E+00	1.67E+01

Tabla 40 Cálculos del coeficiente de consolidación y índice de compresibilidad metro 13 PHEL 002

Para hacer un análisis a la par se hicieron dos consolidaciones obtenidas del pozo PSHEL 002, debido a la pandemia mundial que se desató a finales del 2019 y paralizó todo tipo de actividades a partir del mes de marzo 2020, fue imposible terminar con todos los ensayos de consolidación previstos, por esta razón solo se presentan los resultados obtenidos del metro 4,5,8 y 13.

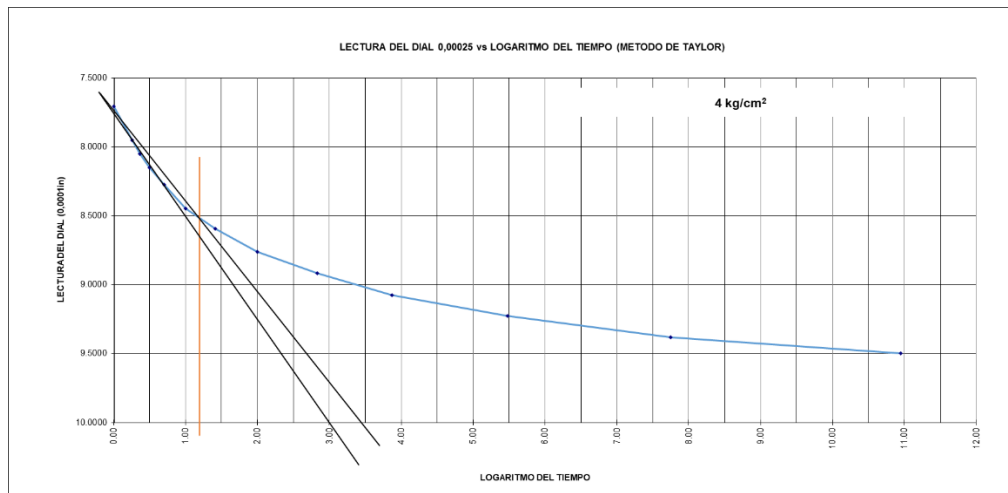
Para el cálculo del coeficiente de consolidación, fue necesario un análisis exhaustivo de las curvas obtenidas, que se presentan en el anexo # 7. En el cual se encontró un cierto comportamiento singular en cada uno de ellos. Se detectó que la consolidación primaria se presentaba entre un rango de 5 a 30 minutos, y en ciertos casos se presentó antes de los 5 minutos. Este fenómeno no se observó con claridad en las curvas del pozo PSHEL 001, debido a que al realizo con equipos automáticos, el equipo registraba los puntos en un cierto tiempo predeterminado el cual no permitía observar este parámetro. Al notar este patrón en la mayoría de las curvas, se verificó que la consolidación primaria se presenta en los primeros minutos. Varios autores como Bujan o Dhowian & Edil reportan que, al momento de hacer ensayos en suelos altamente orgánicos y turbas, encontraron que la disipación de exceso de poros se completa casi en su totalidad en los primeros 10 minutos, dando como finalizada la consolidación primaria. Eso se presenta en el primer estado de carga y a medida que se aumenta el estado de carga este tiempo se va alejando de los 10 minutos. A continuación, se muestra una gráfica típica de consolidación donde se muestra lo explicado.



Gráfica 18 Curva de consolidación 8.15-8.45 [m] Casa Grande PSHEL 002

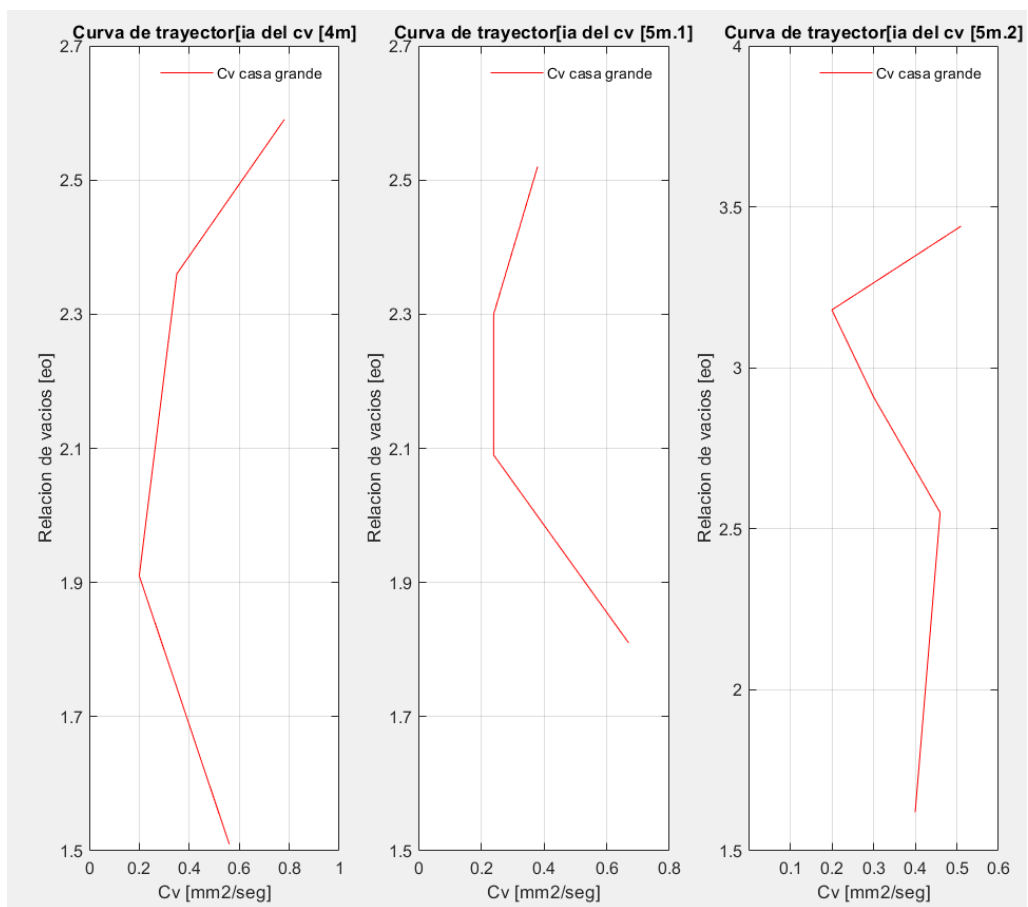
En la gráfica # 18, para poder encontrar la consolidación primaria, se amplió la gráfica con el objetivo de observar el cambio de pendiente, siendo este el punto donde la disipación de poros termina y se considera el 100% de la consolidación primaria. Como se observa el

tiempo de consolidación se encuentra en el rango de los 10 primeros minutos, coincidiendo con lo ya reportado por algunos autores. Estos comportamientos se presentan de igual manera por el método de Taylor donde el T_{90} es de 1.17 minutos, como se muestra en la gráfica # 19, dando que la consolidación primaria se presenta en los primeros minutos del ensayo.

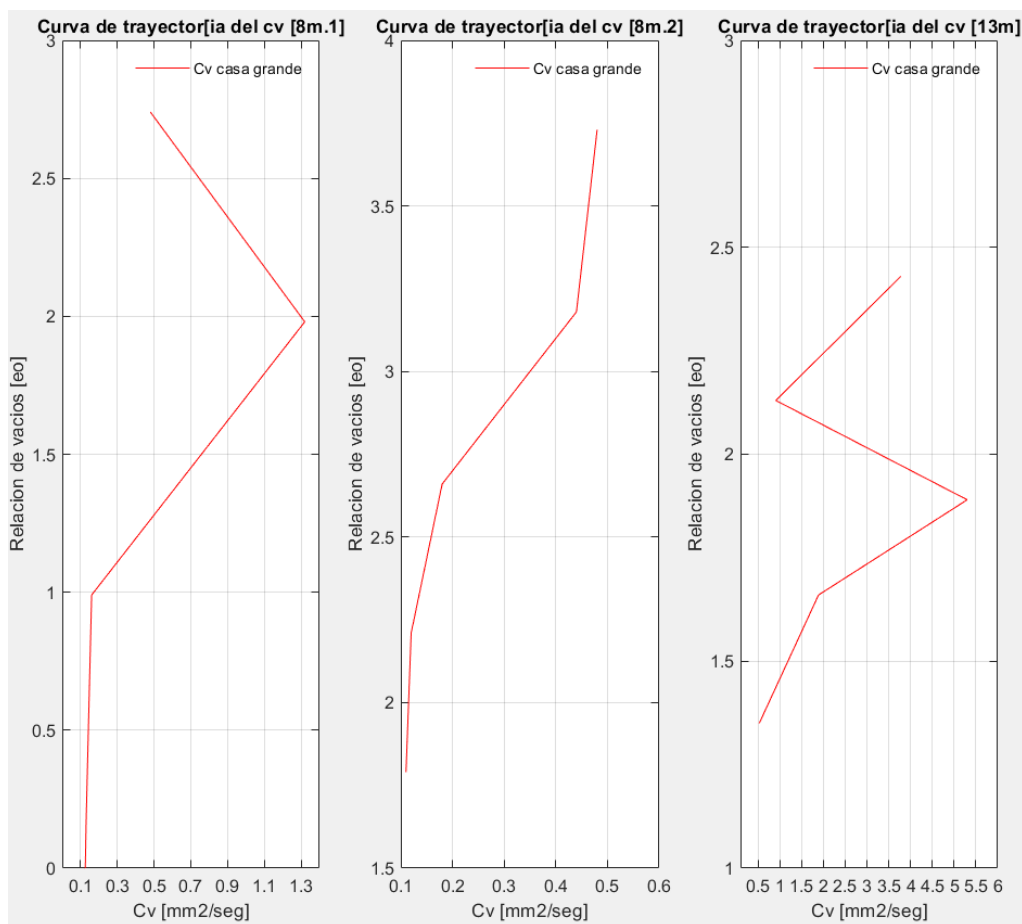


Gráfica 19 Curva de consolidación 4.10-4.25 [m] Taylor PSHEL 002

Como se puede observar en las tablas 37, 38, 39 y 40 el valor de c_v tanto por el método de Casa Grande y Taylor, presenta cierta similitud, los valores se presentan entre 10^{-2} y 10^{-4} cm/seg², dado que el coeficiente de consolidación no es constante y depende tanto de su conductibilidad hidráulica, así como de su estado de carga, podemos decir que los valores van acordes uno de otro. A continuación, se muestran las curvas de C_v , de las muestras 4, 5, 8 y 13, donde se observa lo siguiente.

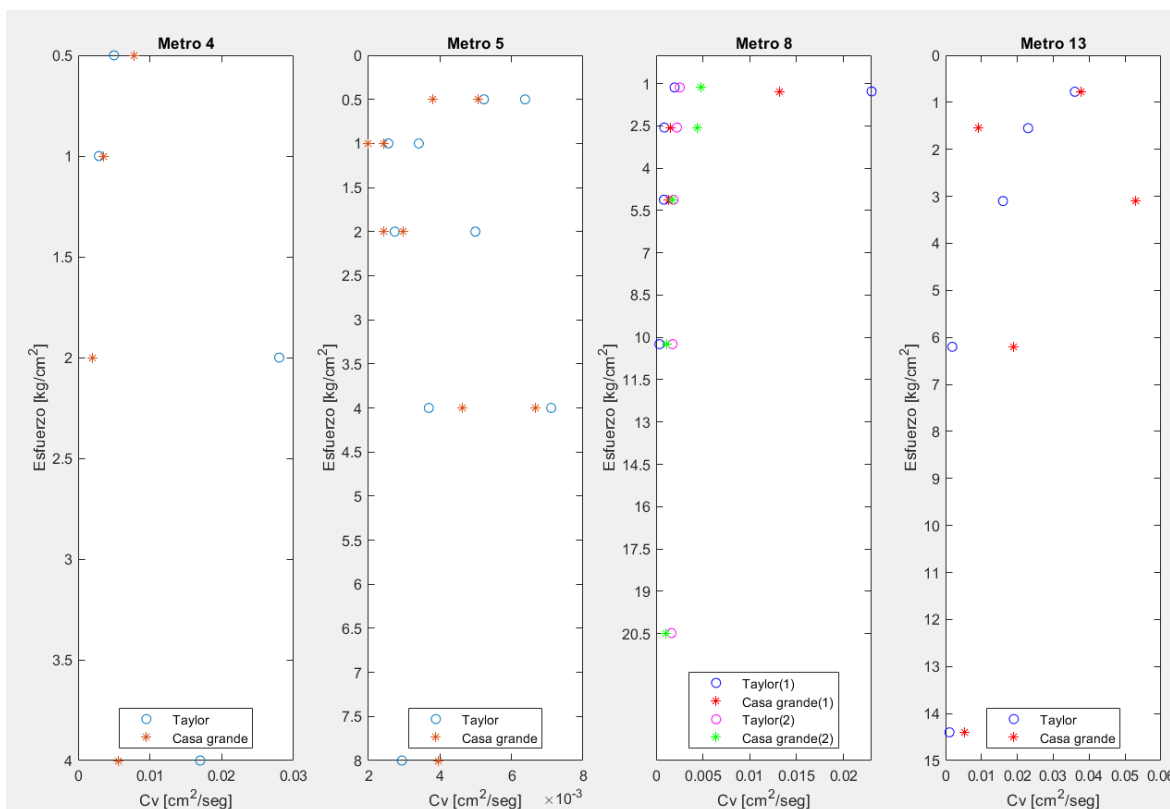


Gráfica 20 Curvas de C_v del metro 4 y 5.



Gráfica 21 Curvas de C_v del metro 8 y 13.

En las gráficas # 20 y 21, el valor de C_v presenta una variación respecto a la carga sometida (relación de vacíos), siendo el metro 8 y 13 el que presenta una variación no tan típica respecto a las otras, Se considera que este comportamiento se debe tanto a la presencia de arena en el estrato, a diferencia del metro 4 y 5, así como del importante mayor valor de índice de plasticidad (IP) que posee, nuevamente en comparación con los determinados en el metro 4 y 5. De igual manera, se graficó los valores de C_v obtenidos por Taylor y Casa Grande, como se muestra a continuación.



Gráfica 22 Valores de Cv por Taylor y Casa grande

Como se muestra en la gráfica # 22 los valores obtenidos por Taylor y Casa Grande se asemejan en su mayor parte, con lo cual una opción de verificación de resultados podría ser Taylor para los valores de Cv obtenidos en suelos altamente orgánicos.

El estudio en suelos orgánicos en si representa un reto al momento de su análisis, dado que es un material heterogéneo y la toma de muestras inalteradas es complicada al igual que sus ensayos en laboratorio por lo cual siempre es recomendado comparar los resultados con otras investigaciones. Para ello se encontró un estudio hecho en México para un terraplén donde se presentó una arcilla orgánica de alta plasticidad (OH), de consistencia blanda a muy blanda con contenidos de agua que varían entre 300% y 426%, presentando limites líquidos de 291 a 476, límite plástico de 128 a 138. Un material muy parecido al que se presentó en el sur de quito, este OH presento un Cv de $1.70 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ y un valor corregido de $9.20 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$. Una tesis presentada en el mismo país sobre los fenómenos de consolidación secundaria presentada por Juan Luis Umaña Romero, presenta dos ensayos de consolidación uno a corto

plazo y otro a largo plazo, para las pruebas se utilizó arcillas de alta plasticidad (CH) con contenidos de agua que van de 260% a 220%, con límites líquidos de 360 y índice de plasticidad 270, un material un tanto diferente al que se obtuvo pero con una plasticidad igualmente alta presentado en el suelo del sur de Quito, los valores de c_v presentados en dicha tesis van desde 1.14 E-3 cm/s^2 hasta 7.9E-3 cm/s^2 , por lo cual los valores presentados en las tablas 40,41,42 y 43 se aproximan bastante a los valores presentados en los ensayos realizados en México.

Índice de compresión C_c

Índice de compresión laboratorio C_c		
PROFUNDIDAD	M1	M2
4	1.38	
5	0.95	3.16
8	2.43	1.51
13	1.19	

Tabla 41 índice de compresión [cc]

Con respecto al índice de compresibilidad (C_c), como se observa en la tabla # 41, son valores altos comparados con otro tipo de suelos, dado que para acillas normalmente consolidadas su índice suele varía entre 0.2 – 0.50, y para arcillas con limo se encuentran entre un rango de 0.15-0.30 mientras que arcillas orgánicas pueden llegar a tener valores mayores a 4. Los valores presentados en la tabla # 41, se encuentran alrededor de 1-3, lo cual ya se considera como un material altamente plástico, aportando así una idea de su capacidad de deformación. Una investigación sobre el índice de compresibilidad en arcillas orgánicas en Jacarepagúa, publicada por ICE (institution of civil engineers), presenta datos de C_c que varían entre 1 a 4 con un valor promedio de C_c de 2.5, en un total de 480 muestras obtenidas de 20 lugares diferentes, con lo cual los valores presentados en la tabla # 41 se asemejan bastante. Las curvas de compresión que se encuentran en el anexo # 7.

Índice de compresión Secundaria C_α

Debido al comportamiento de los materiales elegidos para el ensayo de consolidación y posterior decisión de cambiar los tiempos normalizados de consolidación, se decidió realizar un primer análisis contemplando la información generada únicamente en las 24 horas según

exigencia de la norma. Para la obtención de los (α) se analizó las curvas de consolidación y se decidió obtener un (α) cada vez que se presentaba un cambio de pendiente, con lo cual se obtuvo más de un (α) para cada estado de carga. A continuación, se muestran los (α) obtenidos.

METRO 4 PSHEL 002 CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA			
ESTADOS DE CARGA			
0.5 Kg/cm ²		1 Kg/cm ²	
C-alfa 1	0.01	C-alfa 1	0.02
C-alfa 2	0.03	C-alfa 2	0.05
C-alfa 3	0.05	C-alfa 3	0.06
2 Kg/cm ²		4 Kg/cm ²	
C-alfa 1	0.06	C-alfa 1	0.04
C-alfa 2	0.06	C-alfa 2	0.07

Tabla 42 Resultados de (α) del metro 4 en 24h.

METRO 5 PSHEL 002 CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA			
ESTADOS DE CARGA MUESTRA 1			
0.5 Kg/cm ²		1 Kg/cm ²	
C-alfa 1	0.04	C-alfa 1	0.03
2 Kg/cm ²		4 Kg/cm ²	
C-alfa 1	0.03	C-alfa 1	0.03

Tabla 43 Resultados de (α) del metro 5 en 24h. Muestra 1

METRO 5 PSHEL 002 CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA			
ESTADOS DE CARGA MUESTRA 2			
0.5 Kg/cm ²		1 Kg/cm ²	
C-alfa 1	0.06	C-alfa 1	0.06
2 Kg/cm ²		4 Kg/cm ²	
C-alfa 1	0.07	C-alfa 1	0.05
8 Kg/cm ²			
C-alfa 1			0.04

Tabla 44 Resultados de (α) del metro 5 en 24h. Muestra 2

METRO 8 PSHEL 002 CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA			
ESTADOS DE CARGA MUESTRA 1			
1.14 Kg/cm ²		1.28 Kg/cm ²	
C-alfa 1	0.04	C-alfa 1	0.07
		C-alfa 2	0.08

2.56 Kg/cm²		5.12 Kg/cm²	
C-alfa 1	0.09	C-alfa 1	0.1
C-alfa 2	0.27	C-alfa 2	0.17
C-alfa 3	0.05	C-alfa 3	0.04
10.24 Kg/cm²			
C-alfa 1		0.1	
C-alfa 2		0.04	
C-alfa 3		0.05	

Tabla 45 Resultados de (c α) del metro 8 en 24h. Muestra 1

METRO 8 PSHEL 002 CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA			
ESTADOS DE CARGA MUESTRA 2			
1.14 Kg/cm^2		2.56 Kg/cm^2	
C-alfa 1	0.12	C-alfa 1	0.16
		C-alfa 2	0.16
		C-alfa 3	0.05
5.12 Kg/cm^2		10.24 Kg/cm^2	
C-alfa 1	0.13	C-alfa 1	0.05
C-alfa 2	0.05		
20.48 Kg/cm^2			
C-alfa 1		0.05	

Tabla 46 Resultados de (c α) del metro 8 en 24h. Muestra 1

METRO 13 PSHEL 002 CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA			
ESTADOS DE CARGA			
0.775 Kg/cm²		1.55 Kg/cm²	
C-alfa 1	0.21	C-alfa 1	0.04
C-alfa 2	0.07	C-alfa 2	0.06
C-alfa 3	0.06	C-alfa 3	0.07
3.10 Kg/cm²			
C-alfa 1	0.04	C-alfa 4	0.17
C-alfa 2	0.04	C-alfa 5	0.02
C-alfa 3	0.04	C-alfa 6	0.05
6.20 Kg/cm²			
C-alfa 1	0.06	C-alfa 4	0.05
C-alfa 2	0.05	C-alfa 5	0.07
C-alfa 3	0.07		
12.40 Kg/cm²			
C-alfa 1		0.04	

C-alfa 2	0.1
C-alfa 3	0.07

Tabla 47 Resultados de (α) del metro 13 en 24h.

De la tabla 42 hasta 47 se observa que por cada estado de carga se presenta más de un valor de (α) , excepto el metro 5 el cual presenta un solo (α) . Al realizar un análisis de los α , se observa que dichos valores se asemejan uno respecto al otro como es el caso del metro 4 donde cada valor de (α) presenta una variación de ± 0.02 entre sí. Este comportamiento se asemeja bastante en el metro 13 y 8 (muestra 2). El metro 8 (muestra 1) presenta un comportamiento diferente, los valores de (α) por cada estado de carga tiene una variación mayor en su 3er, 4to y 5to estado de carga. Sin embargo, a pesar de obtener varios valores de (α) se nota una clara pendiente a lo largo de la curva de consolidación secundaria, dando como resultado que los valores se asemejan bastante. El metro 5 es un claro ejemplo de una pendiente uniforme en la curva de consolidación secundaria.

Dado que los valores de (α) para cada estado de cargo, presentan una variación mínima se decidió obtener un promedio para así tener un valor representativo de (α) por cada estado, el cual se describirá como (α_1) . También se calculó un (α) para cada estado de cargo, pero asumiendo que existía una sola pendiente a lo largo de la curva de consolidación secundaria, con lo cual se obtuvo un segundo valor de (α) para cada estado de cargo, el cual se simboliza como (α_2) . A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los metros 4, 13 y 8.

METRO 4 PSHEL 002 CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA			
ESTADOS DE CARGA			
0.5 Kg/cm²		2 Kg/cm²	
PENDIENTE (α_1)	0.02	PENDIENTE (α_1)	0.06
PROMEDIO (α_2)	0.03	PROMEDIO (α_2)	0.06
1 Kg/cm²		4 Kg/cm²	
PENDIENTE (α_1)	0.06	PENDIENTE (α_1)	0.06
PROMEDIO (α_2)	0.05	PROMEDIO (α_2)	0.06

Tabla 48 valores de (α_1) y (α_2) del metro 4 en 24h.

METRO 8 PSHEL 002 CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA	
ESTADOS DE CARGA MUESTRA 1	

1.14 Kg/cm ²		2.56 Kg/cm ²	
PENDIENTE (α_1)	0.04	PENDIENTE (α_1)	0.08
PROMEDIO (α_2)	0.04	PROMEDIO (α_2)	0.08
5.12 Kg/cm ²		10.24 Kg/cm ²	
PENDIENTE (α_1)	0.11	PENDIENTE (α_1)	0.1
PROMEDIO (α_2)	0.14	PROMEDIO (α_2)	0.11
20.48 Kg/cm ²			
PENDEINTE (α_1)		0.09	
PROMEDIO (α_2)		0.06	

Tabla 49 valores de (α_1) y (α_2) del metro 8 en 24h. Muestra 1

METRO 8 PSHEL 002 CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA			
ESTADOS DE CARGA MUESTRA 2			
1.14 Kg/cm ²		2.56 Kg/cm ²	
PENDIENTE (α_1)	0.04	PENDIENTE (α_1)	0.08
PROMEDIO (α_2)	0.04	PROMEDIO (α_2)	0.08
5.12 Kg/cm ²		10.24 Kg/cm ²	
PENDIENTE (α_1)	0.11	PENDIENTE (α_1)	0.1
PROMEDIO (α_2)	0.14	PROMEDIO (α_2)	0.11
20.48 Kg/cm ²			
PENDEINTE (α_1)		0.08	
PROMEDIO (α_2)		0.06	

Tabla 50 valores de (α_1) y (α_2) del metro 8 en 24h. Muestra 2

METRO 13 PSHEL 002 CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA			
ESTADOS DE CARGA			
0.775 Kg/cm ²		1.55 Kg/cm ²	
PENDIENTE (α_1)	0.08	PENDIENTE (α_1)	0.06
PROMEDIO (α_2)	0.11	PROMEDIO (α_2)	0.06
3.10 Kg/cm ²		6.20 Kg/cm ²	
PENDIENTE (α_1)	0.05	PENDIENTE (α_1)	0.06
PROMEDIO (α_2)	0.06	PROMEDIO (α_2)	0.06
12.40 Kg/cm ²			
PENDEINTE (α_1)		0.06	
PROMEDIO (α_2)		0.07	

Tabla 51 valores de (α_1) y (α_2) del metro 8 en 24h.

Una vez obtenidos los valores de (α_1) y (α_2) para cada estado de carga, se observa que tanto los valores de (α_1) y (α_2) se ubican dentro de un rango muy pequeño, presentando

una variación de ± 0.01 entre (α_1) y (α_2) , y en algunos casos siendo hasta ± 0.03 . Se puede observar que los valores promedio de (α_1) bastantes parecidos entre cada estado de carga, a excepción del metro 8 donde presentan mayor variación, debido a esto se decidió calcular un promedio de (α_1) y (α_2) para obtener un valor que represente la consolidación secundaria del metro analizado.

METRO 4	
PROMEDIO (α_1)	0.05
PROMEDIO (α_2)	0.05

Tabla 52 valores promedio de (α_1) y (α_2) del metro 4 en 24h.

METRO 5 MUESTRA 1	
PROMEDIO (α_1)	0.03
PROMEDIO (α_2)	0.03
METRO 5 MUESTRA 2	
PROMEDIO (α_1)	0.06
PROMEDIO (α_2)	0.06

Tabla 53 valores promedio de (α_1) y (α_2) del metro 5 en 24h.

METRO 8 MUESTRA 1	
PROMEDIO (α_1)	0.08
PROMEDIO (α_2)	0.09
METRO 8 MUESTRA 2	
PROMEDIO (α_1)	0.09
PROMEDIO (α_2)	0.09

Tabla 54 valores promedio de (α_1) y (α_2) del metro 8 en 24h.

METRO 13 MUESTRA 1	
PROMEDIO (α_1)	0.06
PROMEDIO (α_2)	0.07

Tabla 55 valores promedio de (α_1) y (α_2) del metro 13 en 24h.

Los valores obtenidos fueron prácticamente los mismos con lo cual los valores promedios de (α_1) se utilizarán para representar el valor de (α) correspondiente para cada metro. A continuación, se muestra los resultados obtenidos.

índice de compresión secundaria (α) en 24h

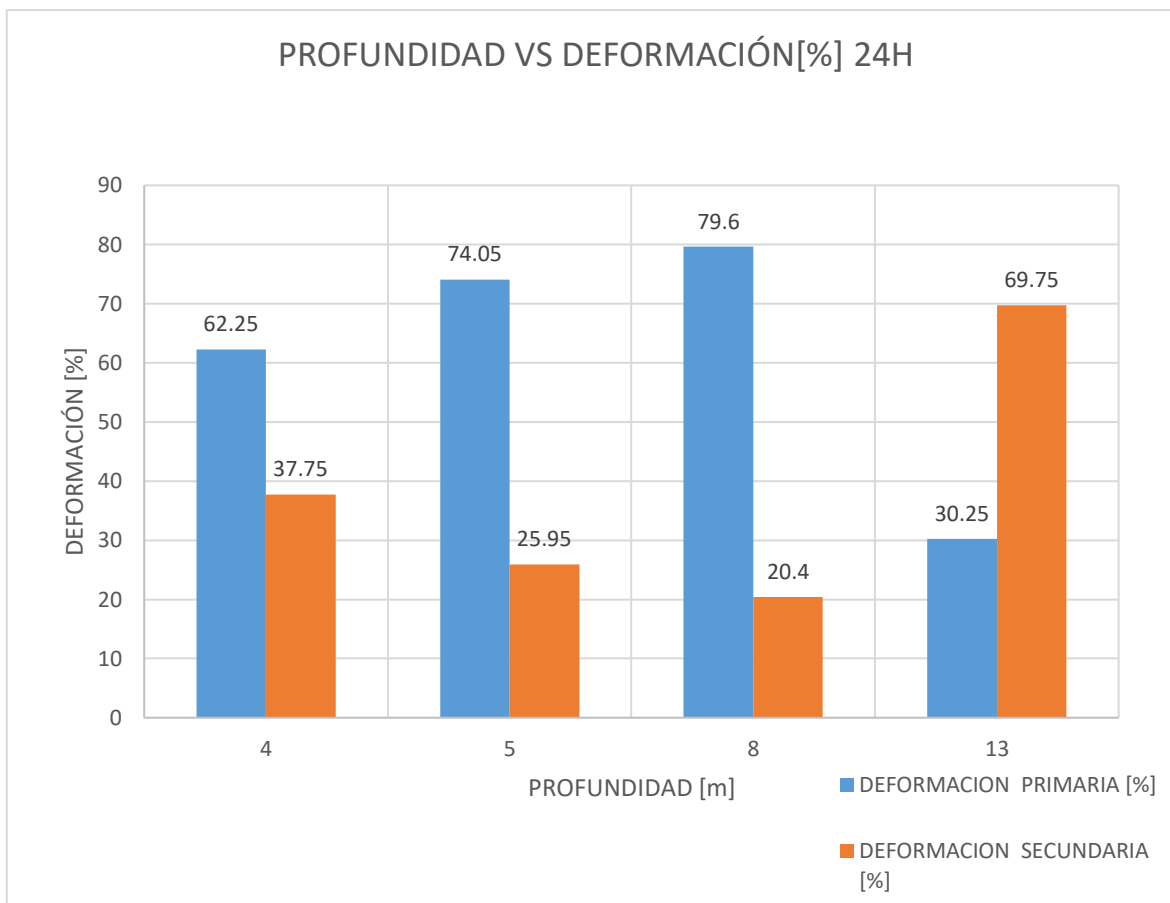
METRO	Muestra 1	Muestra 2
4	0.05	-
5	0.03	0.06
8	0.08	0.09
13	0.06	-

Tabla 56 Índice de compresión secundaria 24h

Los datos obtenidos de la tabla # 56 son el promedio de los índices de compresión secundaria ($c\alpha$) obtenidas para cada estado de carga en 24 horas. Como en algunos estados de carga sobrepasaron las 24 horas de consolidación, se decidió realizar el mismo análisis explicado anteriormente contemplando la información generada más de 24 horas. Los valores de ($c\alpha$) fueron los mismo de la tabla # 56. Los cálculos de ($c\alpha$) se presentan en el Anexo #

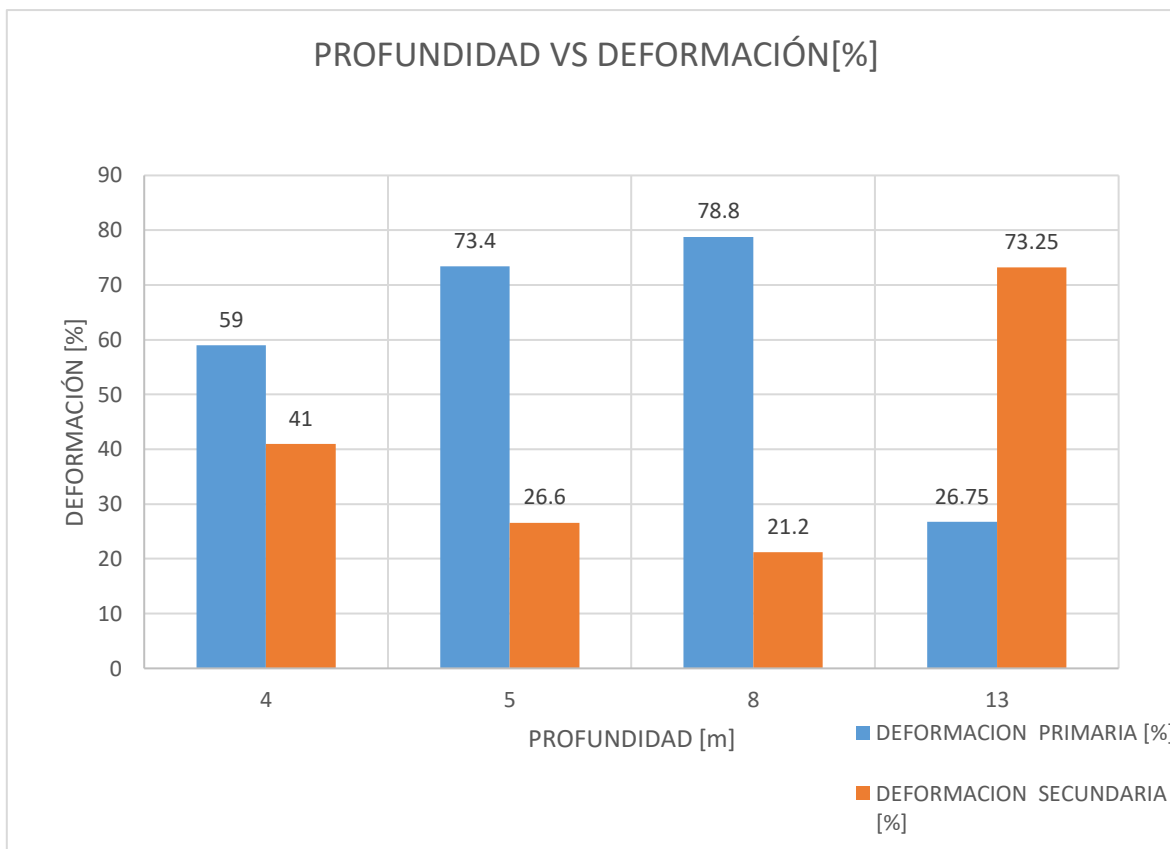
Para la comparación de los valores obtenidos se investigó valores de ($c\alpha$) en suelos orgánicos y turbas. Una investigación realizada por Dowian A.W y Edil T.B en 1980 sobre consolidación en turbas, presenta resultados promedios de ($c\alpha$) de 0.17-0.18, otro autor John N. Cernica en 1982 presentó valores de ($c\alpha$) para suelos orgánicos que van de 0.04 - 0.1, y en 1983 Lee presento valores de ($c\alpha$) para turbas que van de 0.02-0.10, con lo cual los resultados presentados en la tabla # 56 entran en los valores de ($c\alpha$) antes mencionados, comprobando que los valores presentados son valores típicos de suelos orgánicos. Los resultados obtenidos de ($c\alpha$) para cada estado de carga se presentan en el Anexo # 9.

Al contar con consolidaciones ejecutadas con variación de los tiempos de carga se realizó inicialmente una comparación entre la deformación primaria y secundaria con información únicamente obtenida en un tiempo de 24 horas por cada estado, que se presenta a continuación. Se advierte que la consolidación secundaria en estas condiciones no se ha terminado.



Gráfica 23 Profundidad [m] vs deformación [%] en 24 H

En la gráfica # 23 se observa que la deformación secundaria se presenta con porcentajes relativamente altos, siendo el metro 13 el que tiene un mayor porcentaje de deformación secundaria. Como se observa las deformaciones secundaria se encuentran alrededor de un 20% a 70%, de la deformación total en 24 horas.



Gráfica 24 Profundidad [m] vs deformación [%]

En la gráfica # 24 se muestra las deformaciones totales presentadas en los ensayos de consolidación. Como se mencionó anteriormente no todas las muestras tienen el mismo tiempo de consolidación. En la tabla # 56 se muestra los tiempos a los que fueron sometidas cada estado de carga para cada metro, Como se describe, las muestras del metro 5 y 8 son las que menos tiempo fueron sometidas, ajustando más a las 24 horas, mientras que los metros 4 y 13 son los que más tiempo fueron sometidos a los distintos estados de carga. Se observa claramente en la gráfica # 24 como el porcentaje de consolidación secundaria aumenta, dando como resultado un aumento en la consolidación secundaria notable. Mediante los resultados obtenidos, se puede tener una idea de que la consolidación secundaria en este tipo de suelo puede llegar a tener un 60% a 70% de la deformación total.

PSHEL 002 TIEMPOS DE CONSOLIDACIÓN							
Metr o	Estados	Tiempo mim	Tiempo hora	Metr o	Estados	Tiempo mim	Tiempo hora
4	0.5 Kg/cm ²	2880	48				
	1 Kg/cm ²	5820	97				
	2Kg/cm ²	1440	24				
	4Kg/cm ²	2880	48				
5	0.5 Kg/cm ²	1440	24	5	0.5 Kg/cm ²	1440	24
	1 Kg/cm ²	1440	24		1 Kg/cm ²	1440	24
	2Kg/cm ²	1440	24		2Kg/cm ²	1440	24
	4Kg/cm ²	2400	40		4Kg/cm ²	1440	24
					8 Kg/cm ²	3838.99	63.983166 67
8	1.14 Kg/cm ²	1440	24	8	1.14 Kg/cm ²	1440	24
	1.28 Kg/cm ²	2760	46		2.56 Kg/cm ²	1560	26
	2.56 Kg/cm ²	1440	24		5.12 Kg/cm ²	1440	24
	5.12 Kg/cm ²	1440	24		10.24 Kg/cm ³	1680	28
	10.24 Kg/cm ³	5760	96		20.48 Kg/cm ³	1680	28
13	0.775 Kg/cm ²	1440	24				
	1.55 Kg/cm ²	5850	97.5				
	3.10 Kg/cm ²	2820	47				
	6.20 Kg/cm ²	15840	264				
	12.40 Kg/cm ³	4320	72				

Tabla 57 Tiempos de consolidación del pozo PSHEL 002

6.8 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Debido a la pandemia mundial que se presentó en el año 2020, donde las actividades se paralizaron a nivel mundial, no fue factible recolectar la información necesaria para obtener una tendencia de correlación entre índice de compresión (Cc.) y el índice de plasticidad (IP). Por esta razón, se decidió recopilar la mayor cantidad de expresiones publicadas que

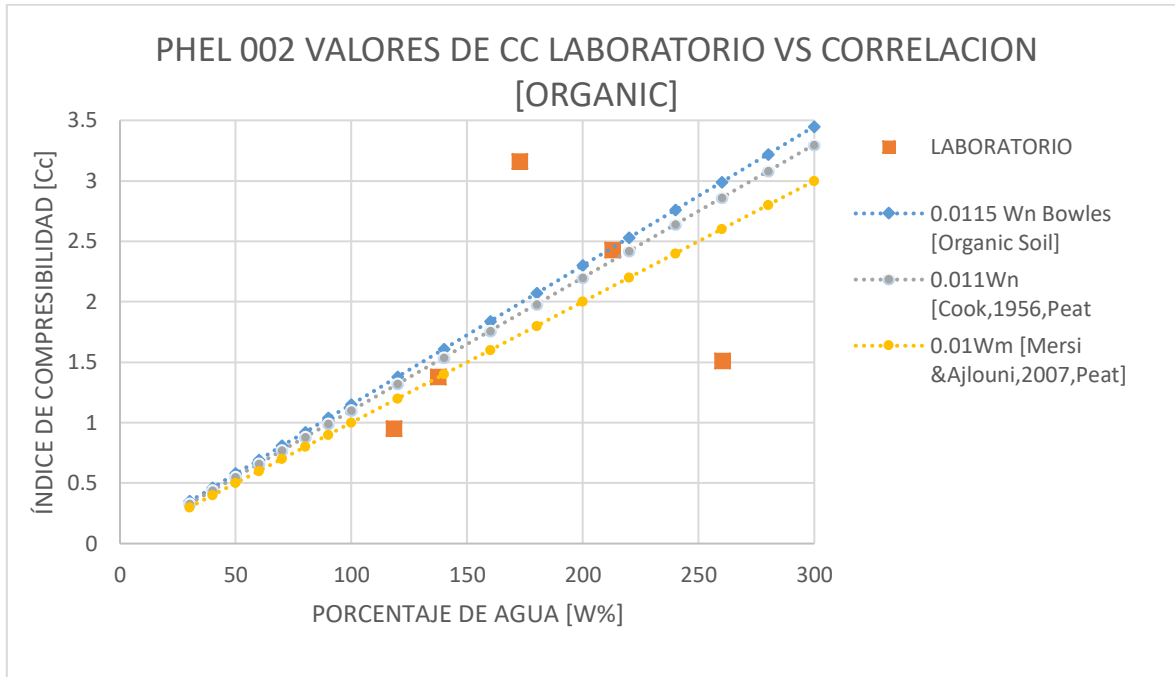
relacionan el Cc con varias propiedades físicas, y verificar la expresión en la cual, los valores obtenidos en esta investigación que mejor se ajuste. Este análisis es fundamentalmente cualitativo. A continuación, en la tabla # 57 se muestra las correlaciones analizadas para el presente análisis.

Correlaciones suelos orgánicos y turbas			
Autor	Año	Correlación	Tipo de suelo
Bowles	1989	0.0115Wn	Organic Soil
MiyaKawa	1960	0.0075Wn	Peat
Cook	1956	0.011Wn	Peat
Sowers	1970	0.6e	Peat
Hough	1957	0.35(e-0.5)	Organic Soil
Mersi & Ajlouni	2007	0.01Wn	Peat
Correlaciones Todos los suelos			
Autor	Año	Correlación	Tipo de suelo
Azzous	1976	0.01Wn-0.05	All Soils
Azzous	1976	0.4(e-0.25)	All Soils
Azzous	1976	0.4(e+0.001Wn-0.25)	All Soils
Correlación Arcillas			
Autor	Año	Correlación	Tipo de suelo
Koppula	1981	0.01Wn	Clay
Herrero	1983	0.01Wn-0.075	Clay
Park, Lee	2011	0.013Wn-0.115	Clay
Azzous	1976	0.006(LL-9)	Clay
Mayne	1980	(LL-13)/109	Clay
Teezaghi,Peck	1967	0.009(LL-10)	Clay
Park, Lee	2011	0.014LL-0.168	Clay
Bowles	1989	0.0046(LL-16)	Clay
McClelland	1967	0.011(LL-16)	Clay
Mayne	1980	0.0092(LL-13)	Clay
Yamagutshi	1959	0.013(LL-13.5)	Clay

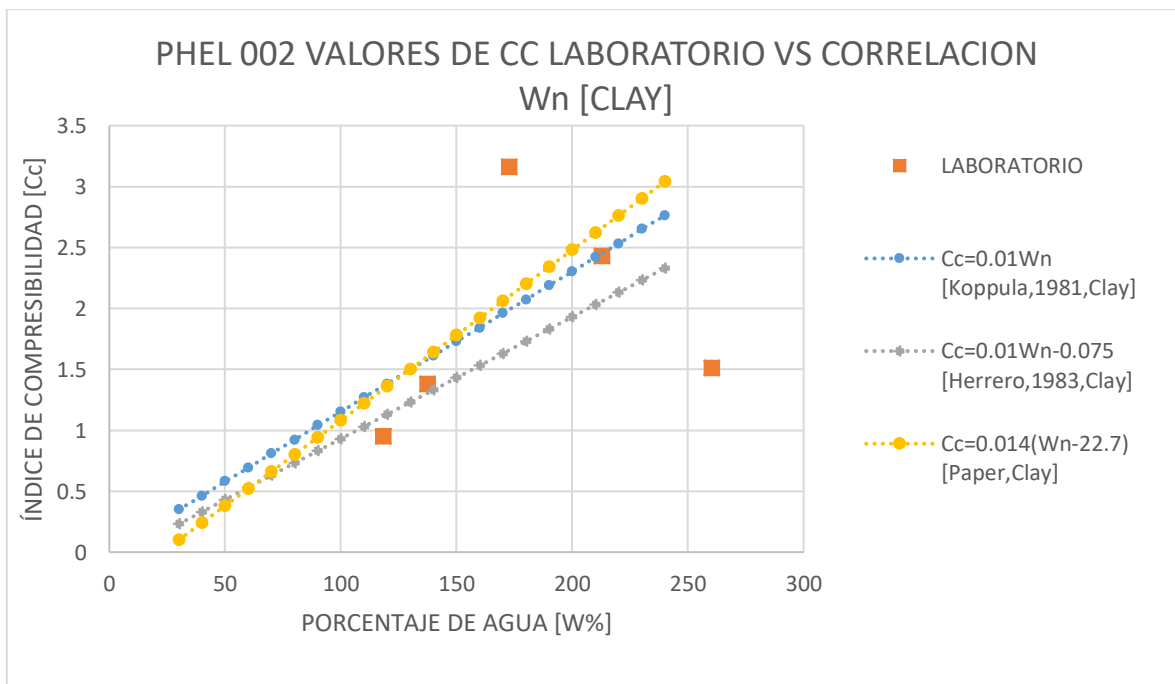
Tabla 58 Recopilación de correlaciones presentada por varios autores

Para el análisis del índice de compresibilidad (CC.), se graficó cada una de las correlaciones presentadas en la tabla # 58 observando un mejor resultado con las expresiones que relaciona el porcentaje de humedad inicial del ensayo. Mientras que, las expresiones que relacionan el Cc con la relación de vacíos y el límite líquido los datos de la investigación se ubican fuera de la tendencia. A continuación, se presentarán las gráficas con las correlaciones más

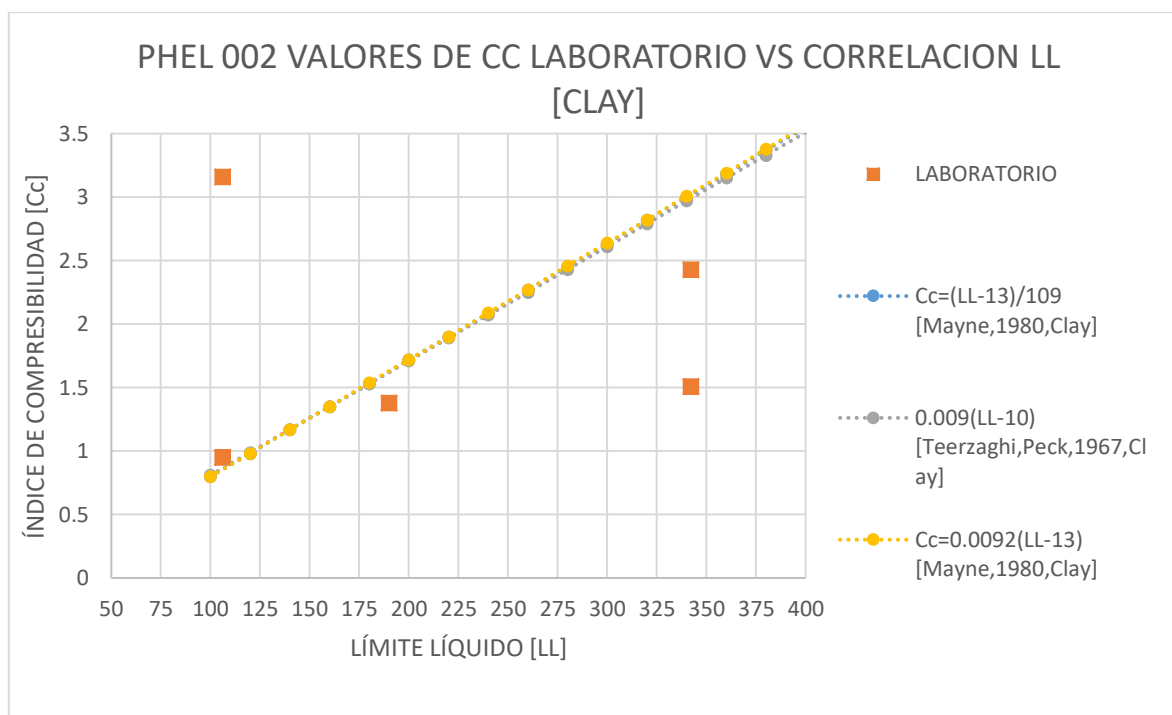
cercanas a los índices de compresibilidad obtenidos del sur de quito, sector el Garrochal tabla # 41.



Gráfica 25 Correlación para suelos orgánicos Vs cc de laboratorio



Gráfica 26 Correlaciones para arcillas de alta plasticidad Vs cc de laboratorio



Gráfica 27 Correlación para arcillas de alta plasticidad Vs cc de laboratorio

En las gráficas # 25, 26 y 27, se presenta las correlaciones que mejor se ajustan a los índices de compresibilidad (Cc) obtenidos en el sur de Quito. Como se observa las correlaciones que dependen del contenido de humedad, son las que mejor se acercan a los datos determinados de Cc en laboratorio. Se puede observar que tanto para suelos orgánicos y arcillas plásticas se presenta un buen ajuste.

Un artículo presentado en el ICE (institution of civil engineers) sobre correlaciones empíricas para el índice de compresión de suelos blandos en Irlanda, realizada por varios autores (McCabe, Sheil, Long, Buggy, & Farrell, 2014), dan a conocer que a lo largo del tiempo grandes investigadores han presentado correlaciones del índice de compresión (Cc.), con el objetivo de corroborar los datos obtenidos por el ensayo de consolidación. Sin embargo, varias de estas correlaciones son específicas para la zona geográfica estudiada, por lo cual recopilamos datos del índice de compresión de una buena distribución geográfica en suelos

blandos de Irlanda, con el objetivo de analizar cuales correlaciones presentadas por varios autores se asemejan a los valores obtenidos, y ajustar a una correlación global. A continuación, se muestran las correlaciones presentadas por el artículo

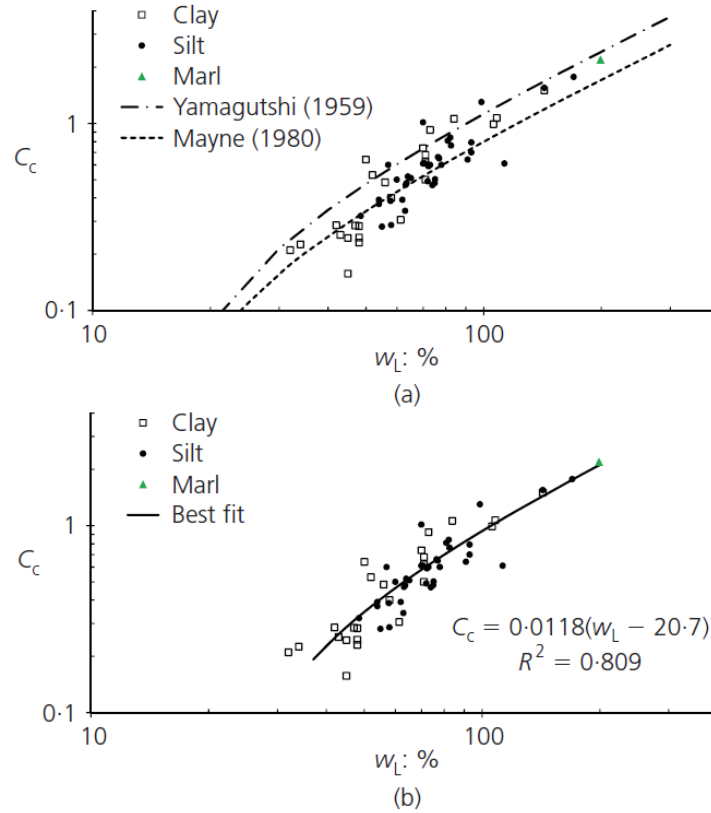


Ilustración 14 Correlación entre el límite líquido y el índice de compresión, obtenido de (McCabe, Sheil, Long, Buggy, & Farrell, 2014)

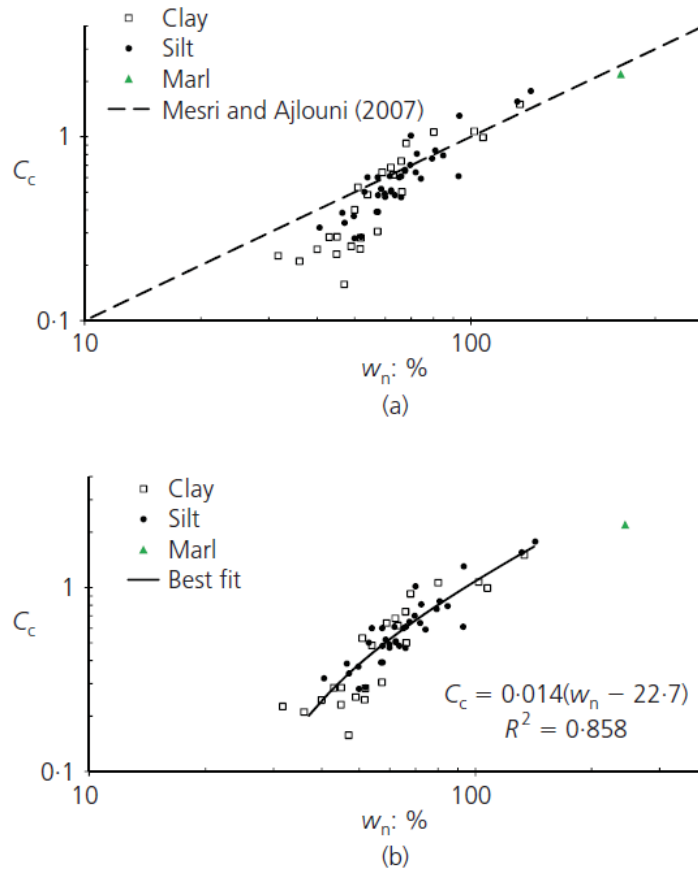
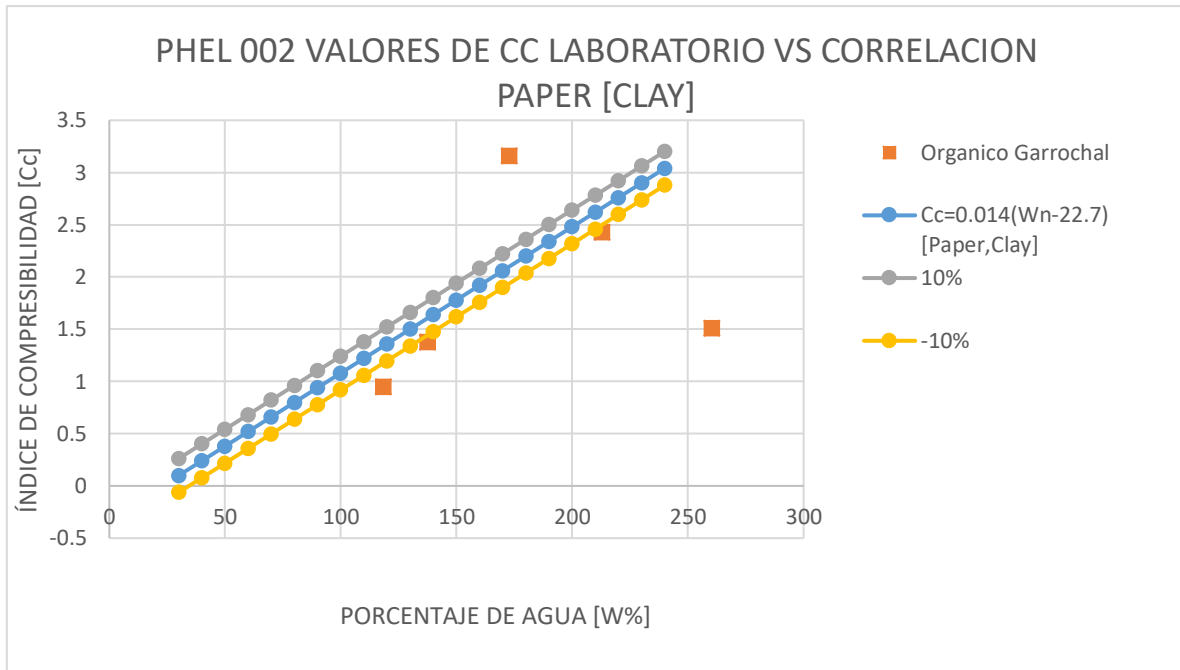
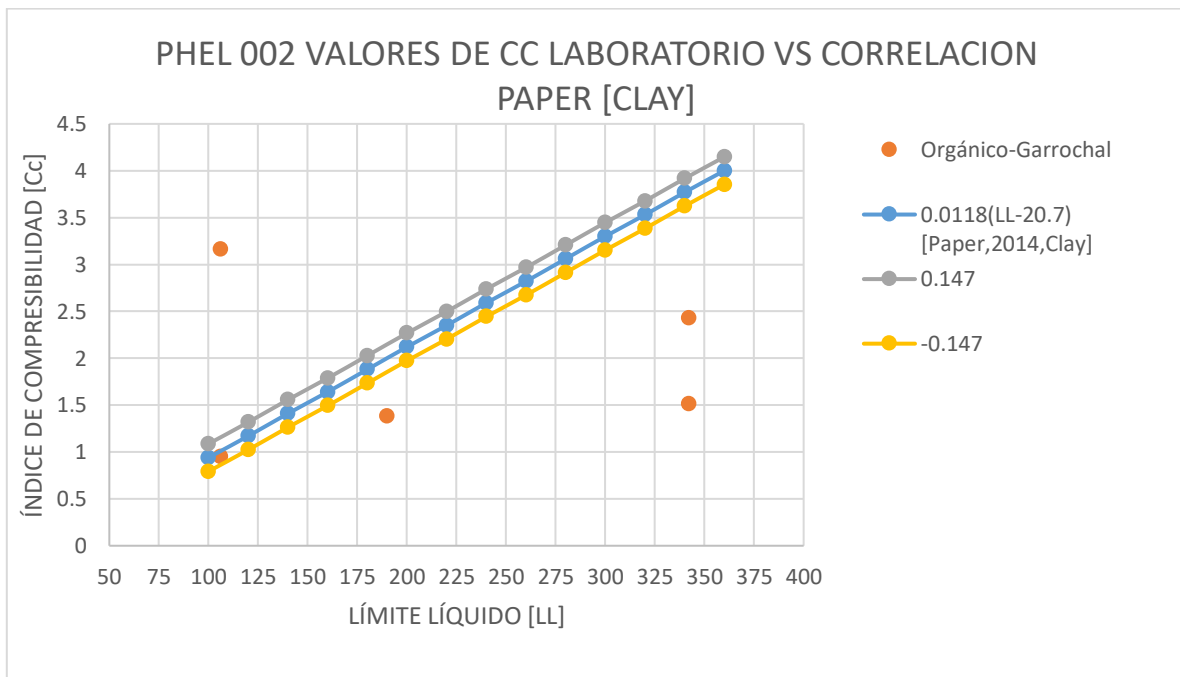


Ilustración 15 Correlación entre el contenido de agua y el índice de compresión, obtenido de (McCabe, Sheil, Long, Buggy, & Farrell, 2014)

Las ilustraciones # 14 y 15, muestran las correlaciones obtenidas en la investigación antes mencionada. Se puede observar que las correlaciones tienen un R^2 de 0.81 y 0.85, lo cual es bastante aceptable y denota una clara correlación entre el índice de compresión (C_c) y el contenido de humedad y el límite líquido. Se graficó de igual manera la correlación presentada en la investigación con los datos obtenidos del CC, los cuales se muestran a continuación.



Gráfica 28 Correlación entre el contenido de humedad (W_n) y el índice de compresión (cc), obtenido de (McCabe, Sheil, Long, Buggy, & Farrell, 2014)



Gráfica 29 Correlación entre el límite líquido (LL) y el índice de compresibilidad (cc), obtenido de (McCabe, Sheil, Long, Buggy, & Farrell, 2014)

Como se observa en las gráficas # 28 y 27 las correlaciones presentadas por (McCabe, Sheil, Long, Buggy, & Farrell, 2014), muestran un mejor ajuste con los valores del índice de compresión obtenidos en laboratorio, a pesar de que la correlación se presenta para arcillas de alta plasticidad. Como se mencionó anteriormente el que mejor se ajusta a los resultados obtenidos en laboratorio, es la correlación que depende del contenido de humedad, dando una mayor aproximación de los puntos hacia la recta como se observa en la gráfica # 28.

Otro artículo presentado de igual manera por el ICE (institution of civil engineers), el cual realiza consolidaciones en arcillas orgánicas, recalca lo complicado que es poder obtener resultados representativos de arcillas blandas, suelos orgánicos y arcillas de alta plasticidad para el cálculo de asentamientos, por lo cual realiza el mismo esquema que el artículo presentado anteriormente, con la diferencia que lo realiza en arcillas orgánicas, las cuales fueron extraídas de las tierras bajas de Jacarepagúa en Río de Janeiro, obteniendo correlaciones para suelos orgánicos los cuales a continuación se presenta. (Baroni & Almeida, 2017)

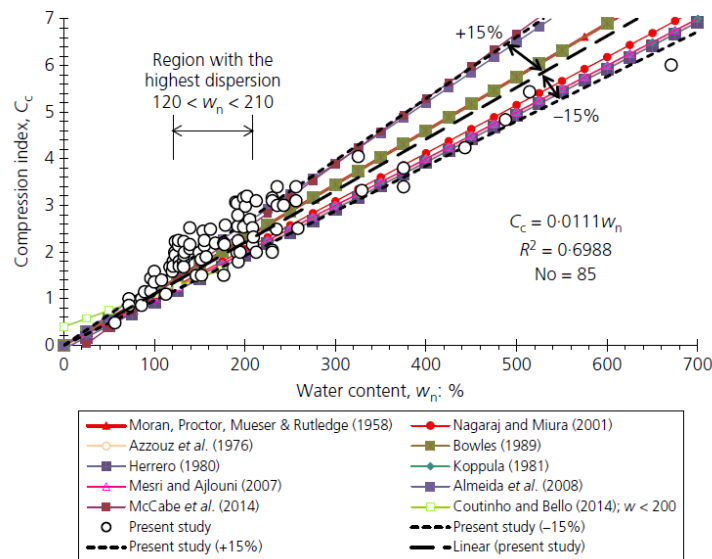


Ilustración 16 Correlación entre el contenido de humedad natural y el índice de compresión, obtenido de (Baroni & Almeida, 2017)

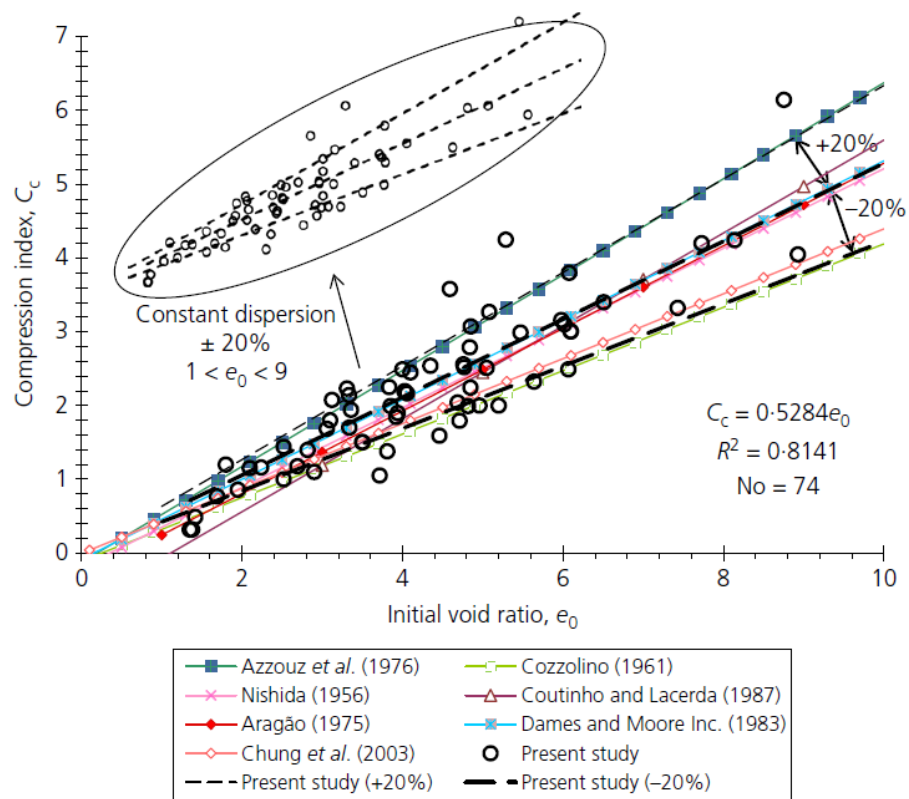


Ilustración 17 Correlación entre la relación de vacíos y el índice de compresión, obtenido de (Baroni & Almeida , 2017)

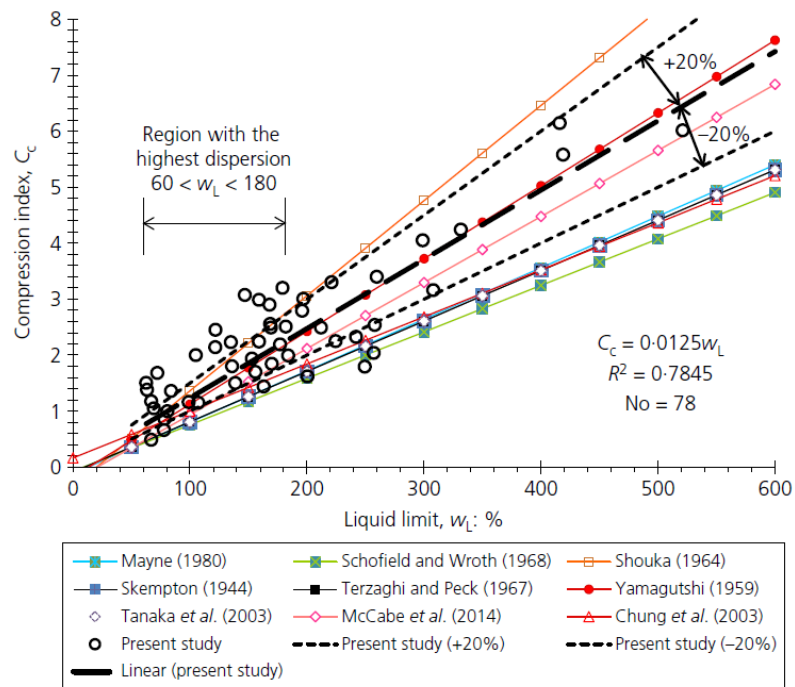
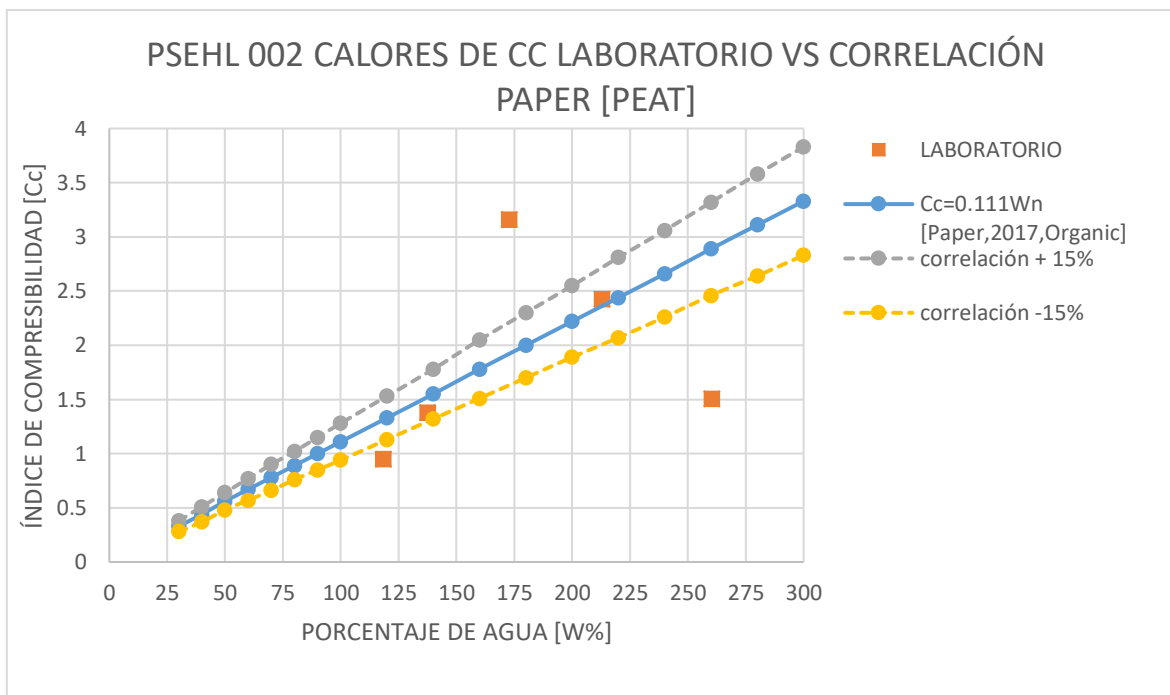
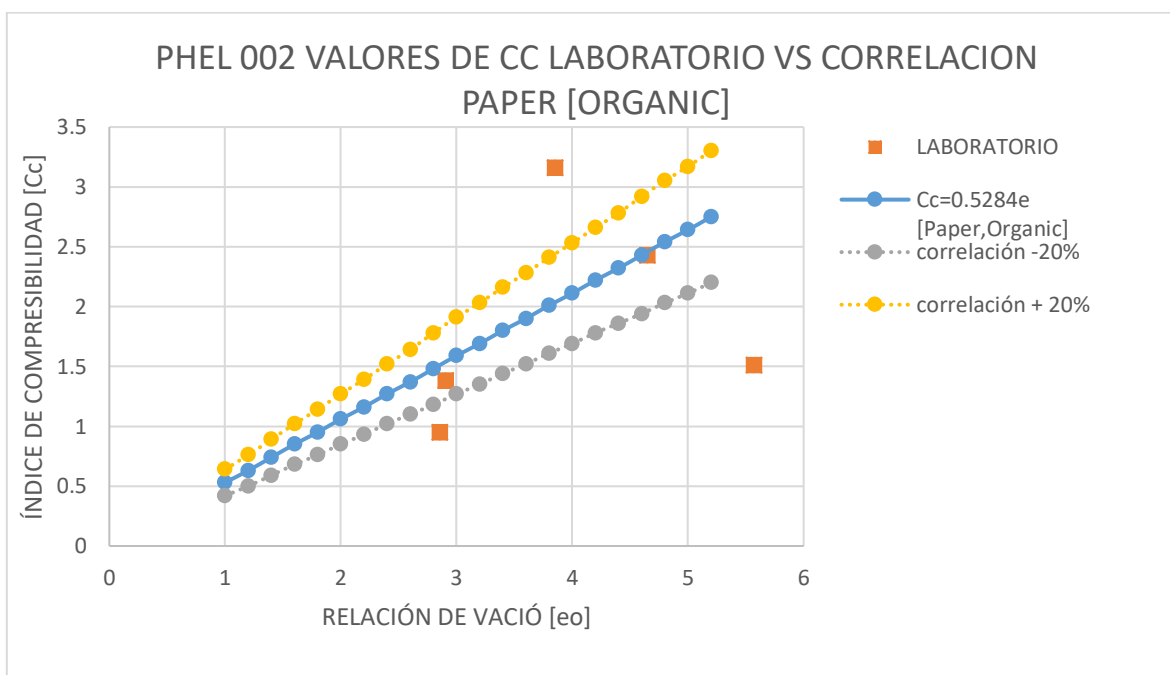


Ilustración 18 Correlación entre el límite líquido (LL) y la índice compresión (cc), obtenido de (Baroni & Almeida , 2017)

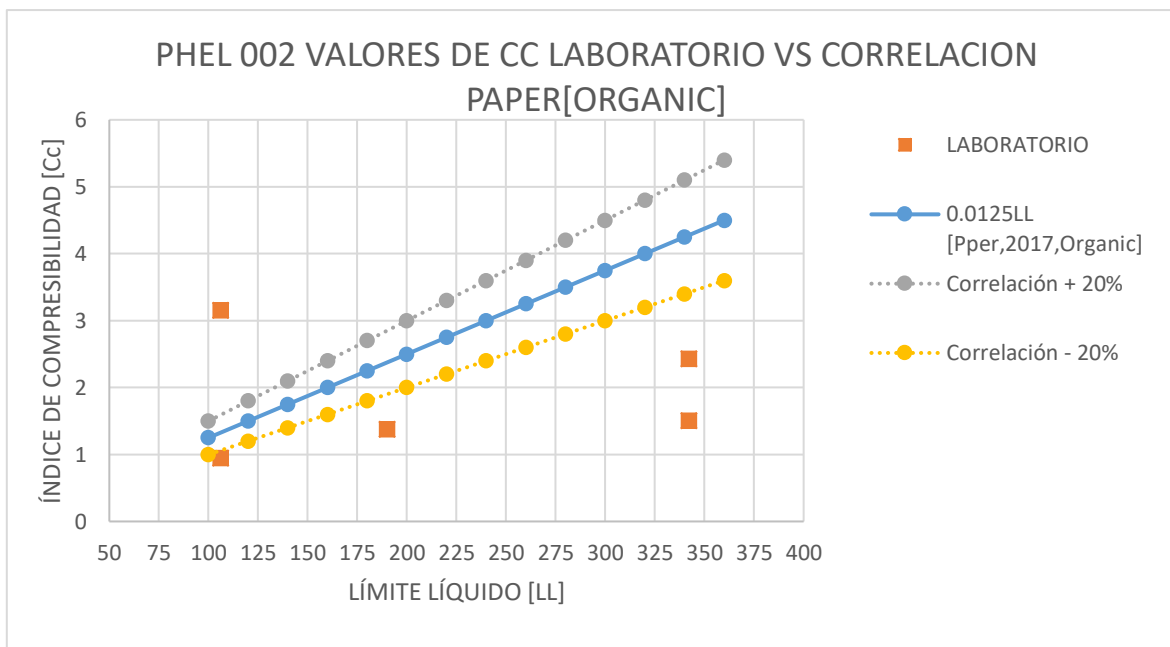
Como se puede observar en las ilustraciones # 16,17 y 18, el artículo publicado por (Baroni & Almeida , 2017), presentan tres correlaciones, la primera con el contenido de humedad (W_n), el segundo con la relación de vacíos (e_o) y el tercero con el límite líquido (LL), dado un R^2 de 0.70, 0.81 y 0.79 siendo valores que denotan una clara correlación. Se graficaron las correlaciones presentadas las cuales se presentan a continuación.



Gráfica 30 Correlación obtenida de (Baroni & Almeida , 2017) los índices de compresión vs W_n obtenidos en los ensayos laboratorio



Gráfica 31 Correlación obtenida de (Baroni & Almeida , 2017) vs índices de compresión obtenidos de los ensayos de laboratorio



Gráfica 32 Correlación obtenida de (Baroni & Almeida , 2017) vs índices de compresión obtenidos de los ensayos de laboratorio

Como se puede observar en las gráficas # 30, 31 y 32 los valores obtenidos en laboratorio del índice de compresión (C_c) se ajustan de una mejor manera que los correlaciones para arcillas de alta plasticidad, de igual manera se observa que la correlación en base al contenido de humedad es la que mejor se comporta respecto a las del límite líquido y el de relación de vacíos por lo cual, los valores obtenidos en laboratorio son bastante significativos y representan el índice de compresión que se presentan en los suelos del sur de Quito sector el Garrochal.

Otro aspecto que se analizó fue la gravedad específica, dado que los suelos con contenido orgánico, es difícil de obtener la gravedad específica, con lo cual se recopiló información para poder analizar los datos obtenidos en laboratorio. Un artículo publicado en el ICE (institution of civil engineers) sobre la gravedad específica por ignición para turbas realizada en Kuming City, China, presentan correlaciones para poder estimar el valor G_s , para ello se realizaron 25 ensayos de gravedad específica obteniendo valores de $G_s = 1.43-2.23$, en $W_n = 142-392\%$ y calcularon el G_s del contenido de ceniza de los materiales sometidos al ensayo de ignición $G_s(\text{ash}) = 2.74-2.30$, después de haber analizado los datos, presentaron las siguientes correlaciones (Li, y otros, 2020).

$$Gs = 5.947(Wn + 2.058)^{-0.785} \text{ para } Wn \leq 400\% (n = 25, R^2 = 0.95)$$

Ecuación 33 Correlación de la gravedad específica (Gs) con respecto al contenido de humedad (Wn), obtenido de (Li, y otros, 2020)

$$Gs = 2.267(Wn + 0.080)^{-0.189} \text{ para } 400\% < Wn < 1300\% (n = 97, R^2 = 0.72)$$

Ecuación 34 Correlación de la gravedad específica (Gs) con respecto al contenido de humedad (Wn), obtenido de (Li, y otros, 2020)

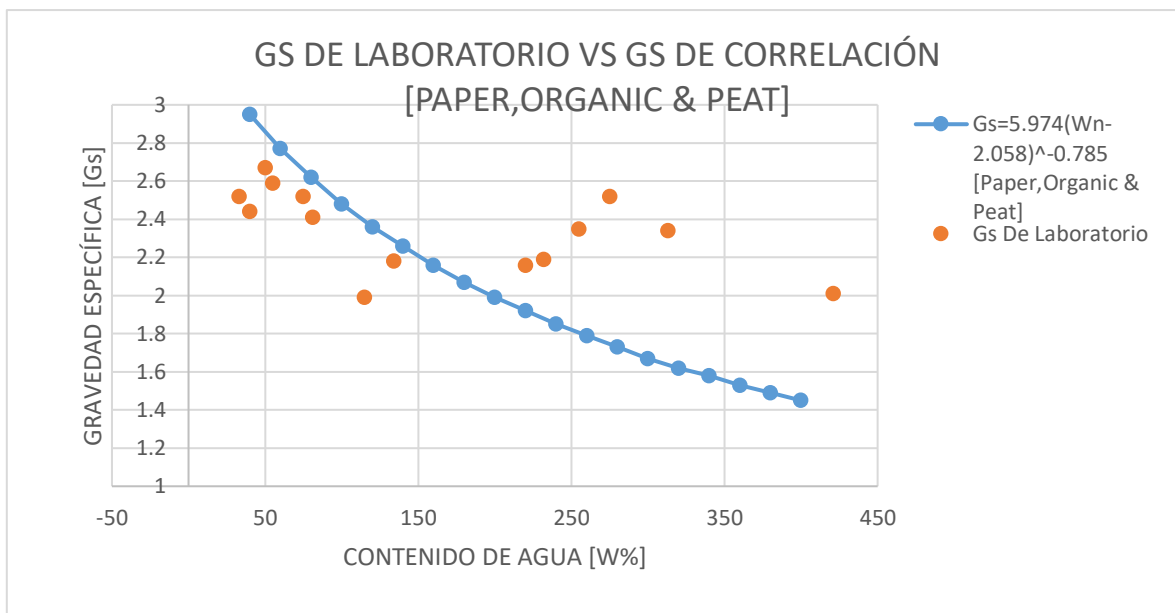
$$Gs = -0.3453Wn + 2.738 \text{ para } Wn < 326\% (R^2 = 0.81)$$

Ecuación 35 Correlación de la gravedad específica (Gs) con respecto al contenido de humedad (Wn), obtenido de (Li, y otros, 2020)

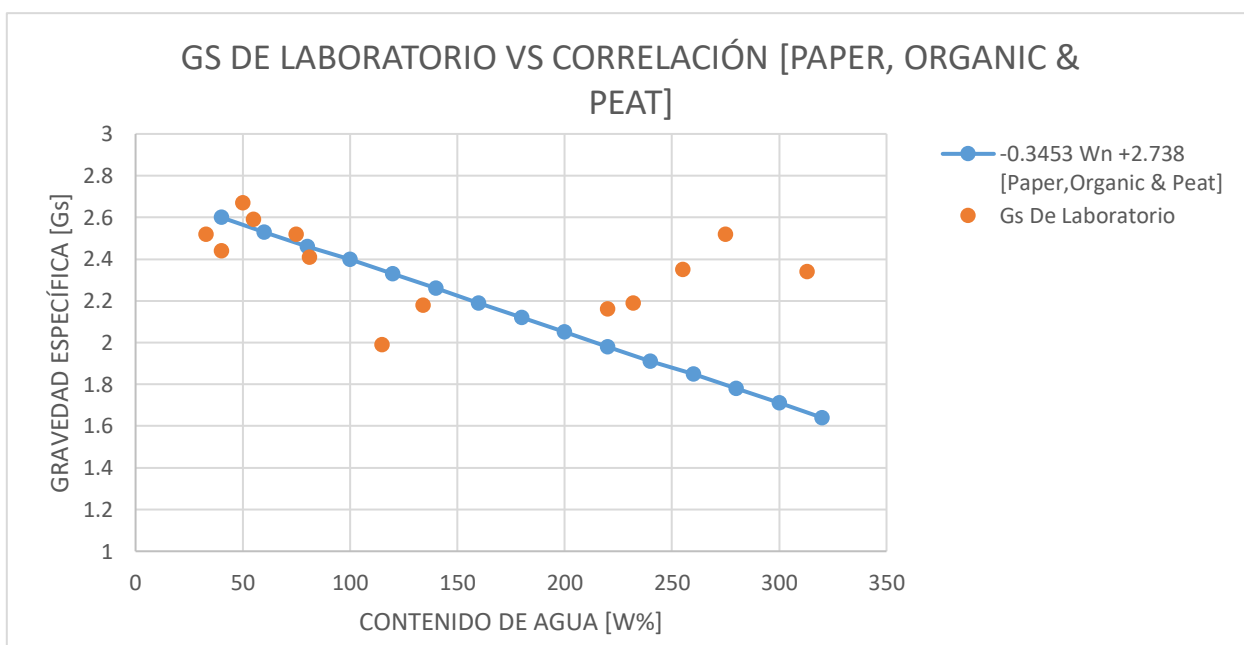
$$Gs = -0.0082Wn + 1.643 \text{ para } Wn \geq 326\% (R^2 = 0.81)$$

Ecuación 36 Correlación de la gravedad específica (Gs) con respecto al contenido de humedad (Wn), obtenido de (Li, y otros, 2020)

Como se observa en las correlaciones presentadas, obtuvieron un R^2 entre 0.72-0.95 lo cual es una alta correlación entre el Gs y Wn. Para comparar los Gs de la investigación obtenido en laboratorio, se utilizará las correlaciones con contenidos de humedad menores a 400% y 326%, es decir las ecuaciones 33 y 35. A continuación, se muestra las gráficas obtenidas.



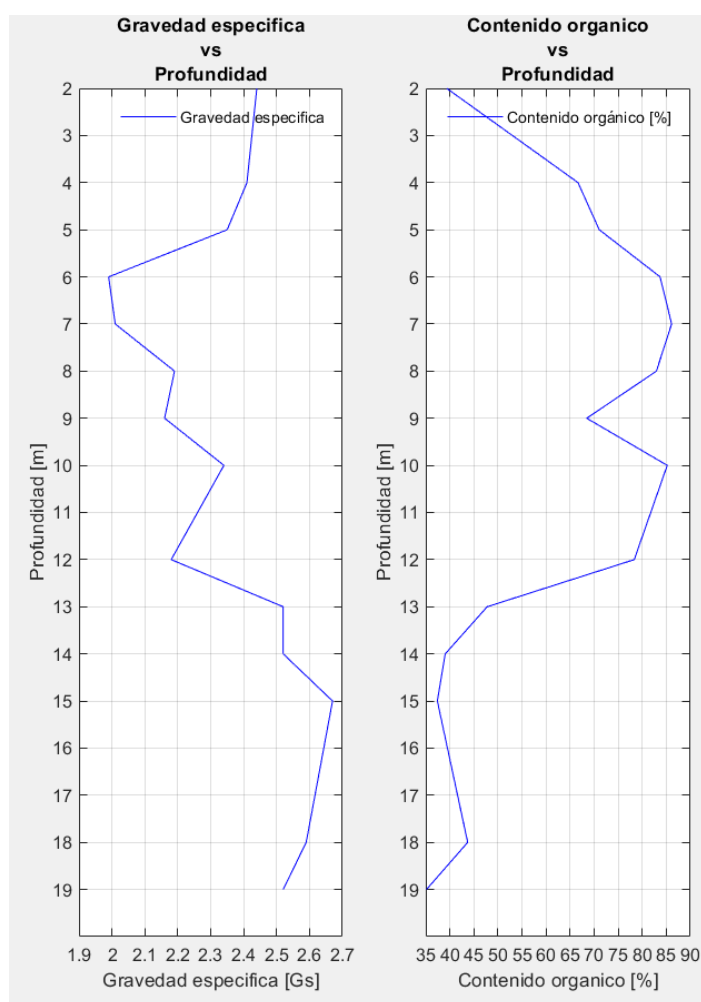
Gráfica 33 Correlación obtenida de (Li, y otros, 2020) vs índices de compresión obtenidos de los ensayos de laboratorio



Gráfica 34 Correlación obtenida de (Li, y otros, 2020) vs índices de compresión obtenidos de los ensayos de laboratorio

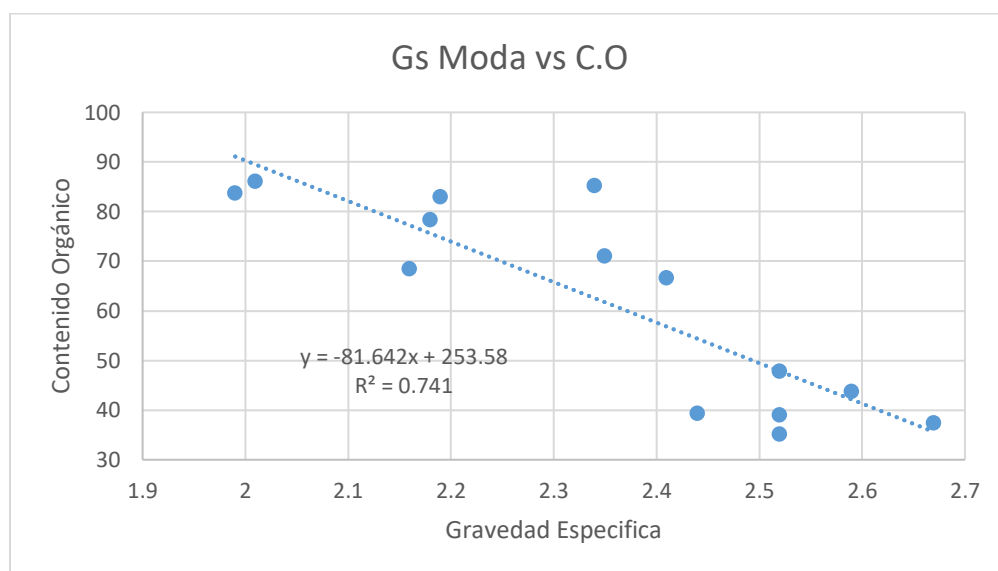
Como se observan en las gráficas # 33 y 34, a medida que aumenta el contenido de humedad, los puntos se alejan de la tendencia de correlación, la gráfica # 33 muestra un mayor ajuste a los valores de gravedad específica obtenidas en laboratorio.

Al estudiar el comportamiento de la gravedad específica (G_s) frente a otros parámetros, se analizó el contenido de materia orgánica (M.O) frente al G_s , con lo cual se observó que las muestras con mayor contenido de M.O, presentaban un valor de G_s bajo, con lo cual se graficó estos dos parámetros para observar su comportamiento de una manera gráfica, lo obtenido se muestra a continuación.



Gráfica 35 Contenido de materia orgánica y gravedad específica vs profundidad.

Como se observa en la gráfica # 35, la M.O y Gs presentan curvas similares, con dirección contraria, con lo cual se puede decir que ambos parámetros presentan una correlación inversa entre sí. Como la gravedad específica, se encuentra relacionada con el contenido orgánico en este tipo de suelos, se intentó encontrar una tendencia que pueda mostrar esta relación, con lo cual se graficaron los valores de la gravedad especifica presentados en la tabla # 33, los cuales se obtuvieron a partir de la columna promedio 2 vs contenido orgánico, todos estos valores son obtenidos del pozo PSHEL002, presentados en el capítulo Ensayos de gravedad específica. A continuación, se muestra los valores graficados.



Gráfica 36 Contenido Orgánico Vs Gravedad Especifica

Como se puede observar en la gráfica # 36 se presenta una tendencia negativa, es decir mientras mayor sea el contenido orgánico la gravedad específica disminuye, lo que es correcto dado que lo que se busca es obtener la densidad de la partícula lo cual, al tener más vacíos, por el material orgánico, la gravedad específica baja, de igual manera se calculó un $R^2=0.74$, lo cual muestra que tiene una cierta correlación entre estos parámetros.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Características físicas del depósito

En base al análisis y el estudio efectuado en el sur de Quito sector el Garrochal, punto 5, se llega a concluir que el depósito está compuesto, de acuerdo con la clasificación SUCS, así como su compacidad y consistencia en función del número de golpes del SPT N_{spt} (60), de la forma esquemática como se detalla a continuación:

ML	LIMO
OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
SM	ARENA LIMOSA
OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
OL	LIMO ORGANICO ARENOSO
MH	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD
MH	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
SP	ARENA MAL GRADUADA
SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA
ML	LIMO CON ARENA
ML	LIMO ARENOSO

Mediante el análisis de resultados, se concluye que el pozo PSHELL 002 se encuentra desfasado en profundidad de los pozos obtenidos en la primera campaña, con lo cual se deduce un desfase de uno 50 cm aproximadamente. A continuación, se muestra un gráfico

detallado del depósito del sur de quito, donde se conjuntan todos los pozos presentados en la investigación.

PROFUNDIDAD	N (60)	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUEMAD	CLASIFICACIÓN SUCS
1.00 -1.45	7.00	MI	MI	MI	71.00	ML
2.00 -2.45	4.00	50-80	50-80	13-20	40-80	OH
3.00 -3.45	2.00	150-200	150-200	21-28	100-180	OH
3.45 -3.90		60	45	15	80	SM
4.00 -4.45	5.00	150-350	100-300	60-90	100-300	OH
5.00 -5.45	2.00	100-250	100-250	80-40	100-250	OH
6.00 -6.45	2.00	200-250	140-250	40-80	300-400	OH
7.00 -7.45	4.00	280-350	130-270	50-80	100-400	OH
8.00 -8.45	7.00	140-180	100-120	40-60	100-300	OH
9.00 -9.35	4.00					OH
9.30 -9.45		180-400	120-300	50-150	100-300	SM
10.00 -10.45	5.00	180-195	100-150	40-70	130-310	OH
11.00 -11.45	4.00	290	183	107	308	OH
12.00 -12.35	8.00	260-265	155-175	85-105	300-275	OH
12.35 -12.45		MI	MI	MI	50	OH
13.00 -13.45	2.00	200-345	145-240	60-105	319-33	OH
14.00 -14.45	4.00	315-385	195-260	120-125	100-195	OH
15.00 -15.25	19.00	216	118	98	136	OH
15.25 -15.45		MI	MI	MI	55	SM

Gráfica 37 Resumen de la estratigrafía del sur de quito.

PROFUNDIDAD	N (60)	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUEMAD	CLASIFICACIÓN SUCS
16.00 -16.45	50.00	34	25	9	29	SM
17.00 -17.45	60.00	39	30	9	41	SM
18.00 -18.45	4.00	130	90	40	127	OH
18.00 -18.45		MI	MI	MI	55	SM
19.00 -19.45	1.00	15-185	35-130	20-55	75-150	OH
20.00 -20.45	2.00	126	90	36	131	MH
21.00 -21.45	0.00	80	51	29	80	MH
22.00 -22.45	2.00	89	57	32	88	MH
23.00 -23.45	2.00	92	49	43	78	MH
24.00 -24.45	1.00	187	119	68	153	SP
25.00 -25.45	4.00	138	87	51	117	MH
26.00 -26.35	16.00	79	55	24	76	MH
26.35 -26.45		MI	MI	MI	63	SM
27.00 -27.35	39.00	MI	MI	MI	140	ML
		MI	MI	MI	33	ML
28.00 -28.45	98.00	37	28	9	35	ML
29.00 -29.45	117.00	43	35	8	37	ML
		MI	MI	MI	33	ML
30.00 -30.25	117.00	40	28	12	35	ML

Gráfica 38 Resumen de la estratigrafía del sur de Quito.

El suelo de sur de Quito, sector el Garrochal se encuentra compuesto por un limo orgánico de alta plasticidad con arena (OH), según el SUCS, a lo largo de los primeros 19 metros, donde se presentaron pequeños estratos de arena limosa (lapilli) en los metros 3, 9, 15,18, y en los metros 16 y 17 un estrato significativo de este mismo material (SM). Del metro 12.35 al metro 15.25 se presenta un limo orgánico arenoso de alta plasticidad (OH). A partir del metro 20 al metro 26 se presenta un limo de alta plasticidad. Una arena mal graduada en el metro 24 (SP) y un estrato pequeño de una arena limosa con grava (SM) en el metro 23.35 - 26.45. A partir del metro 27 en adelante se compone de un limo con arena en los metros 27,29, 30 y en los metros 28 y 29 de un limo arenoso (ML).

Sobre la base de la clasificación del suelo mediante el SUCS y el ensayo de penetración estándar, el depósito estudiado de 30 metros presenta 2 estratos resistentes. El primer estrato resistente detectado por el ensayo del spt corresponde a los metros 15,16 y 17 correspondiente a una arena limosa muy densa. El segundo estrato resistente igualmente detectado por el ensayo del spt corresponde a los metros 26, 27, 28, 29 y 30 correspondientes a un limo de alta plasticidad rígido junto a una arena limosa de densidad media en el metro 26 y del metro 27 en adelante conformada por un limo de baja plasticidad duro con arena. Con esta información junto a la detallada por el sucs se concluye que el depósito de 30 metros obtenido del sur de Quito, sector el Garrochal es un depósito múltiple capa predominado por material fino (limo), intercalado por arena y presentando pequeños estratos drenantes en los metros 3, 9, 18 y un estrato drenante significativo del metro 15 al 17. El depósito es representativo de un sistema dominado por un acuitardo intercalado por acuíferos cortos.

A lo largo de la investigación se observó que el límite líquido y el porcentaje humedad presentan una cierta relación respecto a la consistencia o compacidad, es decir si el límite líquido se acerca al contenido de humedad y estos a su vez son altos, la consistencia del material se presenta entre muy suave y suave para suelos finos, mientras que para suelos de grano grueso su compacidad se presenta entre muy suelta y suelta. Esta analogía se observa perfectamente a partir del metro 3 al metro 15.25, siendo esta la zona con mayor contenido de humedad y límites líquidos, Se observa en la gráfica #37 y 38 que el número de golpes

proporcionado por el ensayo del SPT va de 2 a 5 en esta zona, lo que se traduce en una consistencia entre suave y muy suave. Esto también se presenta en el metro 20 al metro 25, a pesar de que su contenido de humedad y límites líquidos son relativamente bajos, comparados con los anteriores, el número de golpes son igualmente bajos que van de 2 a 4 lo que igualmente presenta un suelo entre suave y muy suave. Del metro 27 al 30 es donde se presentan el menor contenido de humedad y límites líquidos se observa un incremento del número de golpes entre 40 - 120 sienta un suelo duro. Con lo cual se concluye que con límites líquidos mayores o iguales a 80 con contenidos de humedad mayores o iguales a 80, el suelo se presentara entre suave o muy suave en este depósito normalmente consolidado.

De acuerdo con el análisis de resultados presentados en la presente investigación, podemos afirmar que la clasificación sucs es insuficiente para generar una adecuada clasificación en suelos orgánicos e interpretar el comportamiento de compresibilidad que tiene en este tipo de suelos. Por lo tanto, se debe hacer una verificación del contenido de materia orgánica por medio de la norma ASTM D2974. Al clasificar el contenido orgánico por medio de la norma, se presenta un cambio notorio en su clasificación, es decir ya no agrupo a los suelos orgánicos como OH o OL como lo hace el sucs. Se presentan tres tipos de materiales orgánicos que van de la siguiente manera: ligeramente orgánico, suelo orgánico y turba, según lo señalado en cuadro o tabla # 12

Con esta clasificación se define que el pozo se compone de un suelo orgánico hasta los 19 metros de profundidad, presentando turbas en los metros 6, 7, 8, 10 y 12. Los suelos orgánicos reportaron valores que van de 40% a 71% de materia orgánica, mientras que las turbas prestaron valores que van 82% a 86% de materia orgánica. Según el comportamiento mecánico que se evalúa más adelante, se concluye que la cantidad de materia orgánica presente en los estratos estudiados, así como la cantidad de arena son variables que presentan indicios de influir en ese comportamiento. Por tanto, se comprueba que usar la clasificación sucs en suelos orgánicos conlleva a una descripción limitada. La clasificación señalada por el ASTM D2974 debe ser incluida en la caracterización de este tipo de materiales.

Los valores de gravedad especifican (Gs) reportados hasta el metro 19 van de 1.99 – 2.67, estos valores de Gs son bajos comparados con otro tipo de suelos, esto se debe a la cantidad de materia orgánica (M.O) que se presenta en este tipo de suelos. Debido al alto contenido de M.O y los bajos valores de Gs. Se concluye que el Gs, medido con el método ASTM D854-14 presenta una tendencia frente al contenido de M.O, al punto que a mayor M.O los valores de Gs disminuyen y a menor M.O el Gs aumenta.

Al reportar valores de gravedad específica (Gs) bajos con un promedio de 2.35, y un alto contenido de materia orgánica (M.O) con un promedio de 61.78% y a su vez reportar una tendencia entre ellos. Se puede concluir que la correlación obtenida con un $R^2 = 0.741$ presentada en el capítulo 6.10, representa una alta correlación entre el Gs y el contenido de M.O a pesar de haber obtenido los valores de Gs por medio de un simple análisis de eliminación de datos.

Por otro lado, al contar con altos contenidos de materia orgánica, el valor de Gs se vuelve complicado de obtener en laboratorio, con lo cual se realizó una investigación por medio de publicaciones presentadas por el ICE (institution of civil engineers) descritas en el capítulo 6.10. Con lo cual se concluye que las ecuaciones 33 y 35 obtenidas de la publicación “Specific gravity of solids relationship with ignition loss for peaty soils” son representativas para el suelo del sector del Garrochal, pero para aquellos que presenten contenidos de humedad entre 100% – 150%.

Al analizar suelos tan complejos como son los suelos altamente orgánicos (> 25%) y turbas (> 75%), es necesario que para cualquier análisis se debe determinar el Gs más real, dado que en la presente investigación se comparó los resultados obtenidos por el laboratorio de la universidad católica, donde se asume un valor de Gs de 2.6 frente a los presentados con un Gs calculado. Con lo cual, al asumir un Gs se presentan una relación de vacíos errónea lo cual presenta un error al analizar dicho suelo. Por lo cual, se concluye que la obtención del Gs, debe ser obligatorio al momento de contar con depósitos de suelos orgánicos y turbas.

Características mecánicas del depósito

Debido a la inesperada cantidad de materia orgánica y complejidad que se presentó al realizar los ensayos de consolidación en suelos altamente orgánicos y turbas, se concluye que existe un comportamiento crítico en la deformación de estos materiales. Suelos que presentan una deformación secundaria no limitada, incluso con zonas definidas como terciarias. Las deformaciones secundarias en los materiales orgánicos – turbas estudiadas se ubican entre % a 30% en las primeras 24 horas de consolidación, llegando a tener un incremento del 30% a 40% en las muestras cuya consolidación sobrepasa las 24 horas. Con lo cual, en una primera instancia con los alcances y limitaciones de esta investigación, los estratos de suelo del sur de Quito, sector el Garrochal presentan un material altamente compresible, y se estima que la deformación secundaria-terciaria puede llegar a ser de 20% a 70% de la deformación total según los niveles de carga a los que sean sometidos.

Los valores del coeficiente de consolidación (C_v), obtenidos por los métodos de Taylor y Casa Grande, presentaron una gran similitud entre sí, con lo cual se concluye que el método de Taylor al ser un método, donde se aprecia más rápido la finalización de la consolidación primaria en suelos altamente orgánicos, sea una mejor opción al momento de buscar valores de C_v en este tipo de suelos.

Los valores de índices de compresión (CC) encontrados fueron 1.0 – 3.6, son valores altos comparados con suelos normales que van de (0.1-0.25), los valores presentados se asemejan a arcillas de alta plasticidad que van (1-4), con lo cual se concluye que el material del sur de Quito presenta una alta índice de compresibilidad con lo cual lo hace un suelo complejo y muy pobre para resistir cargas.

Debido a la pandemia y la falta de datos para realizar un adecuado estudio estadístico, se optó por buscar correlaciones bibliográficas para el índice de compresión. Se analizaron diversas correlaciones para turbas, suelos orgánicos y arcillas de alta plasticidad, donde se obtuvo mejores resultados, al incluir los datos obtenidos en esta investigación, son las siguientes correlaciones: *Bowles* $0.0115 W_n$, *Cook* $0.011 W_n$ y *Mersi & Ajlouni* $0.01 W_n$ En estas expresiones se relacionan el contenido de humedad para la obtención del CC. Se identificaron otras expresiones como la presentada por ICE en la publicación “Compressibility and stress

history of very soft organic clays”, que presenta dos correlaciones las cuales se ajustan al tipo de suelo estudiado ($C_c = 0.0111W_n$; $C_c = 0.5284e_o$; $C_c = 0.0125WL$). Sobre la base de estas coincidencias, se puede confirmar los valores de C_c presentados y a su vez de que el suelo del sur de Quito sector del Garrochal presenta una alta compresión al ser sometidos a cargas.

Se ha comprobado indicios de influencia en los parámetros de consolidación, debido a la variación de la cantidad de materia orgánica, IP y presencia de arena en los estratos de estudio a saber; mayor valor en promedio de C_c en los estratos ubicados en el metro 4-5 y menor en el estrato de 8 m. Mientras que los valores de C_v , para rangos de relación de vacíos de 1.4 a 2.5 en los metros 4-5 se ubica entre 0,2 a 0,6 mm²/seg, en los metros 8 a 13 se ubica entre 0,2-0,3 hasta 4-4.5 mm²/seg en rangos de relación de vacíos de 1.5 a 2.5. Este comportamiento podría ser explicado por la cantidad de materia orgánica en los metros 4-5 que se ubica entre 67 y 71 así como su IP 45 y menor cantidad de arena, mientras que en el metro 8 la cantidad de orgánico se encuentra entre 80 y 83, su valor de IP 60 y la cantidad de arena mayor.

De acuerdo al análisis realizado sobre el índice de compresión secundaria (α), se observó que a pesar de haberse calculado varios (α) en cada estado de carga, la variación entre ellas podría ser sintetizada en una sola pendiente de (α) y a su vez obtener un promedio representativo de dicho valor. Se desprende por lo tanto que, dentro del alcance inicial de la investigación, preliminarmente el valor de α pudiera ser independiente de la variación del estado de cargas y debe ser investigado la existencia o no de las zonas terciarias.

7.2 RECOMENDACIONES

El material obtenido del sur de Quito sector el Garrochal, a pesar de mantener las muestras lo más selladas posible, se presentaron pérdidas de humedad grandes, con lo cual una manera de estimar esta pérdida, sería obtener porcentajes de humedad en campo y comparar con los porcentajes de humedad en laboratorio. De esta forma se podrá tener una pérdida de humedad real y ver la forma de evitar esta pérdida. Las muestras obtenidas se recomiendan guardadas en cámaras de humedad, protegidas adecuadamente con el fin de que no ingrese y no salga agua.

En base a la información presentada a lo largo de la investigación, y debido a la complejidad de en la obtención de los índices de plasticidad, se recomienda las correlaciones presentadas en la publicación “Compressibility and stress history of very soft organic clays” cuyos resultados se aproximaron a las muestras estudiados, estas correlaciones son: $Cc = 0.528e$ y $Cc = 0.111W_n$.

Al hacer un análisis de los G_s cálculos y los G_s propuestos en el ensayo de relaciones, se recomienda que el valor de G_s debe ser estrictamente calculo, al momento de analizar un suelo cuyo contenido orgánico sea mayor al 25%, dado que al asumir este valor se puede tener interpretaciones erróneas de la cantidad de vacíos que puede presentar dicho material.

Al tener contenidos orgánicos que superen el 75% se recomienda usar querosén, para obtener valores más reales de la gravedad específica, ya que intentar la gravedad específica por el método tradicional, es decir a base de agua y una bomba de vacíos, los resultados pueden diferir un poco de los valores reales, dando problemas al momento de su respectivo análisis según la norma ASTM D-854-14.

Los ensayos de consolidación en este tipo de materiales, se vuelve complejo y difícil de analizar, con lo cual se estima que el tiempo de consolidación se le debe ajustar entre 5 a 7 días para cada estado, y de esta manera poder observar el comportamiento de este tipo de suelo más detallado, al igual que contar con un medidor de presión de poros, el cual ayuda a detectar cuando finalice la consolidación primaria.

Dadas las limitaciones de la investigación, tanto por la cantidad de muestras ensayadas, los equipos disponibles y no idóneos, el tipo de material orgánico, debe contemplarse las conclusiones aquí generadas como referenciales y que existe la necesidad de profundizar con el estudio de estos materiales en siguientes investigaciones.

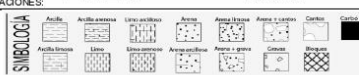
ANEXOS

ANEXO # 1 ESTRATIGRAFÍA DEL POZO PQ004

quito		ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		IG Instituto Geofísico		Pontificia Universidad Católica del Ecuador						
REGISTRO DE PERFORACIONES												
PROYECTO: Microzonificación Sísmica del Distrito Metropolitano de Quito				PROF. SONDEO: 30		Hojas: 1 DE 3						
COTIZACIÓN: 2938				SISTEMA: WSSM-ITS		SONDEO NÚMERO: PQ0004_GEO						
LOCALIZACIÓN: Casucha de puma, sector de Camoña				N. PRELÍMICO: 1		FECHA DE INICIO: 15/07/2019						
FECHA: 10/07/2019				PROF. REVESTIMIENTO:		FECHA DE TERMINACIÓN: 16/07/2019						
PERFORADOR: Ademar Quiroz				REGISTRADOR: Eberhard Pérez								
Profundidad (m)	N. Recorrido	Muestra	rotación	SPT	Perfil	Descripción	Interpretación 1	Interpretación 2	W (%)	Granulometría	Límites	
4	40	200	(%)	(%)								
0.00						Limo arcilloso con poca arena color marrón, mucha presencia de raíces, plasticidad media-alta y moderado a bajo grado de consolidación. Se observa cristales de cuarzo, poco anfíbol y un filón de 6cm. Entre 2,00 y 2,10m esporádicos filones de pómez blanca y amarillenta de hasta 0,20m. Hacia la base va disminuyendo la presencia y el tamaño de raíces. De 2,40 hasta 2,60m aumenta el contenido de filones de pómez blanquecina.	Suelo	Suelo				
2.40						Arcilla marrón, muy plástica y poco consolidada. Ausencia de raíces.	Suelo	Suelo				
5.00						Arcilla limosa color negra, poca presencia de raíces, plasticidad alta a muy alta y moderado a bajo grado de consolidación. Se observa cristales de cuarzo, poco anfíbol y material carbonoso. Entre 5,10 y 5,60m el estrato se vuelve más limo arenoso pero con alta cantidad de arcilla. A los 5,00m se observa un lente de ceniza andesítica color marrón. Indica la horizontalidad del estrato y la ausencia de relleno. Se interpreta como una turba.	Unidad Fluvio-Lacustre El Pintado	Suelo				
7.00						Limo arcilloso color negro, plasticidad alta a muy alta y moderado grado de consolidación. Se observa cristales de cuarzo, poco anfíbol y material carbonoso. Entre 5,10 y 5,60m el estrato se vuelve más limo arenoso pero con alta cantidad de arcilla. A los 5,00m se observa un lente de ceniza andesítica color marrón. Indica la horizontalidad del estrato y la ausencia de relleno. Se interpreta como una turba.	Unidad Fluvio-Lacustre El Pintado	Suelo				
7.00						Arena limosa de color blanco. Su tonalidad clara se ve manchada por el material carbonoso. Se observa mayormente cristales de cuarzo, plagoclasa, anfíbol mica verde. Se interpreta como una ceniza.	Unidad Fluvio-Lacustre El Pintado	Suelo				
7.00						Limo arcilloso color negro, plasticidad alta a muy alta y moderado grado de consolidación. Se observa cristales de cuarzo, poco anfíbol y material carbonoso (madera muy descompuesta)	Unidad Fluvio-Lacustre El Pintado	Suelo				
(Mirar descripción hoja 2 de 3)												
OBSERVACIONES:												

214

   											
REGISTRO DE PERFORACIONES										FOLIO 3 DE 3	
PROYECTO: Microzonificación Sísmica del Distrito Metropolitano de Quito				PROFUNDIDAD: 30		SONDEO NÚMERO: PCQ0004_GEO		FECHA DE INICIO: 15/07/2019		FECHA DE TERMINACIÓN: 16/07/2019	
UBICACIÓN: X: 774485 Y: 9462760				N. PRETALCO: 1		PERFORADOR: Ademar Quiroz					
CÓDIGO (S.M.): 2688				SISTEMA WISDM-1PS		FECHA: 16/07/2019		REGISTRADOR: Esteban Paz			
LOCALIZACIÓN: Cancha deportiva, sector 3, Gamonal				PROF. REVESTIMIENTO:							
Profundidad (m)	Muestra	Muestra SPT	Perfil	Descripción	Interpretación 1	Interpretación 2	W (%)	Granulometría		Límites	
								Tamices	LL (%)	IP (%)	
0								4	40	200	(%)
0.00				Arcilla limosa color marrón oscuro, poca presencia de madera, plasticidad muy alta y alto grado de consolidación. Se observa cristales de cuarzo, poco anfíbol y material carbonoso. Se interpreta como una turba.	U. Fluvio - Lacustre El Pintado	Suelo					
0.50											
1.00											
1.50											
2.00											
2.50											
3.00											
3.50											
4.00											
4.50											
5.00											
5.50											
6.00											
6.50											
7.00											
7.50											
8.00											
8.50											
9.00											
9.50											
10.00											
10.50											
11.00											
11.50											
12.00											
12.50											
13.00											
13.50											
14.00											
14.50											
15.00											
15.50											
16.00											
16.50											
17.00											
17.50											
18.00											
18.50											
19.00											
19.50											
20.00											
20.50											
21.00											
21.50											
22.00											
22.50											
23.00											
23.50											
24.00											
24.50											
25.00											
25.50											
26.00											
26.50											
27.00											
27.50											
28.00											
28.50											
29.00											
29.50											
30.00											

OBSERVACIONES:


ANEXO # 2 DENSIDAD DEL AGUA

Densidad del agua y coeficiente de temperatura (K)

Temperature (°C)	Density (g/mL) ^C	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) ^C	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) ^C	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) ^C	Temperature Coefficient (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
.1	0.99909	1.00088	.1	0.99893	1.00072	.1	0.99876	1.00055	.1	0.99858	1.00037
.2	0.99907	1.00087	.2	0.99891	1.00071	.2	0.99874	1.00054	.2	0.99856	1.00035
.3	0.99906	1.00085	.3	0.99890	1.00069	.3	0.99872	1.00052	.3	0.99854	1.00034
.4	0.99904	1.00084	.4	0.99888	1.00067	.4	0.99871	1.00050	.4	0.99852	1.00032
.5	0.99902	1.00082	.5	0.99886	1.00066	.5	0.99869	1.00048	.5	0.99850	1.00030
.6	0.99901	1.00080	.6	0.99885	1.00064	.6	0.99867	1.00047	.6	0.99848	1.00028
.7	0.99899	1.00079	.7	0.99883	1.00062	.7	0.99865	1.00045	.7	0.99847	1.00026
.8	0.99898	1.00077	.8	0.99881	1.00061	.8	0.99863	1.00043	.8	0.99845	1.00024
.9	0.99896	1.00076	.9	0.99879	1.00059	.9	0.99862	1.00041	.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
.1	0.99839	1.00018	.1	0.99819	0.99998	.1	0.99797	0.99977	.1	0.99775	0.99954
.2	0.99837	1.00016	.2	0.99816	0.99996	.2	0.99795	0.99974	.2	0.99773	0.99952
.3	0.99835	1.00014	.3	0.99814	0.99994	.3	0.99793	0.99972	.3	0.99770	0.99950
.4	0.99833	1.00012	.4	0.99812	0.99992	.4	0.99791	0.99970	.4	0.99768	0.99947
.5	0.99831	1.00010	.5	0.99810	0.99990	.5	0.99789	0.99968	.5	0.99766	0.99945
.6	0.99829	1.00008	.6	0.99808	0.99987	.6	0.99786	0.99966	.6	0.99764	0.99943
.7	0.99827	1.00006	.7	0.99806	0.99985	.7	0.99784	0.99963	.7	0.99761	0.99940
.8	0.99825	1.00004	.8	0.99804	0.99983	.8	0.99782	0.99961	.8	0.99759	0.99938
.9	0.99823	1.00002	.9	0.99802	0.99981	.9	0.99780	0.99959	.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
.1	0.99752	0.99931	.1	0.99727	0.99907	.1	0.99702	0.99881	.1	0.99676	0.99855
.2	0.99749	0.99929	.2	0.99725	0.99904	.2	0.99700	0.99879	.2	0.99673	0.99852
.3	0.99747	0.99926	.3	0.99723	0.99902	.3	0.99697	0.99876	.3	0.99671	0.99850
.4	0.99745	0.99924	.4	0.99720	0.99899	.4	0.99694	0.99874	.4	0.99668	0.99847
.5	0.99742	0.99921	.5	0.99717	0.99897	.5	0.99692	0.99871	.5	0.99665	0.99844
.6	0.99740	0.99919	.6	0.99715	0.99894	.6	0.99689	0.99868	.6	0.99663	0.99842
.7	0.99737	0.99917	.7	0.99712	0.99892	.7	0.99687	0.99866	.7	0.99660	0.99839
.8	0.99735	0.99914	.8	0.99710	0.99889	.8	0.99684	0.99863	.8	0.99657	0.99836
.9	0.99732	0.99912	.9	0.99707	0.99887	.9	0.99681	0.99860	.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744
.1	0.99649	0.99828	.1	0.99621	0.99800	.1	0.99592	0.99771	.1	0.99562	0.99741
.2	0.99646	0.99825	.2	0.99618	0.99797	.2	0.99589	0.99768	.2	0.99559	0.99738
.3	0.99643	0.99822	.3	0.99615	0.99794	.3	0.99586	0.99765	.3	0.99556	0.99735
.4	0.99641	0.99820	.4	0.99612	0.99791	.4	0.99583	0.99762	.4	0.99553	0.99732
.5	0.99638	0.99817	.5	0.99609	0.99788	.5	0.99580	0.99759	.5	0.99550	0.99729
.6	0.99635	0.99814	.6	0.99607	0.99785	.6	0.99577	0.99756	.6	0.99547	0.99726
.7	0.99632	0.99811	.7	0.99604	0.99783	.7	0.99574	0.99753	.7	0.99544	0.99723
.8	0.99629	0.99808	.8	0.99601	0.99780	.8	0.99571	0.99750	.8	0.99541	0.99720
.9	0.99627	0.99806	.9	0.99598	0.99777	.9	0.99568	0.99747	.9	0.99538	0.99716

^AReference: CRC Handbook of Chemistry and Physics, David R. Lide, Editor-in-Chief, 74th Edition, 1993–1994.

^B $\rho_w = 1.00034038 - (7.77 \times 10^{-6}) \times T - (4.95 \times 10^{-6}) \times T^2$

Nota. Obtenido de la norma (INTERNATIONAL, ASTM D854-14, 2014)

ANEXO # GRUPOS BÁSICOS DE SUELO 3

Sistema unificado de clasificación de suelos basado en el material que pasa el tamiz # 75

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo	
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	
		Menos de 5% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP	
		Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea “A” (figura 4.2)	GM	
		Más de 12% finos ^{a,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea “A” (figura 4.2)	GC	
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW	
		Menos de 5% finos ^b	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP	
Arenas con finos		$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea “A” (figura 4.2)	SM		
Más de 12% finos ^{b,d}		$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea “A” (figura 4.2)	SC		
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea “A” (figura 4.2) ^e	CL	
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea “A” (figura 4.2) ^e	ML	
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Orgánico	Límite líquido: secado	$\frac{\text{Límite líquido: no secado}}{\text{Límite líquido: secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
			Límite líquido: no secado		
		Inorgánico	Gráficos PI en o por encima de línea “A” (figura 4.2)	CH	
			Gráficos PI por debajo de “A” línea (figura 4.2)	MH	
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico	Límite líquido: secado	$\frac{\text{Límite líquido: no secado}}{\text{Límite líquido: secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH	
		Límite líquido: no secado			

^a Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^b Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

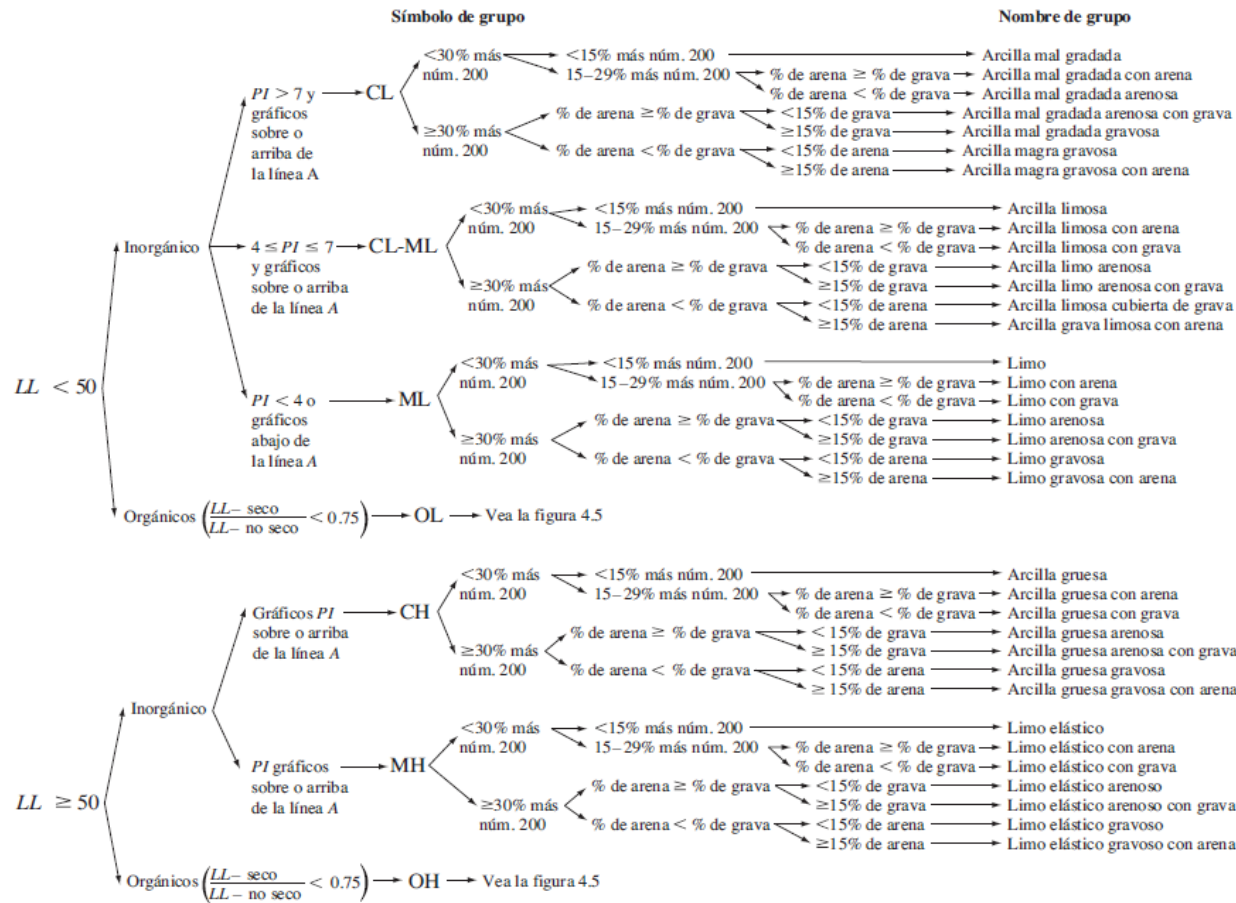
$$^c C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

^d Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

^e Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Nota. Obtenido del libro (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)

Diagrama de flujo de nombres de los grupos para limo inorgánico y suelos arcillosos

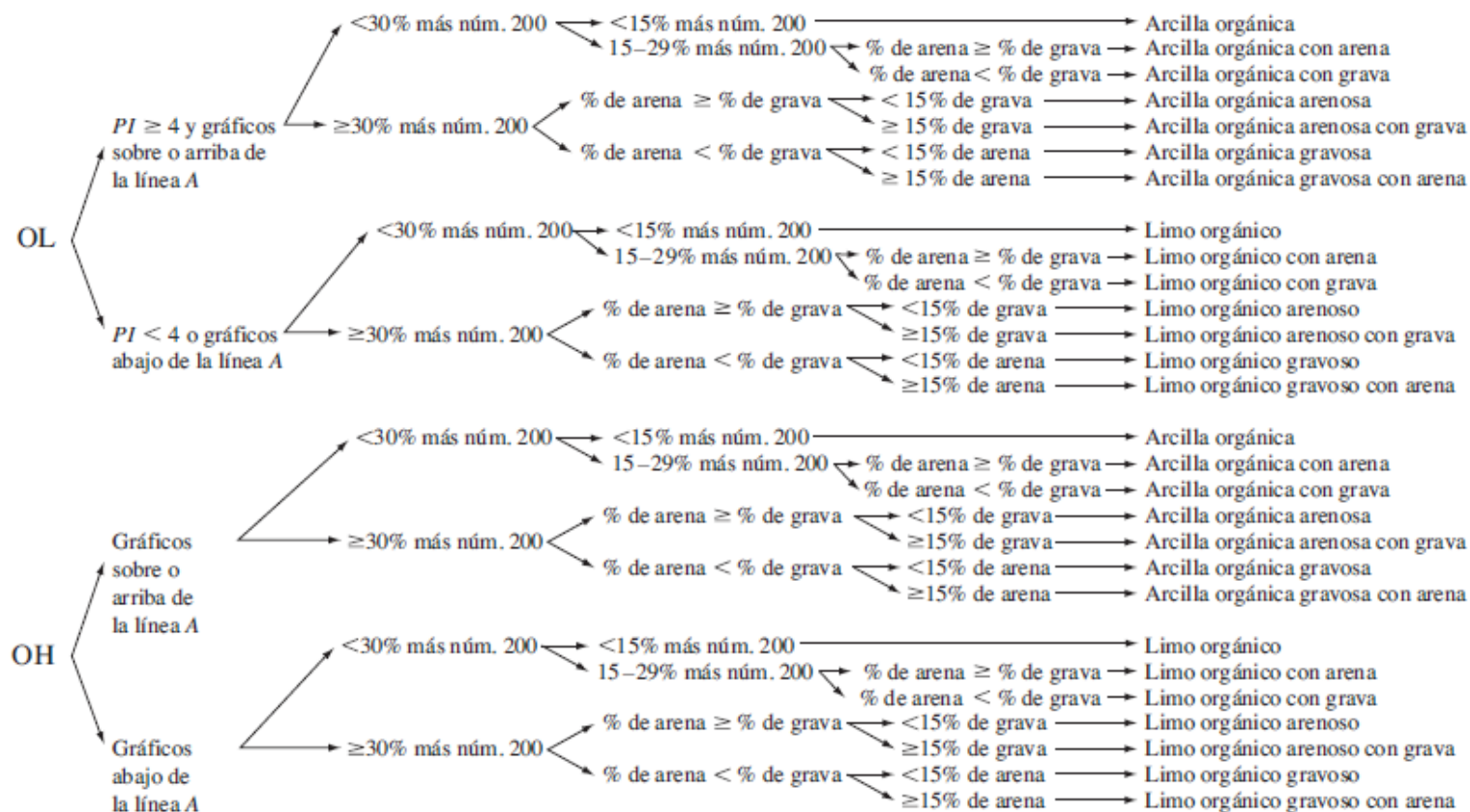


Obtenido del libro (DAS, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, 2015)

Diagrama de flujo de nombres de los grupos para limos orgánicos y suelos arcillosos

Símbolo de grupo

Nombre de grupo



ANEXO # 4 CALSIFICACION SUCS

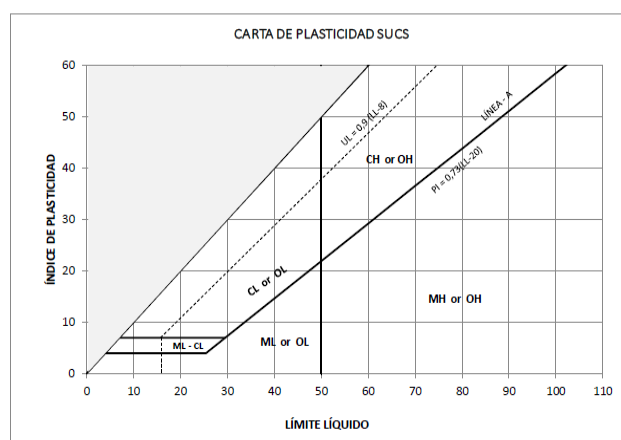
SUCS PSHSEL 001

NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	2.00-2.50

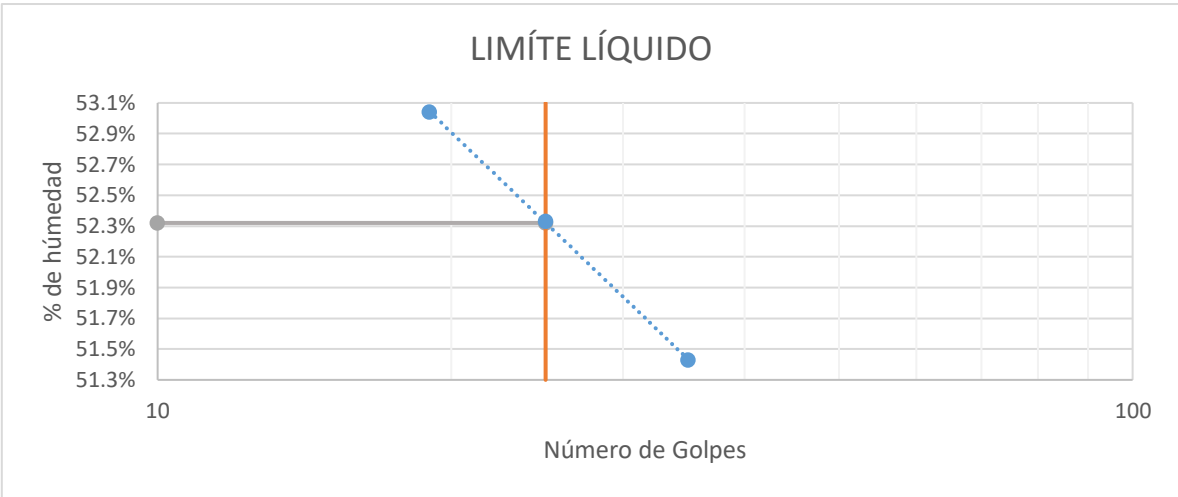
POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	152	A5	E12	740	117	541
Peso de la capsula (gr)	6.23	9.19	6.25		6.49	6.21
Peso de la capsula + M. húmeda (gr)	21.01	22.58	22.35		14.83	14.41
Peso de la capsula + M.seca (gr)	15.99	17.98	16.77		12.5	12.12
Contenido de humedad (w)%	51.43	52.33	53.04		38.77	38.75
# De golpes	35	25	19			
Promedio					38.76	

Límite Líquido	52
Límite Plástico	39
Índice de plasticidad	13
Contenido de humedad	40

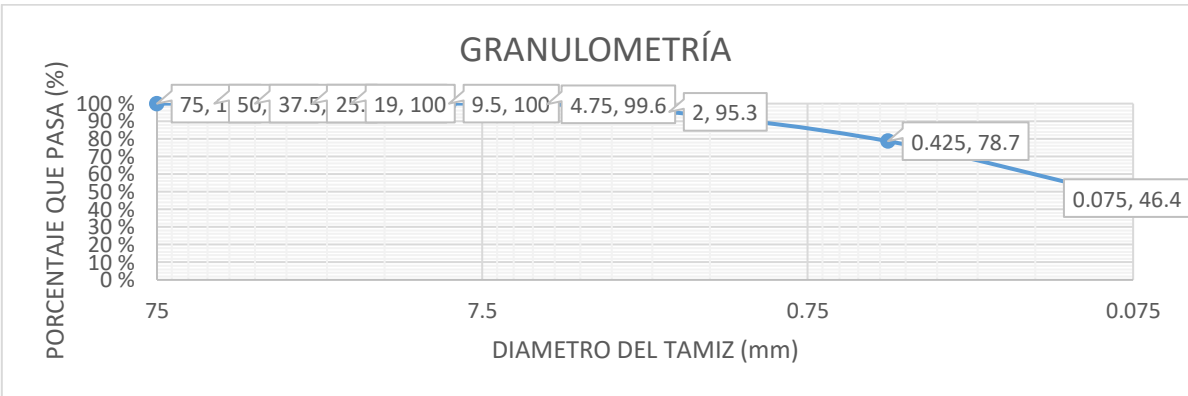
peso de la capsula (gr)	18.01	16.85
peso de la capsula + M.humedad (gr)	71.06	72.26
peso de la capsula + M.seca (gr)	55.79	56.47
contenido de humedad (w)%	40.42	39.85



Promedio	40.14



TAMIZ	3"	2"	11/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
% RET	0	0	0	0	0	0	0.42	4.69	20.3	53.59
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.6	95.3	78.7	46.4



CLASIFICACION SUCS	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	53	%

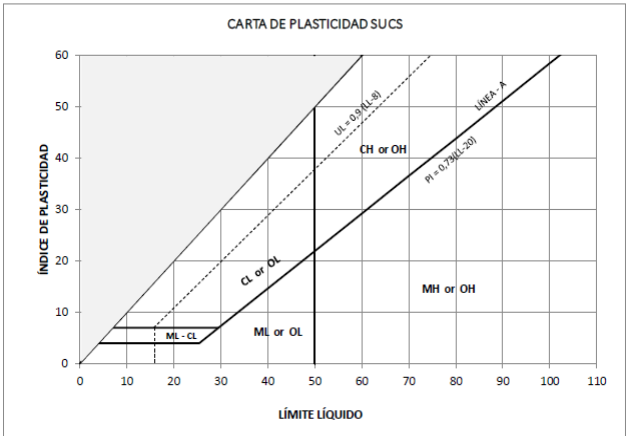
FINOS	46	%

NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	3.00-3.50

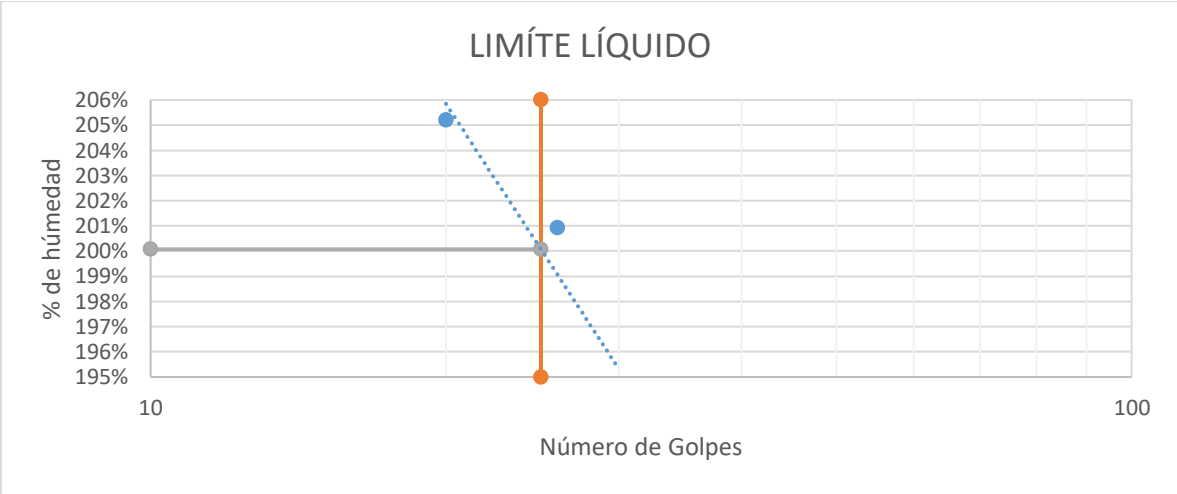
POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	E23	L27	L5	740	C6	42z
Peso de la capsula (gr)	8.34	6.13	8.63		6.01	6.78
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	22.34	19.01	22.15		13.06	13.61
Peso de la capsula + M.seca (gr)	13.1	10.41	13.06		8.54	9.23
Contenido de humedad (w)%	194.12	200.93	205.19		178.66	178.78
# De golpes	30	26	20			
Promedio					178.72	

Límite Líquido	200
Límite Plástico	179
Índice de plasticidad	21
Contenido de humedad	98

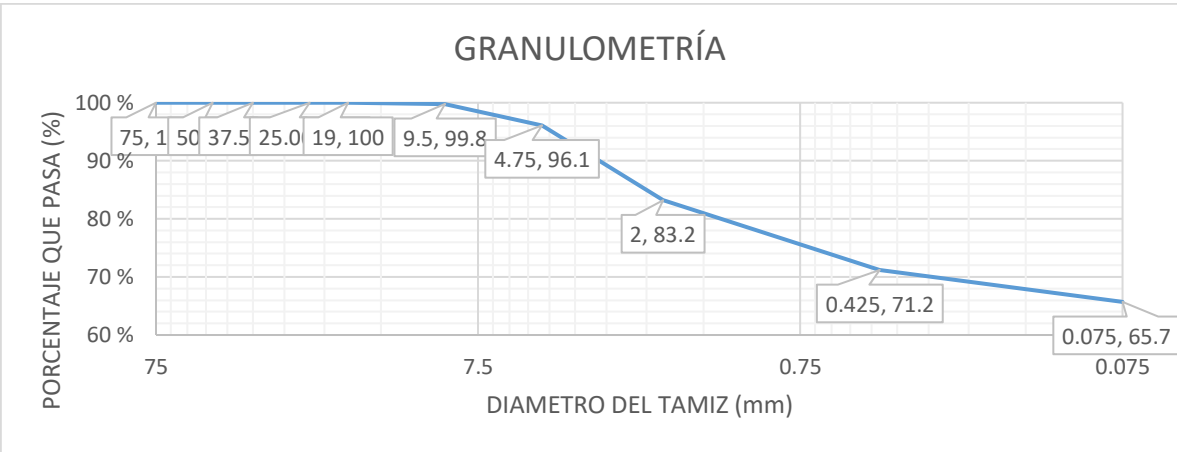
peso de la capsula (gr)	17.14	18.74
peso de la capsula + M.humedad (gr)	55.4	52.79
peso de la capsula + M.seca (gr)	36.45	35.91



contenido de humedad (w)%	98.14	98.31
Promedio	98.23	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0.17	3.89	16.78	28.82	34.26
% PASA	100	100	100	100	100	99.8	96.1	83.2	71.2	65.7



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	4	%

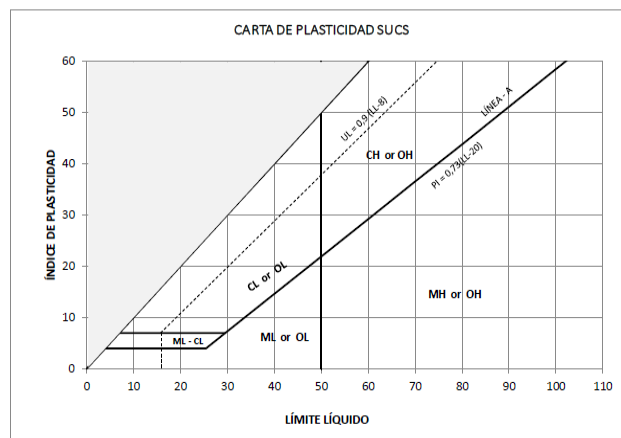
ARENA	30	%
FINOS	66	%

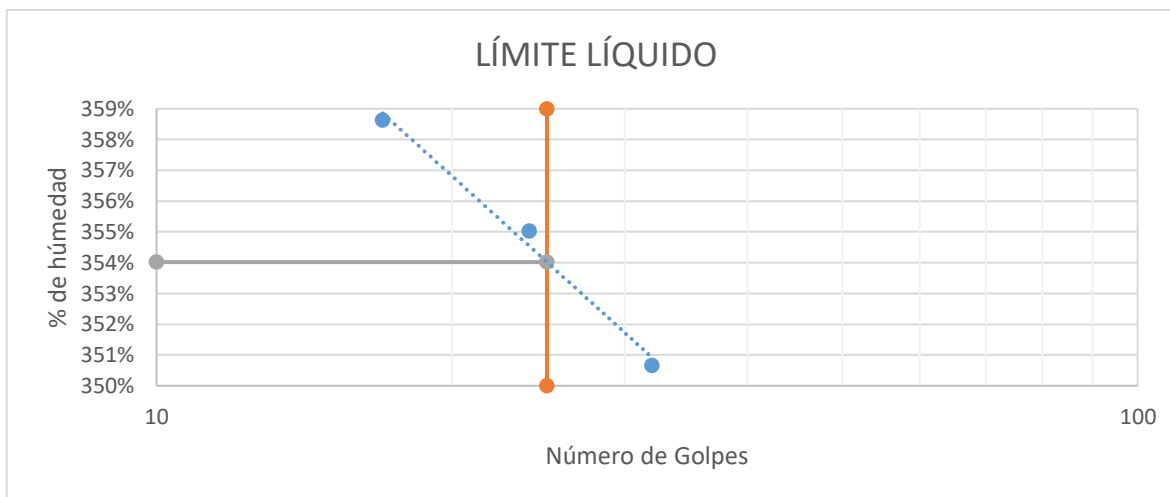
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	4.00-4.50

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	133	C5	112		703	705
Peso de la capsula (gr)	8.64	6.84	8.72		6.21	6.17
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	22.61	19.08	20.14		12.9	12.7
Peso de la capsula + M.seca (gr)	11.74	9.53	11.21		7.93	7.85
Contenido de humedad (w)%	350.65	355.02	358.63		288.95	288.69
# De golpes	32	24	17			
Promedio					288.82	

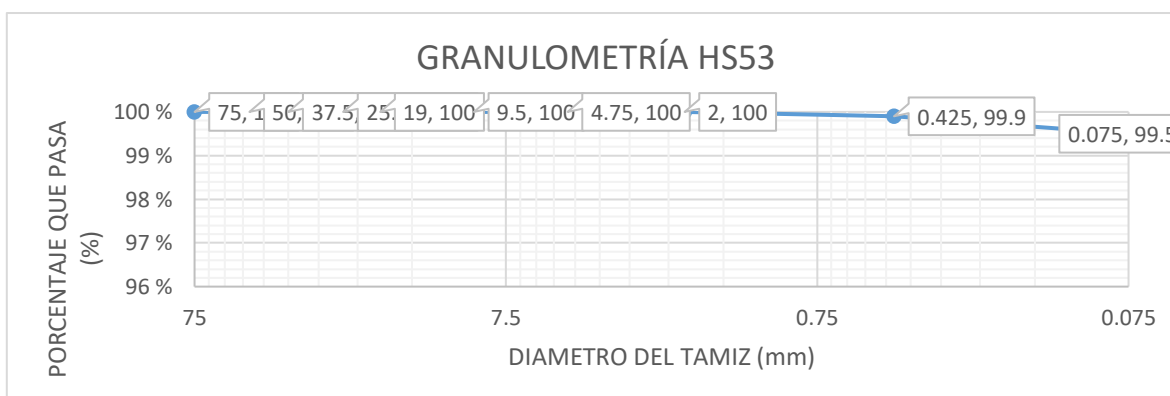
Límite Líquido	354
Límite Plástico	289
Índice de plasticidad	65
Contenido de humedad	101

Peso de la capsula (gr)	16.93	11.25
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	44.2	47.36
Peso de la capsula + M.seca (gr)	30.54	29.2
Contenido de humedad (w)%	100.37	101.17
Promedio	100.77	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	1.72
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	99.9	98.3



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGAMICO DE ALTA PLASTICIDAD

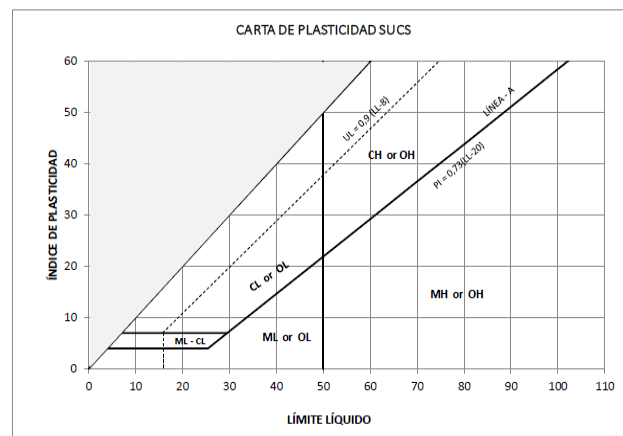
ANALISIS GRANULOMETRICO HS53		
GRAVA	0	%
ARENA	1	%
FINOS	99	%

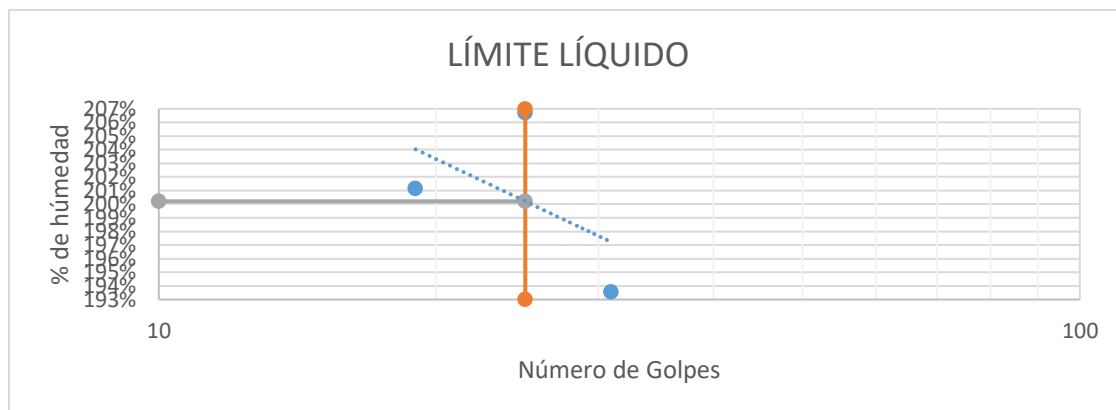
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	6.00-6.50

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	133	C5	L28	740	721	705
Peso de la capsula (gr)	6.11	8.29	8.71		5.95	5.93
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	13.86	16.05	16.45		9.28	9.6
Peso de la capsula + M.seca (gr)	8.75	10.82	11.28		7.3	7.42
Contenido de humedad (w)%	193.56	206.72	201.17		146.67	146.31
# De golpes	31	25	19			
Promedio					146.49	

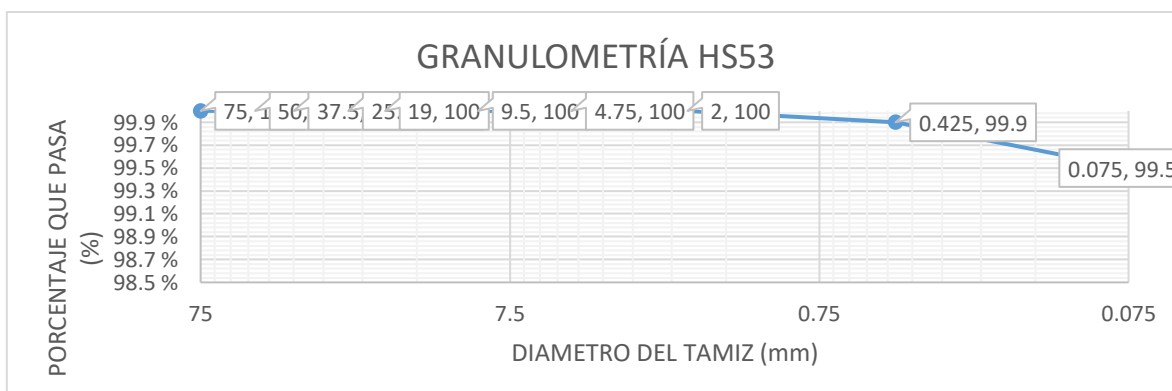
Límite Líquido	200
Límite Plástico	146
Índice de plasticidad	54
Contenido de humedad	101

Peso de la capsula (gr)	16.68	18.38
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	31.14	32.84
Peso de la capsula + M.seca (gr)	23.89	25.58
Contenido de humedad (w)%	100.55	100.83
Promedio	100.69	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07	0.51
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	99.9	99.5



CLASIFICACION SUCS	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

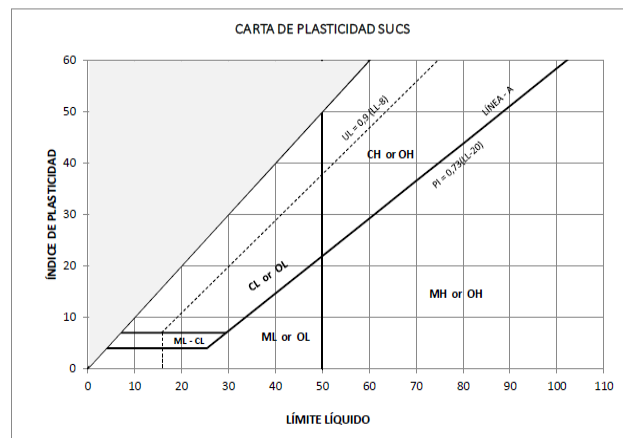
ANALISIS GRANULOMETRICO HS53		
GRAVA	0	%
ARENA	1	%
FINOS	99	%

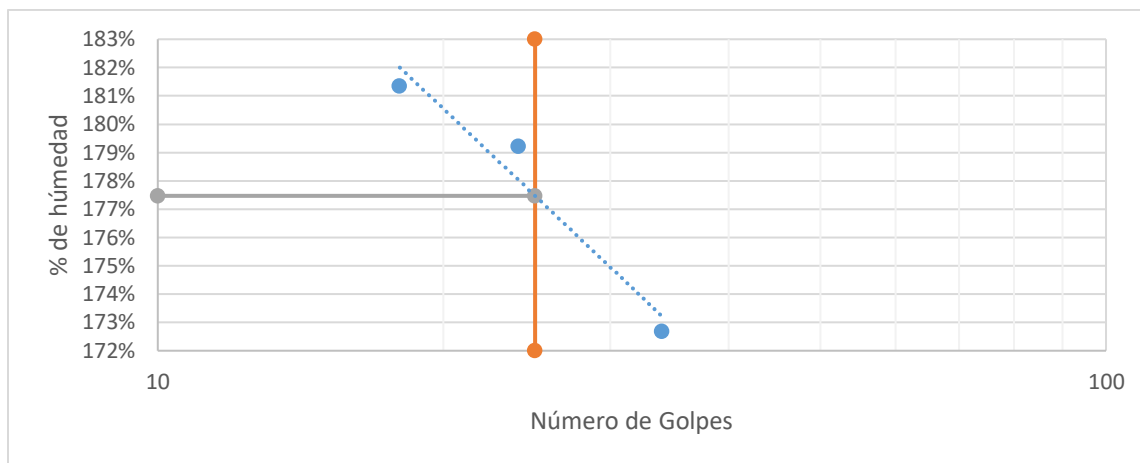
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	8.00-8.50

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	133	60XX	C5	740	42Z	112
Peso de la capsula (gr)	6.22	9.34	8.87		9.22	6.72
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	13.31	16.46	15.96		14.38	11.87
Peso de la capsula + M.seca (gr)	8.82	11.89	11.39		11.54	9.03
Contenido de humedad (w)%	172.69	179.22	181.35		122.41	122.94
# De golpes	34	24	18			
Promedio					122.68	

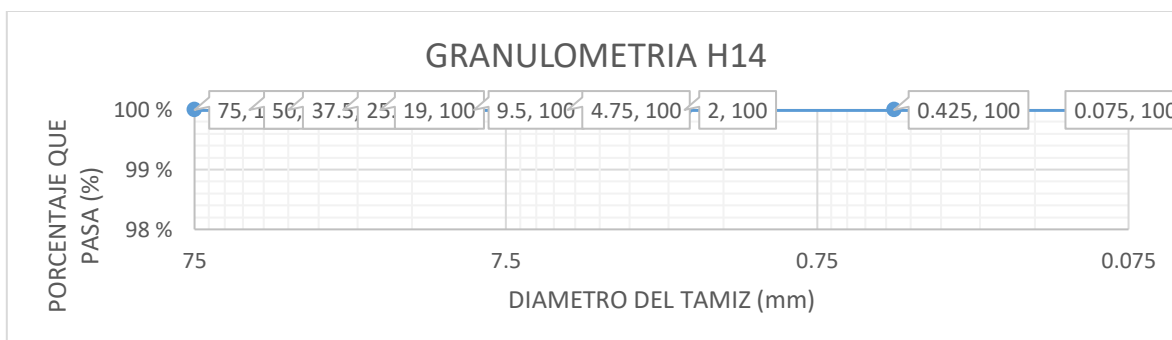
Límite Líquido	177
Límite Plástico	123
Índice de plasticidad	54
Contenido de humedad	100

Peso de la capsula (gr)	17.78	18.11
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	29.97	30.02
Peso de la capsula + M.seca (gr)	23.89	24.05
Contenido de humedad (w)%	99.51	100.51
Promedio	100.01	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
% RETE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	0	%
FINOS	100	%

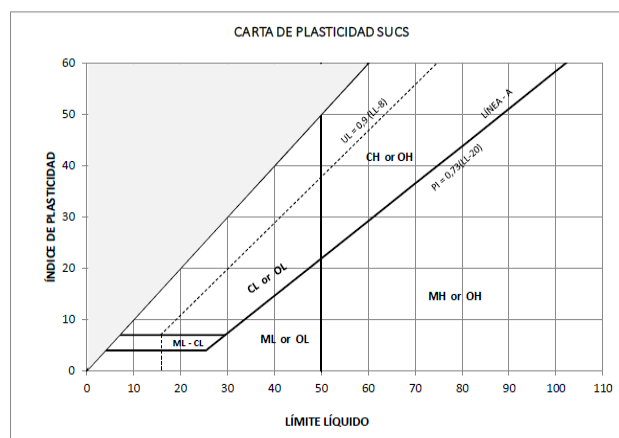
SUCS SPT 001

DATOS	
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	1,00-1,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.seca (gr)	0	0	0		0	0
Contenido de humedad (w)%	0	0	0		0	0
# De golpes	0	0	0			
Promedio					0	

Límite Líquido	MI
Límite Plástico	MI
Índice de plasticidad	MI
Contenido de humedad	71

Peso de la capsula (gr)	17.4	17.15
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	38.93	39.48
Peso de la capsula + M.seca (gr)	30	30.25
Contenido de humedad (w)%	70.87	70.46
Promedio	70.67	



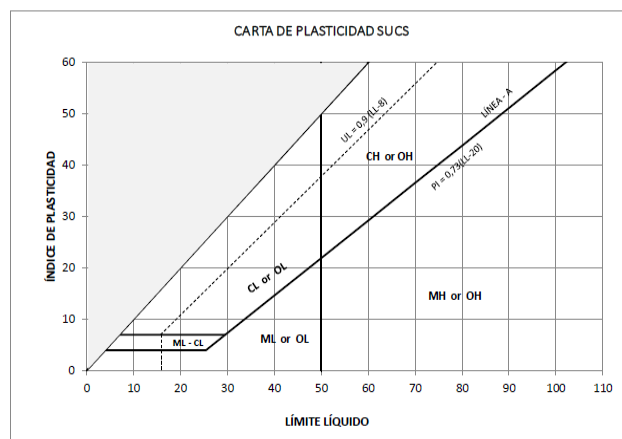
CLASIFICACION SUCS	ML	LIMO

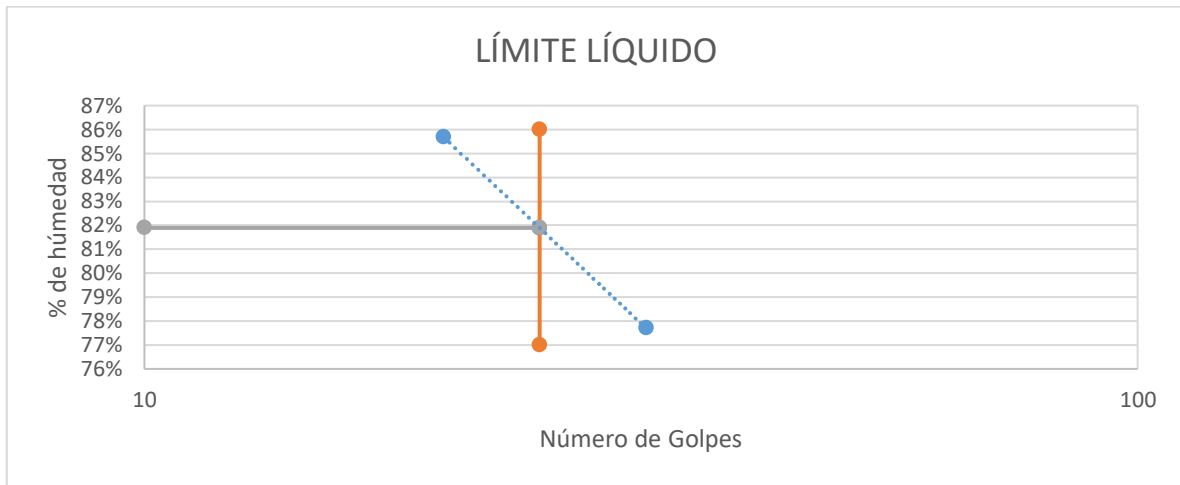
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	2,00-2,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.58	6.03	6.28		6.27	6.78
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	17.42	17.47	17.83		12.29	12.54
Peso de la capsula + M.seca (gr)	12.68	12.32	12.5		9.98	10.33
Contenido de humedad (w)%	77.7	81.88	85.69		62.26	62.25
# De golpes	32	25	20			
Promedio					62.26	

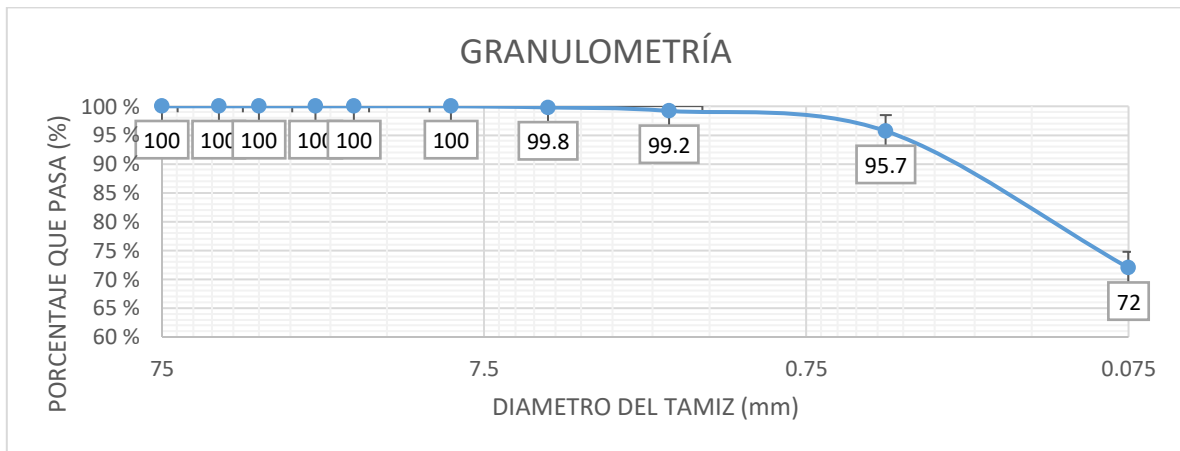
Límite Líquido	82
Límite Plástico	62
Índice de plasticidad	20
Contenido de humedad	83

Peso de la capsula (gr)	17.69	16.8
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	37.23	38.18
Peso de la capsula + M.seca (gr)	28.37	28.46
Contenido de humedad (w)%	82.96	83.36
Promedio	83.16	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.19	0.83	4.28	28.03
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0.19	1.02	5.3	33.33
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.8	99.2	95.7	72



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	0	%

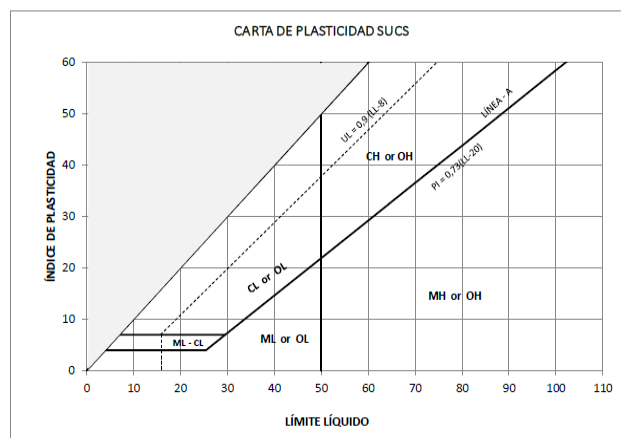
ARENA	28.00	%
FINOS	72.00	%

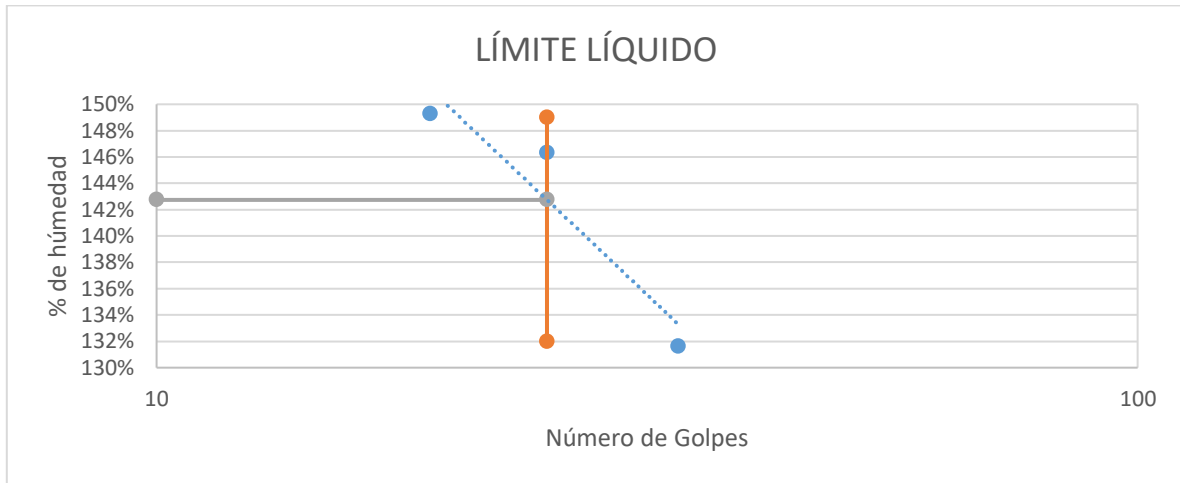
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	3,00-3,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.77	6.27	6.17		8.65	5.85
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	16.66	16.37	16.24		14.85	14.78
Peso de la capsula + M.seca (gr)	11.04	10.37	10.21		11.53	10
Contenido de humedad (w)%	131.62	146.34	149.26		115.28	115.18
# De golpes	34	25	19			
Promedio					115.23	

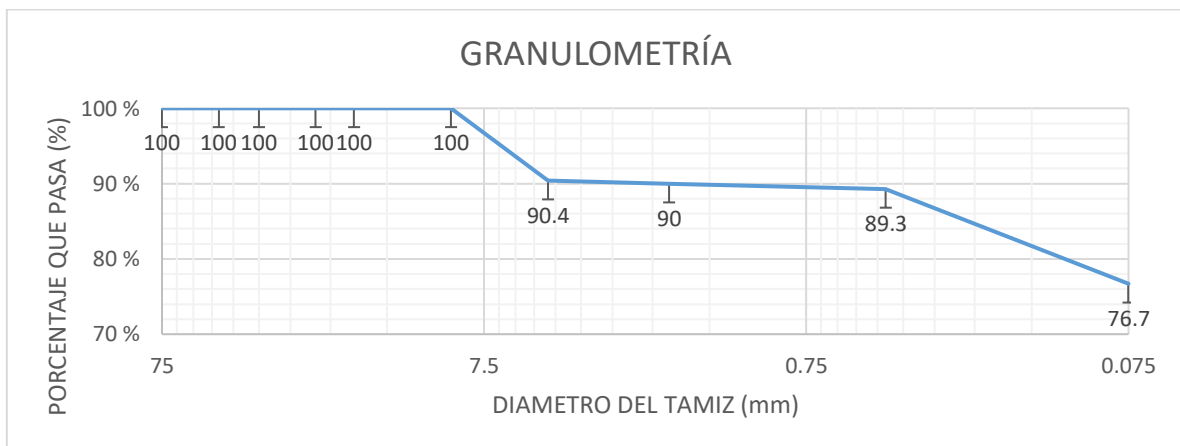
Límite Líquido	143
Límite Plástico	115
Índice de plasticidad	28
Contenido de humedad	179

peso de la capsula (gr)	17.75	17.83
peso de la capsula + M.humedad (gr)	37.13	37.05
peso de la capsula + M.seca (gr)	24.7	24.74
contenido de humedad (w)%	178.85	178.15
Promedio	178.5	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	9.63	9.96	10.7	23.28
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	9.63	19.59	30.29	53.57
% PASA	100	100	100	100	100	100	90.4	90	89.3	76.7



CLASIFICACION SUCS	O H

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO

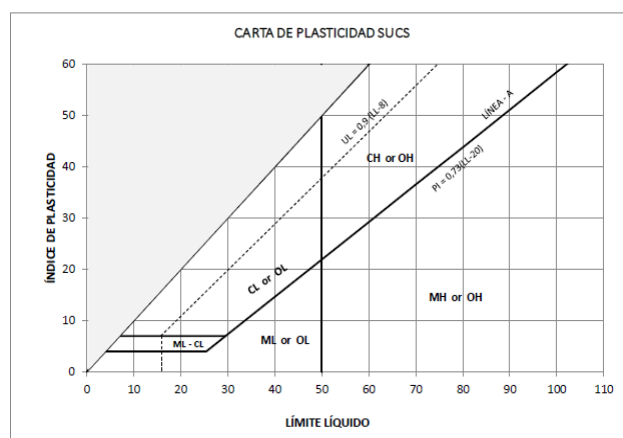
GRAVA	10	%
ARENA	13.00	%
FINOS	77.00	%

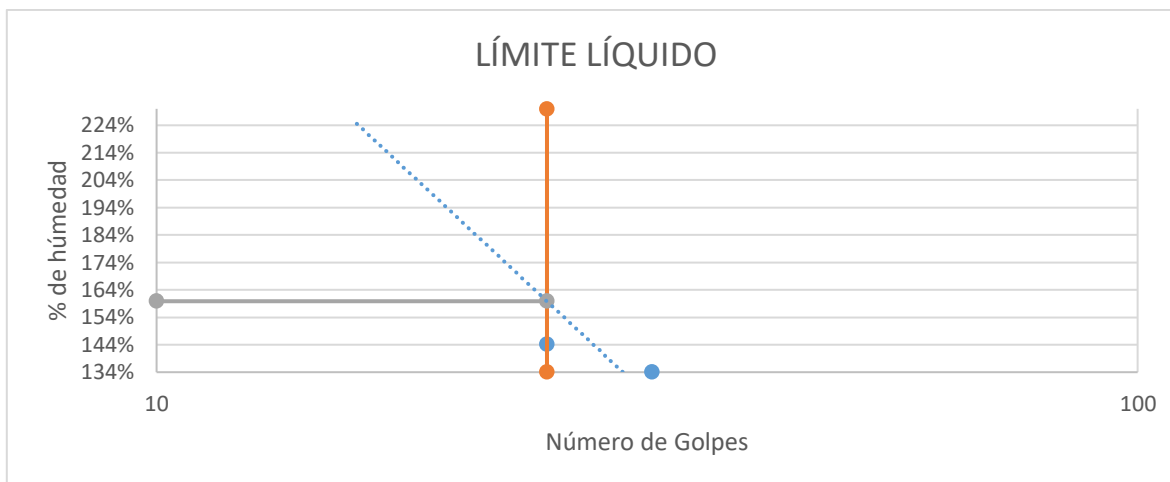
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	4,00-5,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	5.88	9.55	8.65		9.53	6.37
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	15.9	19.59	18.52		16.33	14.1
Peso de la capsula + M.seca (gr)	10.16	13.66	11.64		12.92	10.22
Contenido de humedad (w)%	134.11	144.28	230.1		100.59	100.78
# De golpes	32	25	16			
Promedio					100.69	

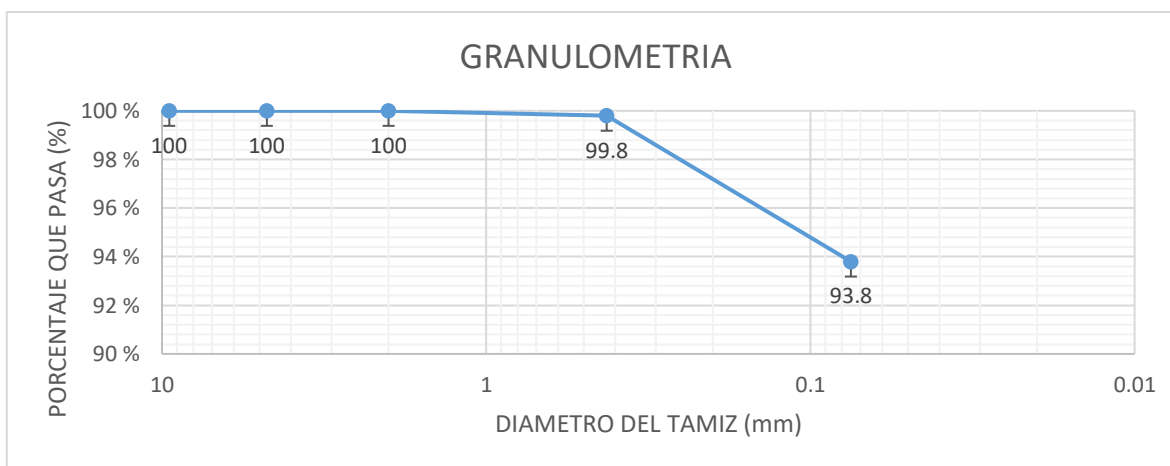
Límite Líquido	160
Límite Plástico	101
Índice de plasticidad	59
Contenido de humedad	307

Peso de la capsula (gr)	18.01	17.98
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	38.73	38.78
Peso de la capsula + M.seca (gr)	23.1	23.09
Contenido de humedad (w)%	307.07	307.05
Promedio	307.06	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	4.28	28.03
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16	6.23
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	99.8	93.8



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

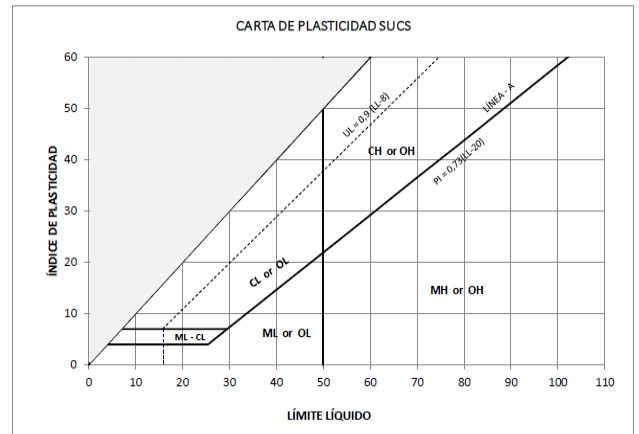
ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	6.00	%
FINOS	94.00	%

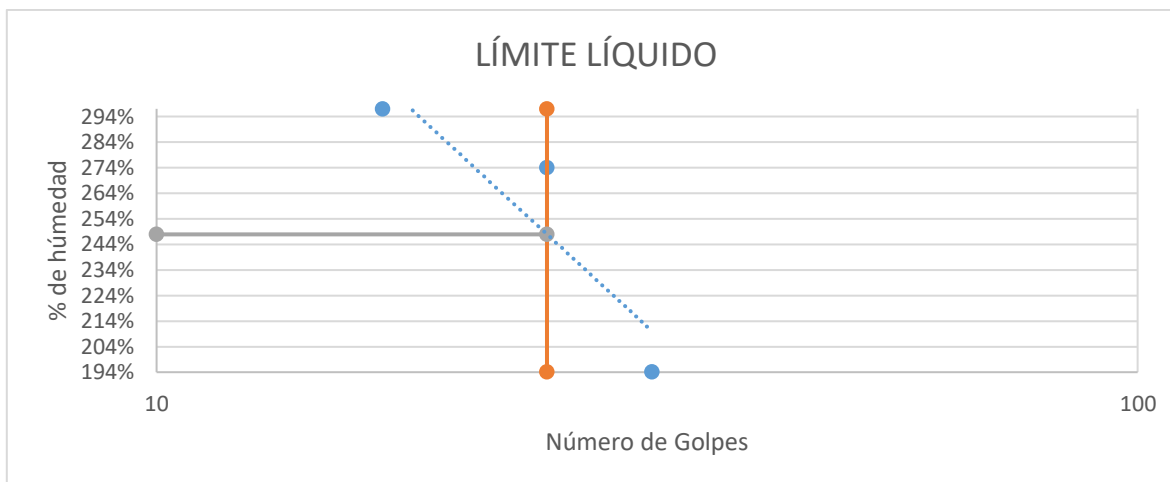
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	5,00-5,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.32	7.34	10.34		5.9	6.35
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	16.88	18.52	22.05		11.11	14.97
Peso de la capsula + M.seca (gr)	9.91	10.33	13.29		7.86	9.6
Contenido de humedad (w)%	194.15	273.91	296.95		165.82	165.23
# De golpes	32	25	17			
Promedio					165.53	

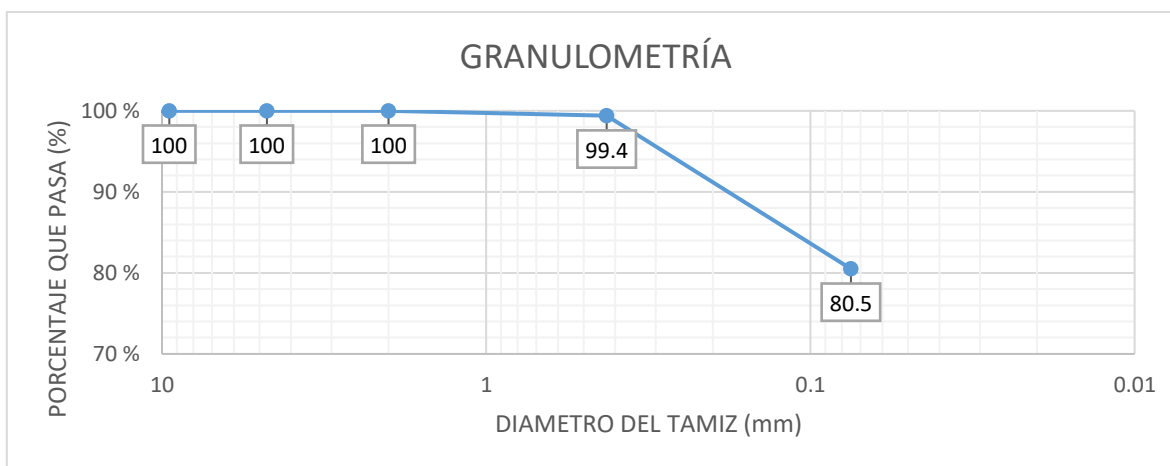
Límite Líquido	248
Límite Plástico	166
Índice de plasticidad	82
Contenido de humedad	268

Peso de la capsula (gr)	18.15	18.72
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	39.43	38.82
Peso de la capsula + M.seca (gr)	23.92	24.18
Contenido de humedad (w)%	268.8	268.13
Promedio	268.47	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	4.28	28.03
%RET	0	0	0	0	0	0	0	0	4.28	32.31
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	99.4	80.5



CLASIFICACION SUCS	O H

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	19.00	%

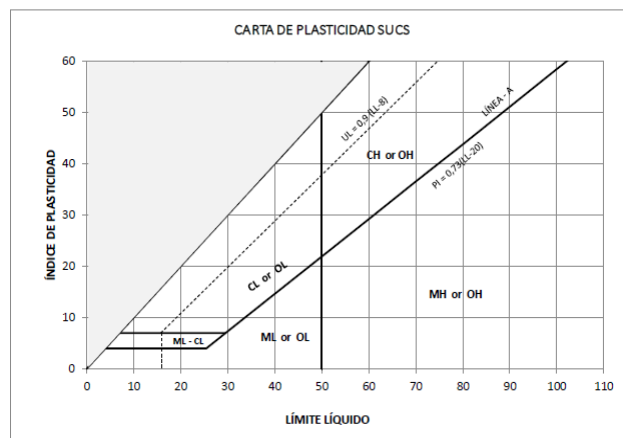
FINOS	81.00	%

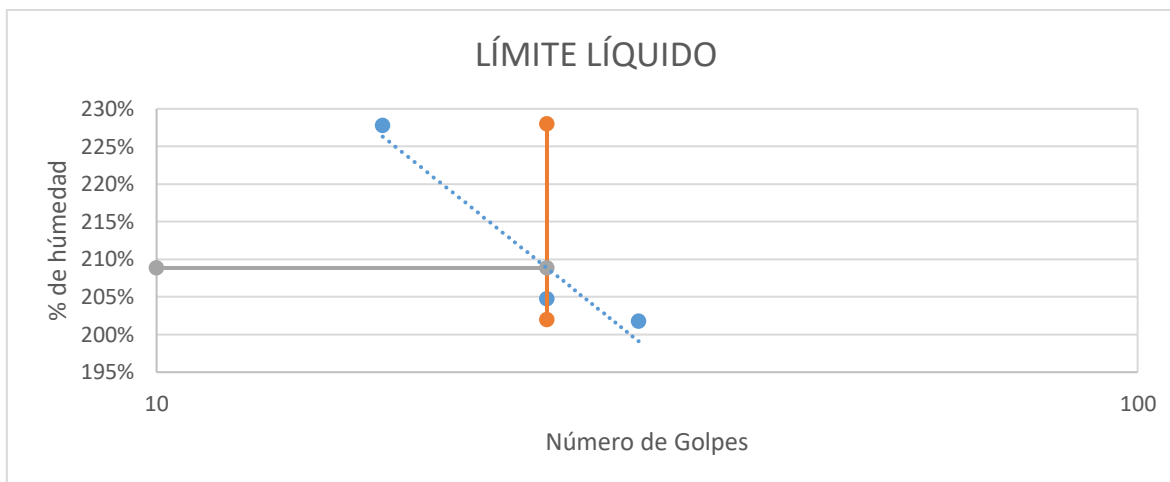
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	6,00-6,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	9.22	6.24	7.37		8.87	6.12
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	19.57	16.51	17.4		12.23	12.18
Peso de la capsula + M.seca (gr)	12.65	9.61	10.43		10.12	8.37
Contenido de humedad (w)%	201.75	204.75	227.78		168.8	169.33
# De golpes	31	25	17			
Promedio					169.07	

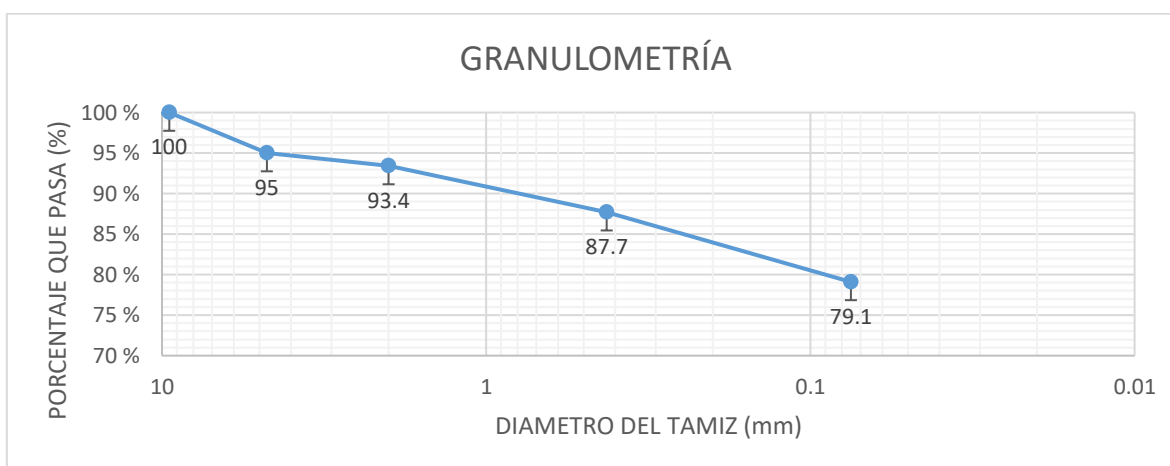
Límite Líquido	209
Límite Plástico	169
Índice de plasticidad	40
Contenido de humedad	303

Peso de la capsula (gr)	16.78	18.53
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	41.73	39.96
Peso de la capsula + M.seca (gr)	22.97	23.84
Contenido de humedad (w)%	303.07	303.58
Promedio	303.33	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	4.28	28.03
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0	4.28	32.31
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	95	93.4	79.1



CLASIFICACION SUCS	O H	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	5	%

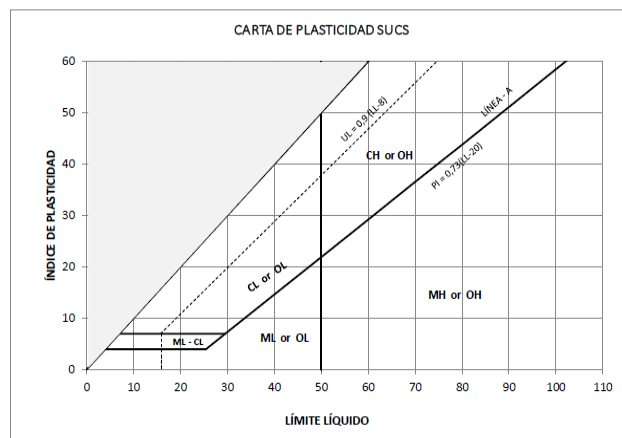
ARENA	16.00	%
FINOS	78.00	%

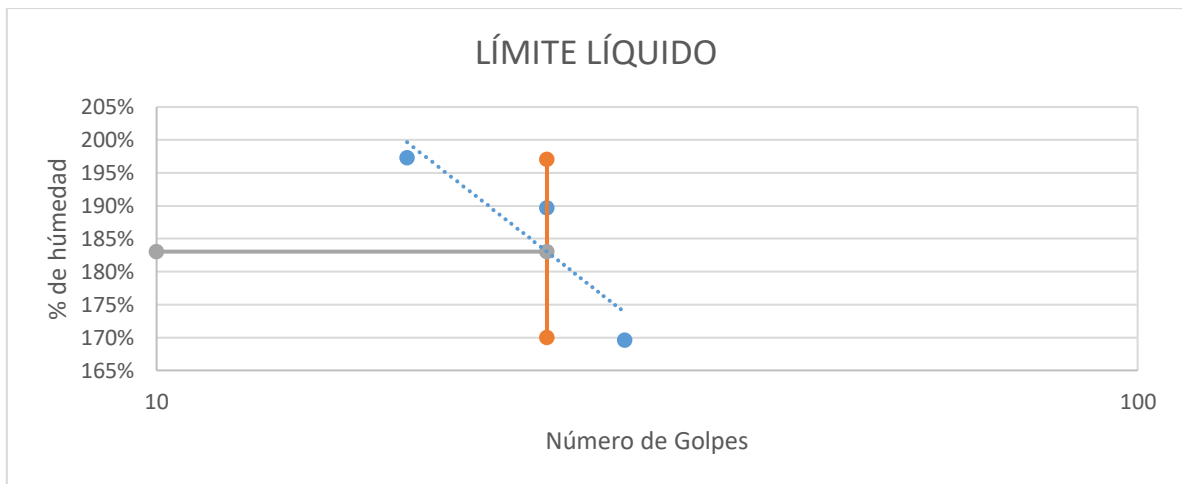
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	7,00-7,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	8.53	8.44	8.3		8.96	6.04
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	20.74	19.1	20.4		14.94	11.91
Peso de la capsula + M.seca (gr)	13.06	12.12	12.37		11.58	8.61
Contenido de humedad (w)%	169.54	189.67	197.3		128.24	128.4
# De golpes	30	25	18			
Promedio					128.32	

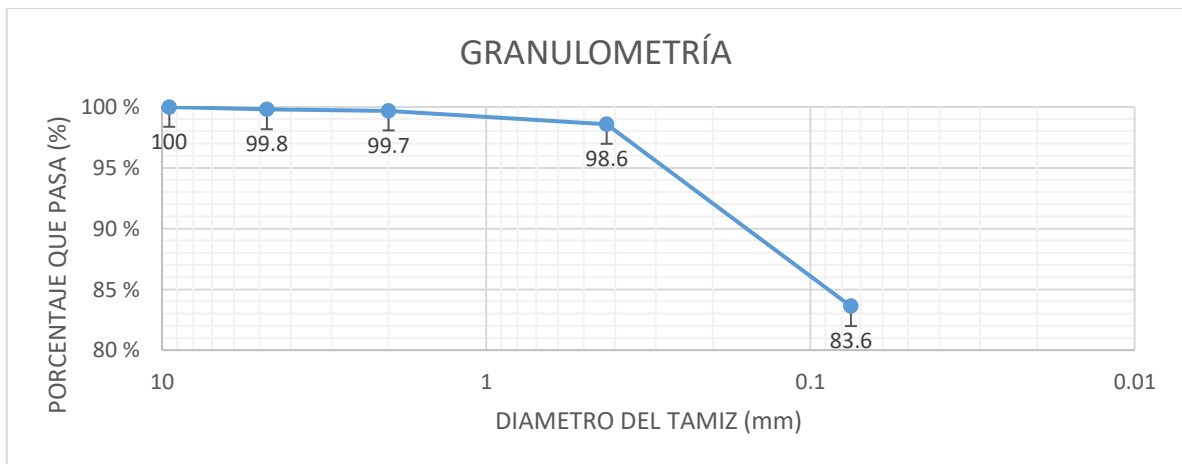
Límite Líquido	183
Límite Plástico	128
Índice de plasticidad	55
Contenido de humedad	208

Peso de la capsula (gr)	17.36	16.93
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	41.83	42.29
Peso de la capsula + M.seca (gr)	25.3	25.15
Contenido de humedad (w)%	208.19	208.52
Promedio	208.36	





TAMIZ	3"	2"	11/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.24	0.31	1.38	16.41
% RET	0	0	0	0	0	0	0.24	0.55	1.93	18.34
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.8	99.7	98.6	83.6



CLASIFICACION SUCS	O H

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

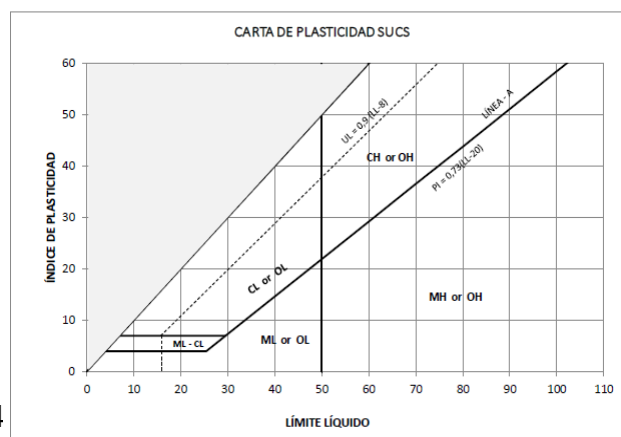
ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	16.00	%
FINOS	84.00	%

NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	8,00-8,45

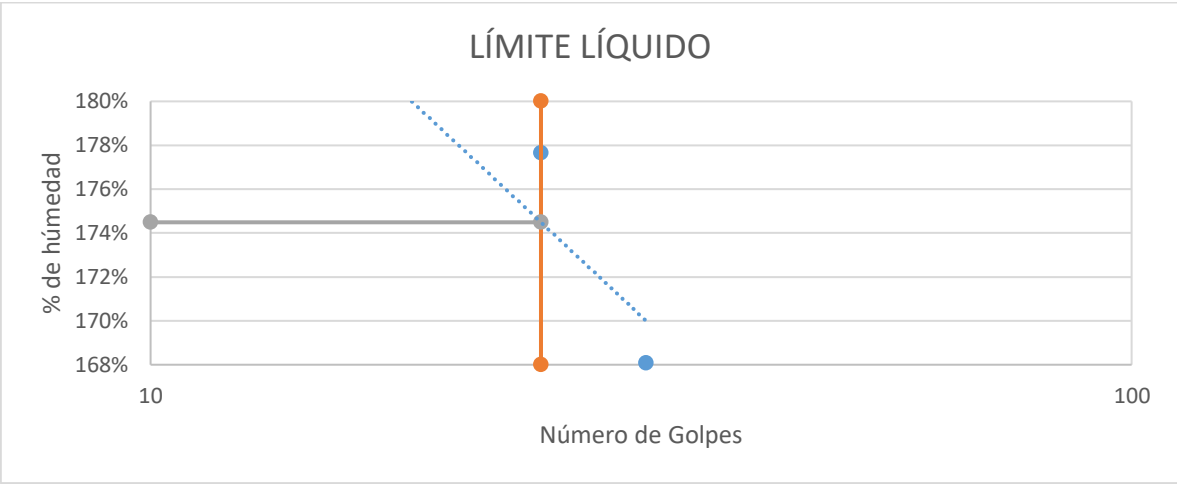
POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.36	6.11	6.13		9.04	8.7
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	20.97	22.02	21.32		15.41	17.31
Peso de la capsula + M.seca (gr)	11.81	11.84	11.55		12.03	12.76
Contenido de humedad (w)%	168.07	177.66	180.26		113.04	112.07
# De golpes	32	25	17			
Promedio					112.56	

Límite Líquido	174
Límite Plástico	113
Índice de plasticidad	61
Contenido de humedad	306

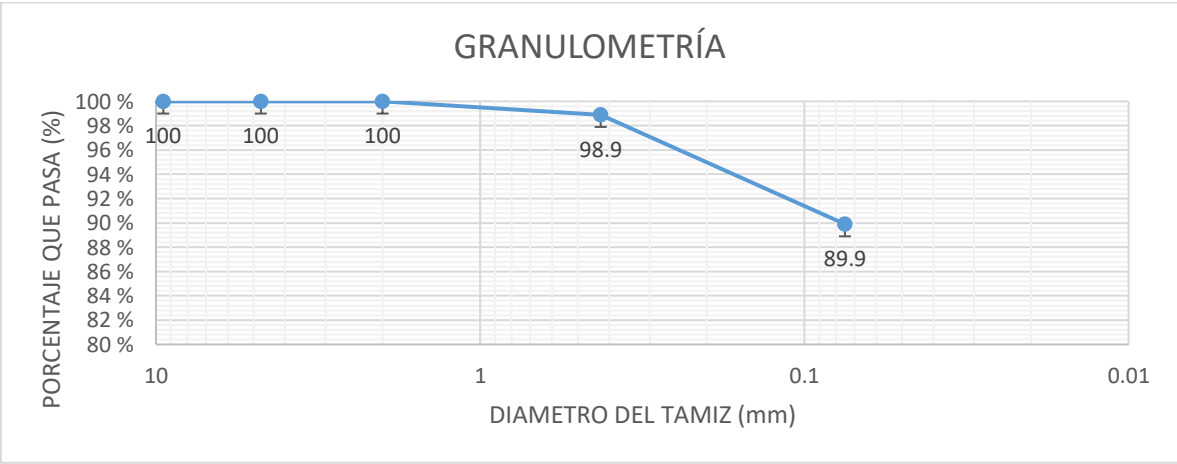
Peso de la capsula (gr)	11.42	11.42
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	33.74	33.72
Peso de la capsula + M.seca (gr)	16.92	16.92



Contenido de humedad (w)%	305.82	305.45
Promedio	305.64	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	1.12	10.08
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	1.12	11.2
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	98.9	89.9



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

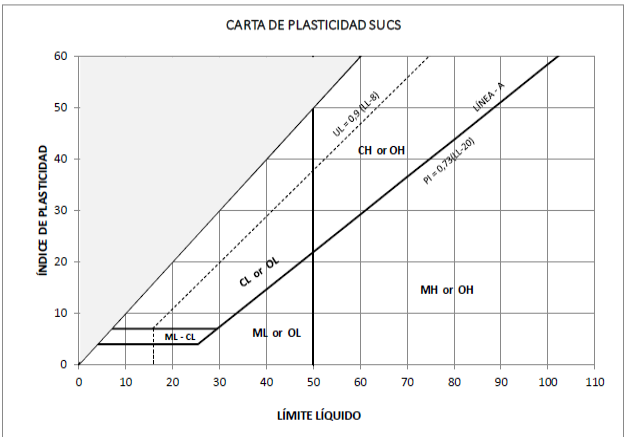
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	10.00	%
FINOS	90.00	%

NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	9,00-9,45

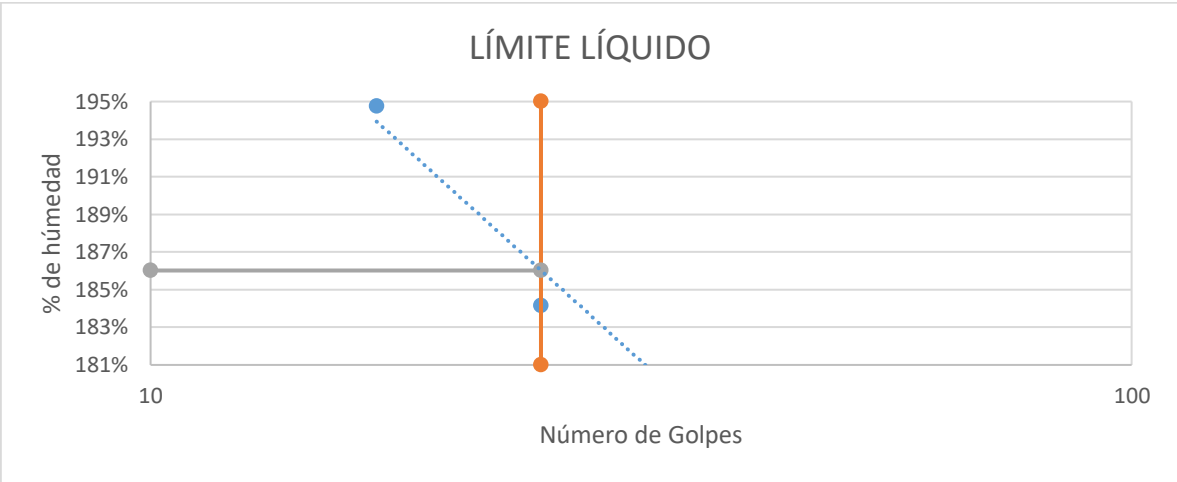
POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	7.37	8.45	8.91		6.03	6.76
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	20.79	21.55	22.41		11.43	12.05
Peso de la capsula + M.seca (gr)	12.15	13.06	13.49		8.5	9.19
Contenido de humedad (w)%	180.75	184.16	194.76		118.62	117.7
# De golpes	34	25	17			
Promedio					118.16	

Límite Líquido	186
Límite Plástico	118
Índice de plasticidad	68
Contenido de humedad	313

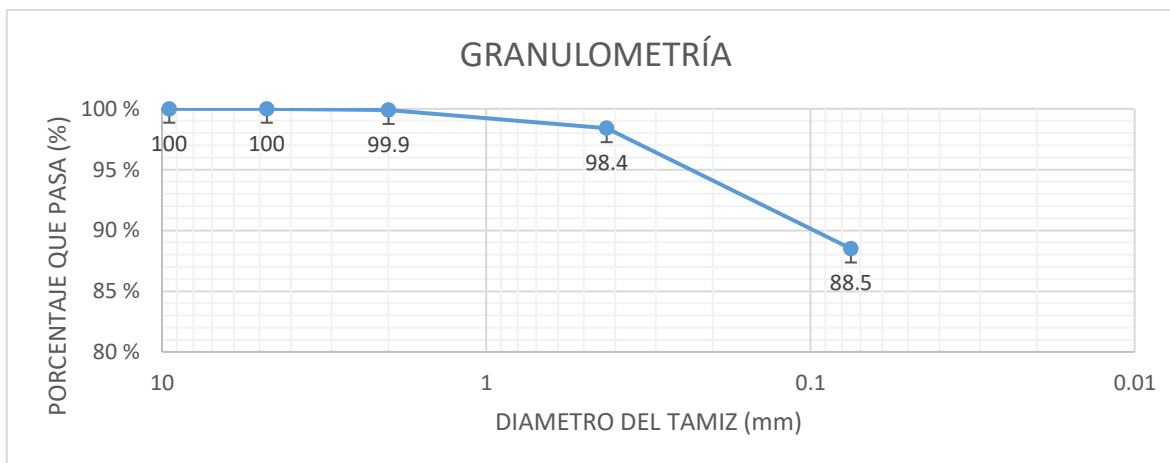
Peso de la capsula (gr)	18.46	18.49
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	46.64	46.6
Peso de la capsula + M.seca (gr)	25.28	25.3



Contenido de humedad (w)%	313.2	312.78
Promedio	312.99	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0.06	1.55	11.5
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0.06	1.61	13.11
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.9	98.4	88.5



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO			
GRAVA	0	%	
ARENA	11.00	%	
FINOS	89.00	%	

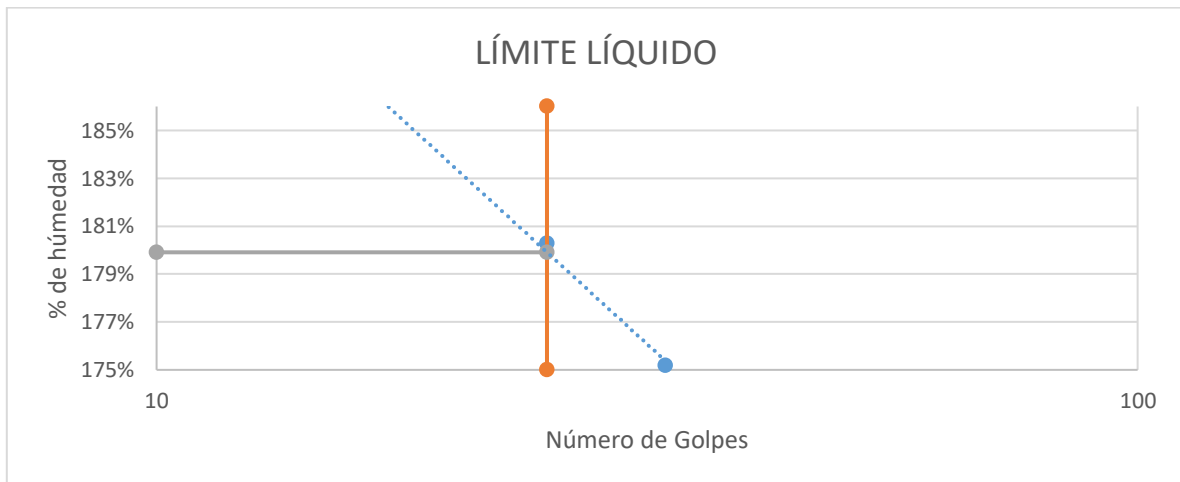
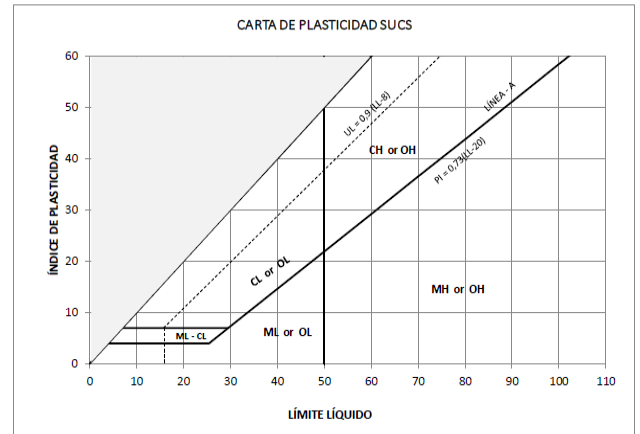
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	10,00-10,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.53	5.94	6.83		6.04	9.35
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	18.61	18.02	18.93		11.16	14.41
Peso de la capsula + M.seca (gr)	10.92	10.25	11.06		8.5	11.78
Contenido de humedad (w)%	175.17	180.28	186.05		108.13	108.23
# De golpes	33	25	17			

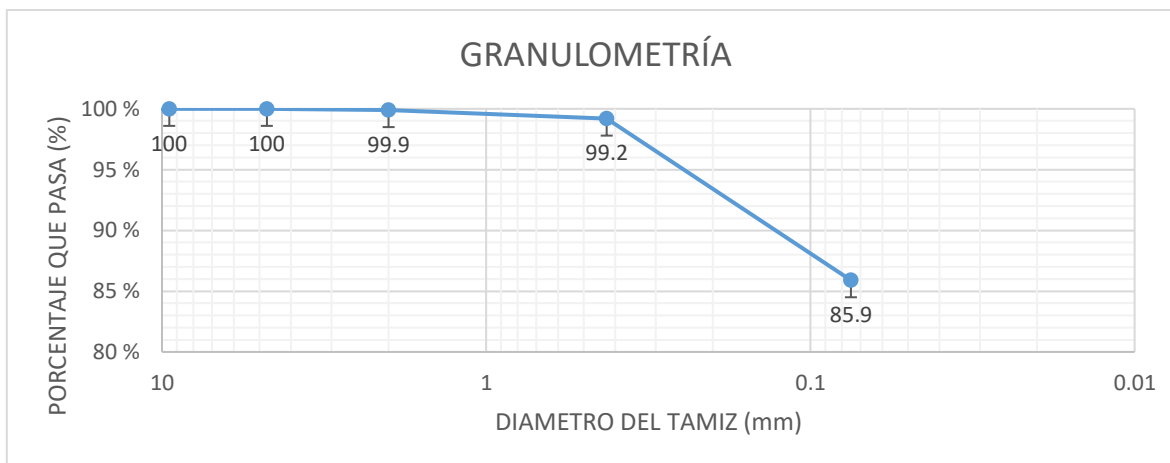
Promedio		108.18

Límite Líquido	180
Límite Plástico	108
Índice de plasticidad	72
Contenido de humedad	311

Peso de la capsula (gr)	18.05	18.14
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	46.01	45.94
Peso de la capsula + M.seca (gr)	24.85	24.9
Contenido de humedad (w)%	311.18	311.24
Promedio	311.21	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0.13	0.77	14.08
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0.13	0.9	14.98
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.9	99.2	85.9



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	14.00	%
FINOS	86.00	%

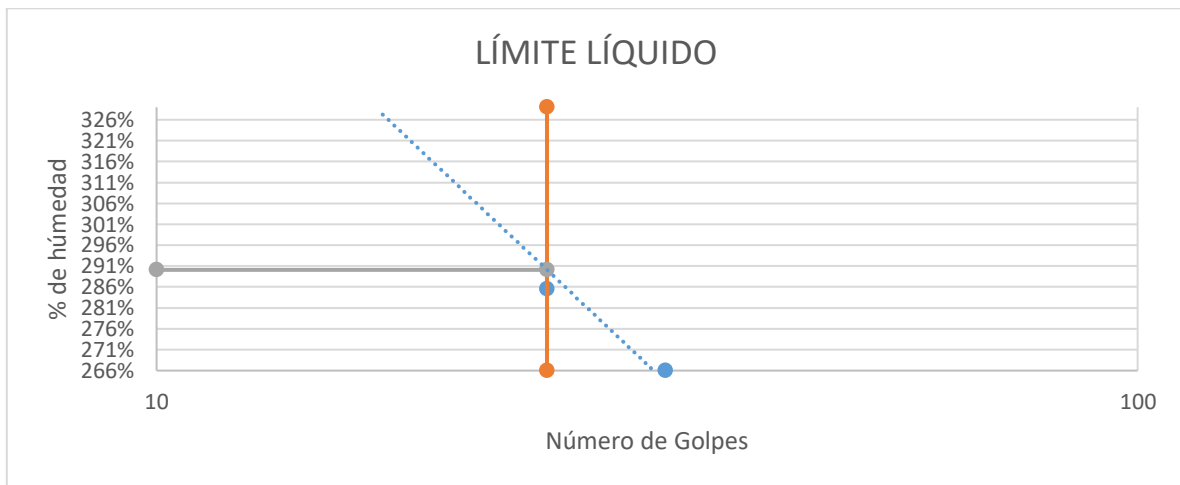
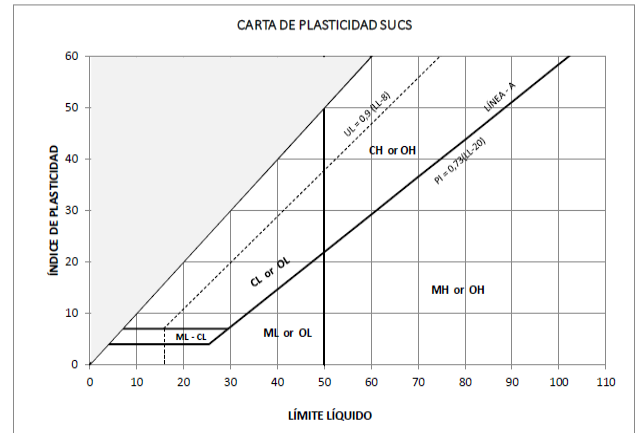
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	11,00-11,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.11	8.54	6.18		9.5	8.82
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	17.64	18.91	16.18		14.14	14.42
Peso de la capsula + M.seca (gr)	9.26	11.23	8.51		11.14	10.8
Contenido de humedad (w)%	266.03	285.5	329.18		182.93	182.83
# De golpes	33	25	17			

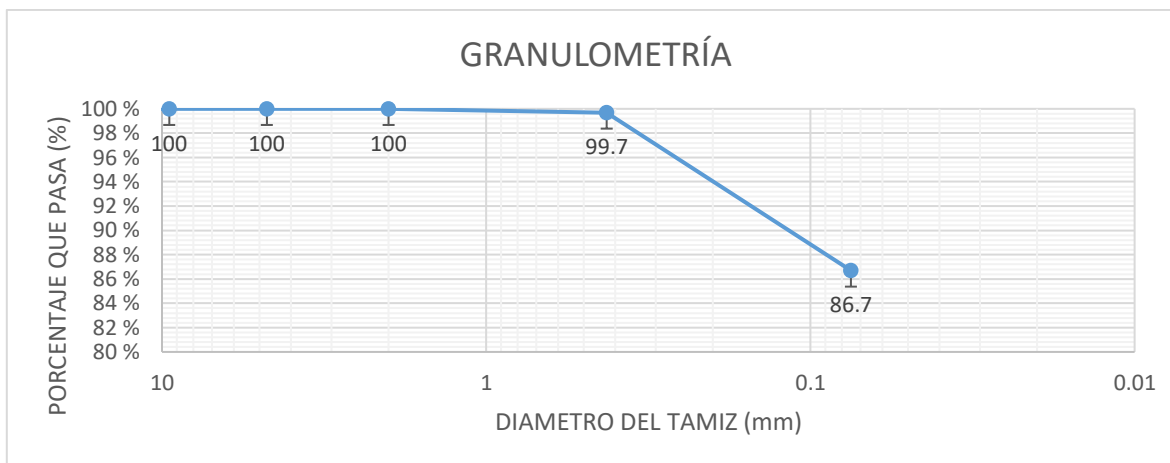
Promedio		182.88

Límite Líquido	290
Límite Plástico	183
Índice de plasticidad	107
Contenido de humedad	308

Peso de la capsula (gr)	16.69	16.14
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	37.78	38.33
Peso de la capsula + M.seca (gr)	21.86	21.57
Contenido de humedad (w)%	307.93	308.66
Promedio	308.3	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.34	13.32
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0	0.34	13.66
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	99.7	86.7



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	13.00	%
FINOS	87.00	%

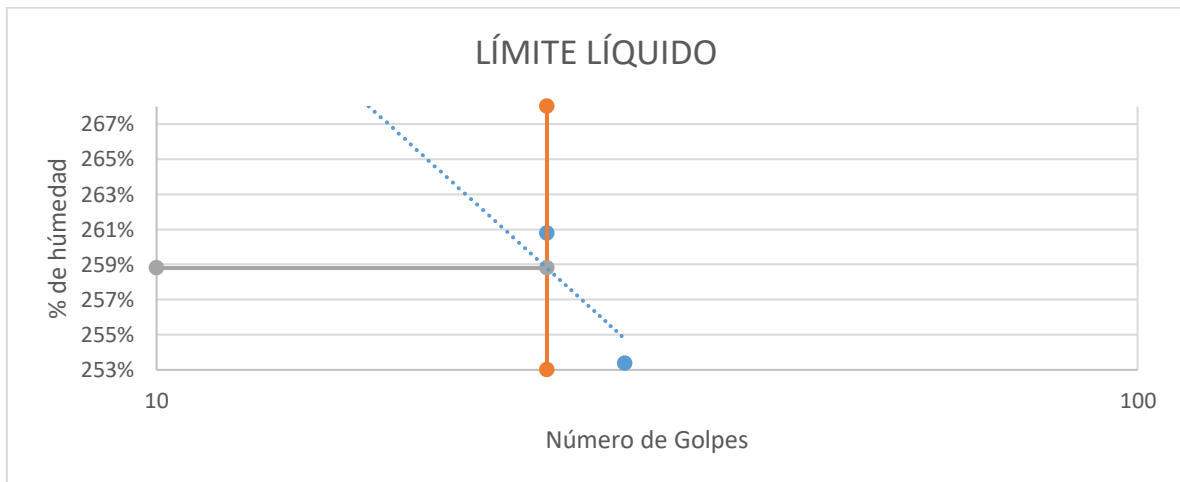
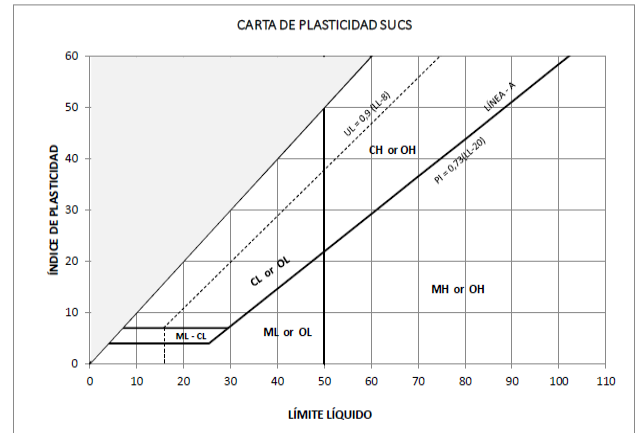
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	12,00-12,35

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	8.8	9.29	8.72		6.72	6.37
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	18.8	19.32	18.4		19.91	12.3
Peso de la capsula + M.seca (gr)	11.63	12.07	11.35		11.89	8.69
Contenido de humedad (w)%	253.36	260.79	268.06		155.13	155.6
# De golpes	30	25	16			

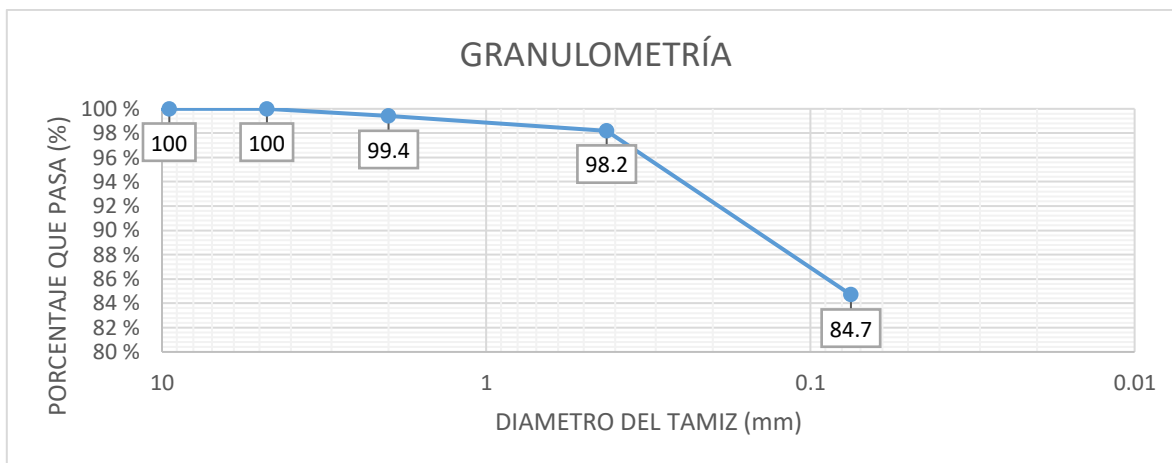
Promedio		155.37

Límite Líquido	259
Límite Plástico	155
Índice de plasticidad	104
Contenido de humedad	309

Peso de la capsula (gr)	17.78	18.2
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	39.19	38.8
Peso de la capsula + M.seca (gr)	23.01	23.24
Contenido de humedad (w)%	309.37	308.73
Promedio	309.05	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0.61	1.76	15.3
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0.61	2.37	17.67
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.4	98.2	84.7



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	15.00	%
FINOS	85.00	%

CLASIFICACION SUCS	O H	LIMO ORGNICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

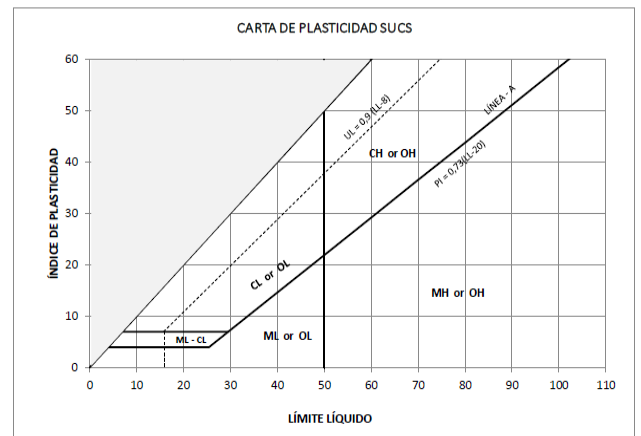
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	12,35-12,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.seca (gr)	0	0	0		0	0
Contenido de humedad (w)%	0	0	0		0	0

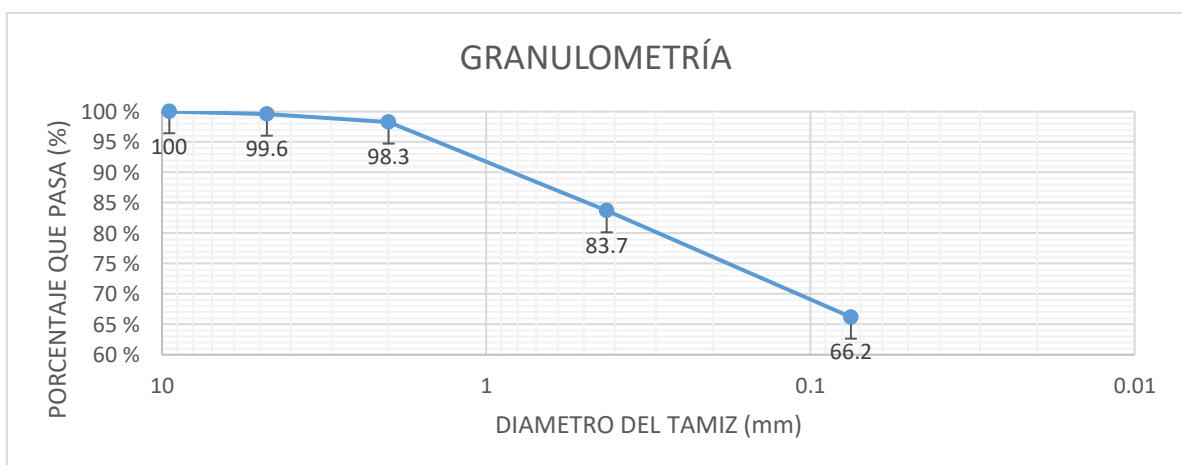
# De golpes	0	0	0			
Promedio						0

Límite Líquido	MI
Límite Plástico	MI
Índice de plasticidad	MI
Contenido de humedad	50

Peso de la capsula (gr)	18.24	11.78
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	42.24	48.71
Peso de la capsula + M.seca (gr)	34.2	36.48
Contenido de humedad (w)%	50.38	49.51
Promedio	49.95	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.43	1.66	16.26	33.76
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0.43	2.09	18.35	52.11
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.6	98.3	83.7	66.2



CLASIFICACION SUCS	MH	LIMO ORGANICO ARENOSO

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	34.00	%
FINOS	66.00	%

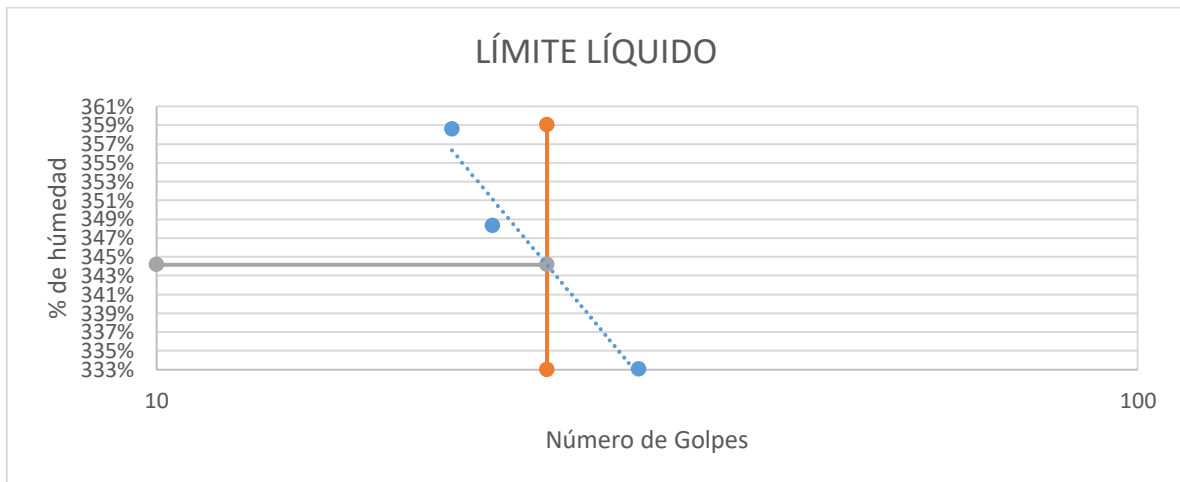
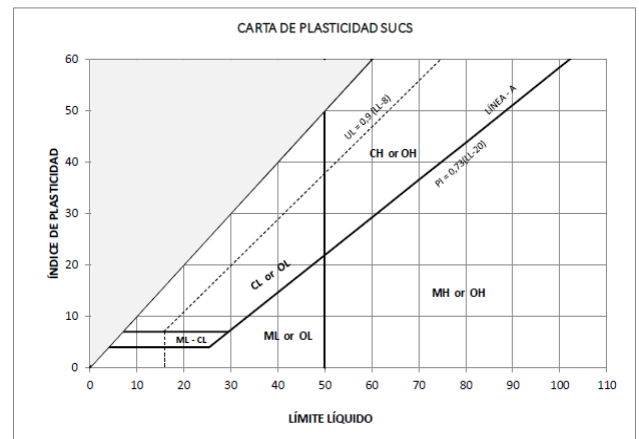
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	13,00-13,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	9.21	5.92	6.35		7.35	6.18
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	14.32	11.12	11.44		12.51	11.3
Peso de la capsula + M.seca (gr)	10.39	7.08	7.46		8.87	7.69
Contenido de humedad (w)%	333.05	348.28	358.56		239.47	239.07
# De golpes	31	22	20			
Promedio					239.27	

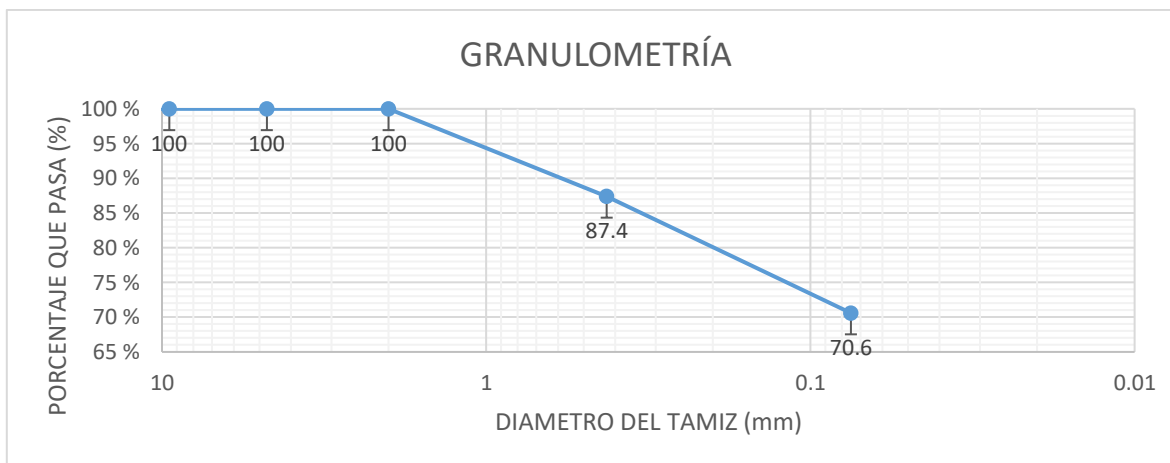
Límite Líquido	344

Límite Plástico	239
Índice de plasticidad	105
Contenido de humedad	319

Peso de la capsula (gr)	17.96	17.9
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	38.73	38.78
Peso de la capsula + M.seca (gr)	22.92	22.89
Contenido de humedad (w)%	318.75	318.44
Promedio	318.6	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	12.57	29.37
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	12.57	41.94
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	87.4	70.6



CLASIFICACION SUCS	O H

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO			
GRAVA	0	%	
ARENA	29.00	%	
FINOS	71.00	%	

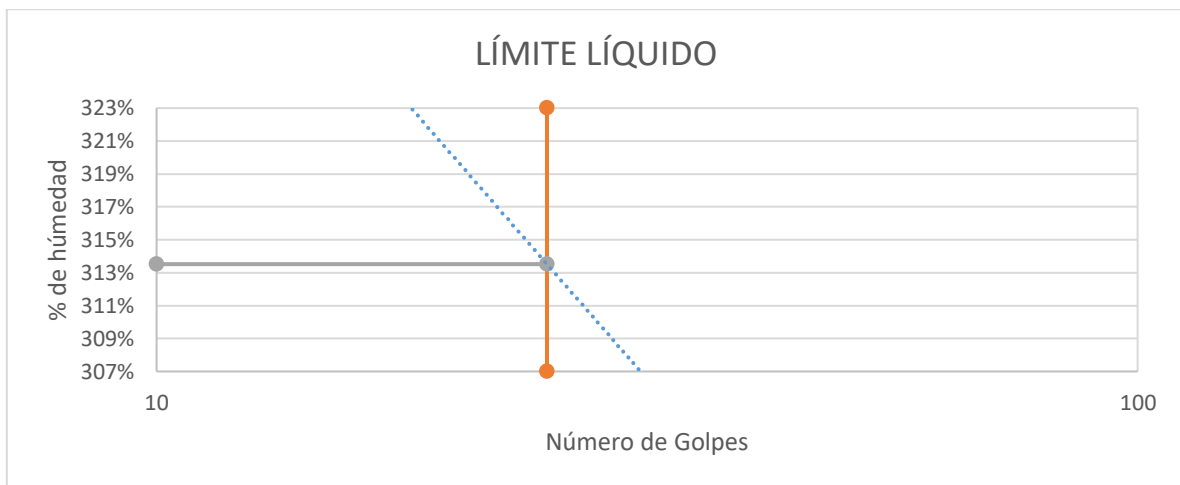
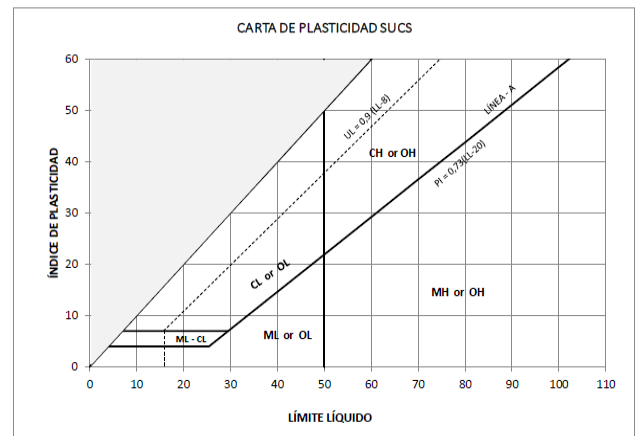
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	14,00-14,35

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.72	6.22	5.87		6.52	8.66
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	16.68	12.24	15.86		11.69	13.93
Peso de la capsula + M.seca (gr)	9.17	7.7	8.23		8.28	10.45
Contenido de humedad (w)%	306.53	306.76	323.31		193.75	194.41

# De golpes	32	31	18			
Promedio						194.08

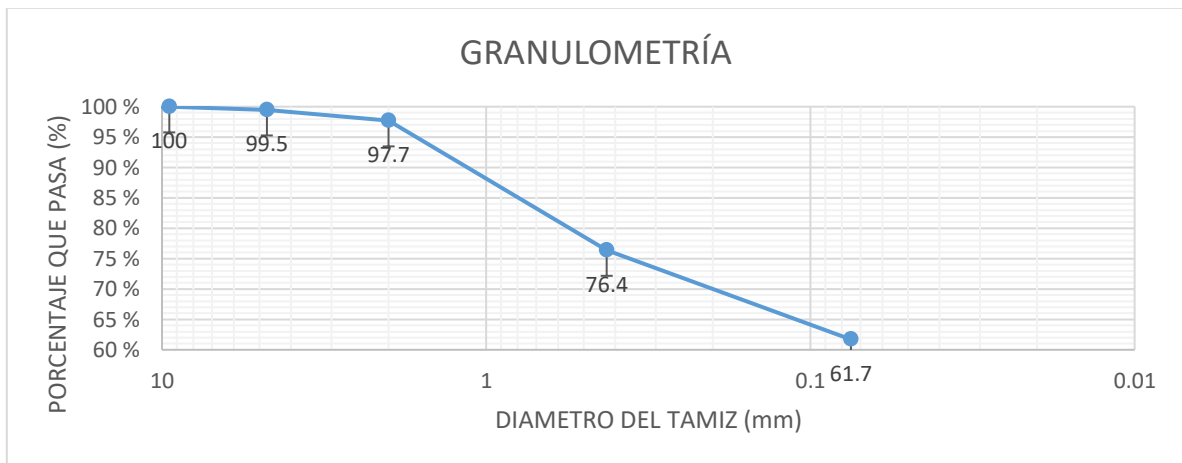
Límite Líquido	314
Límite Plástico	194
Índice de plasticidad	120
Contenido de humedad	196

Peso de la capsula (gr)	17.95	17.91
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	40.26	40.31
Peso de la capsula + M.seca (gr)	25.49	25.46
Contenido de humedad (w)%	195.89	196.69
Promedio	196.29	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075

RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.45	2.32	23.61	38.32
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0.45	2.77	26.38	64.7
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.5	97.7	76.4	61.7



CLASIFICACION SUCS	OH	LIMO ORGANICO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	1	%
ARENA	37.00	%
FINOS	62.00	%

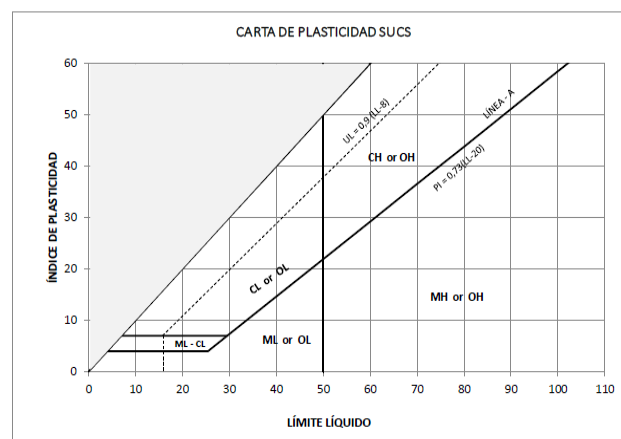
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	14,35-14,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	0	0	0		0	0

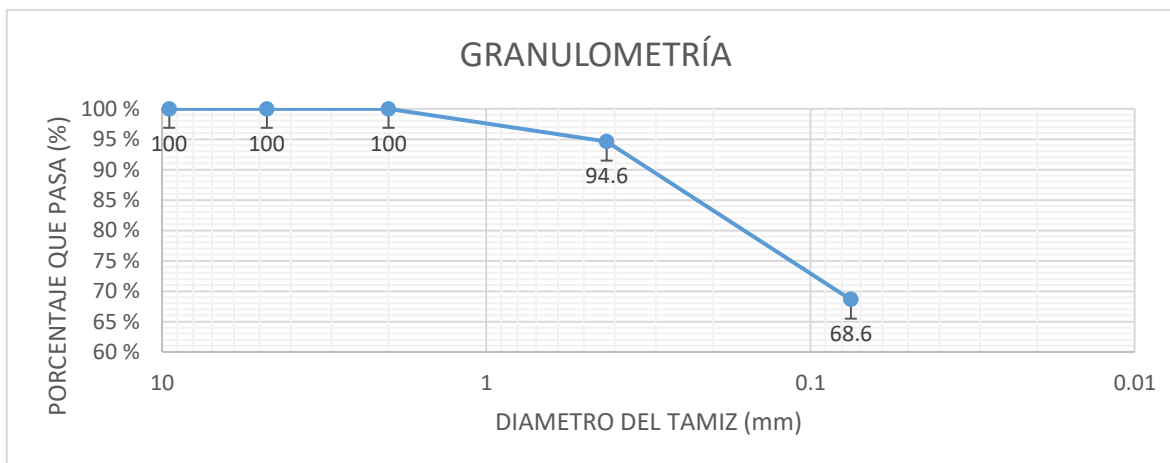
Peso de la capsula + M.seca (gr)	0	0	0		0	0
Contenido de humedad (w)%	0	0	0		0	0
# De golpes	0	0	0			
Promedio					0	

Límite Líquido	MI
Límite Plástico	MI
Índice de plasticidad	MI
Contenido de humedad	72

Peso de la capsula (gr)	16.53	19.93
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	52.78	49.36
Peso de la capsula + M.seca (gr)	37.59	37
Contenido de humedad (w)%	72.13	72.41
Promedio	72.27	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	5.4	31.43
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	5.4	36.83
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	94.6	68.6



CLASIFICACION SUCS	OL

LIMO ORGANICO CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO			
GRAVA	0	%	
ARENA	31.00	%	
FINOS	69.00	%	

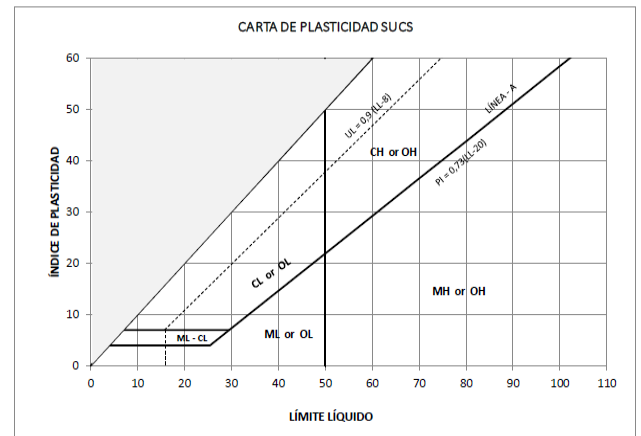
NORMA	ASTM D 2487

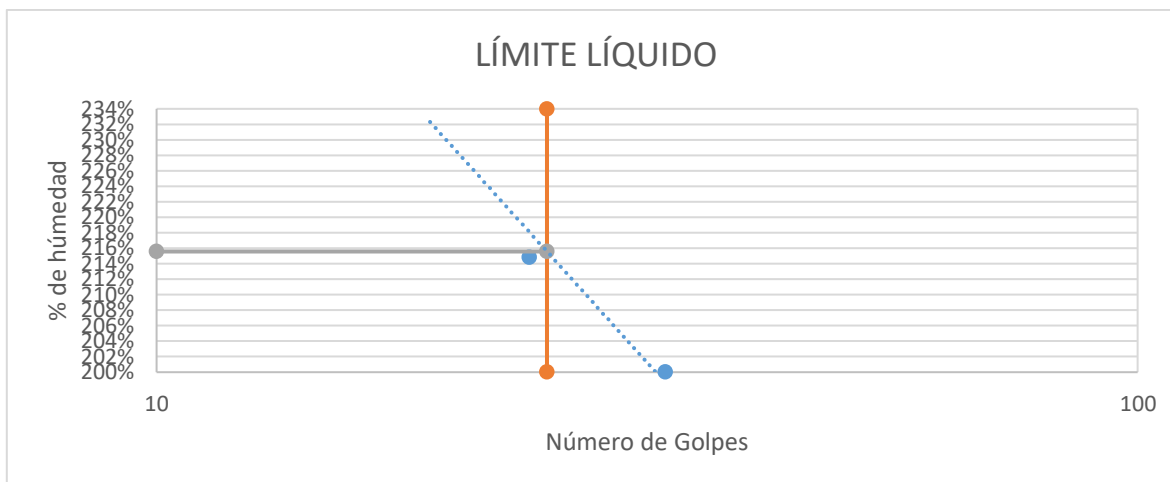
PROFUNDIDAD	15,00-15,25

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	8.43	6.28	6.53		8.67	9.48
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	13.53	11.79	11.91		13.7	14.49
Peso de la capsula + M.seca (gr)	10.13	8.03	8.14		10.98	11.78
Contenido de humedad (w)%	200	214.86	234.16		117.75	117.83
# De golpes	33	24	19			
Promedio					117.79	

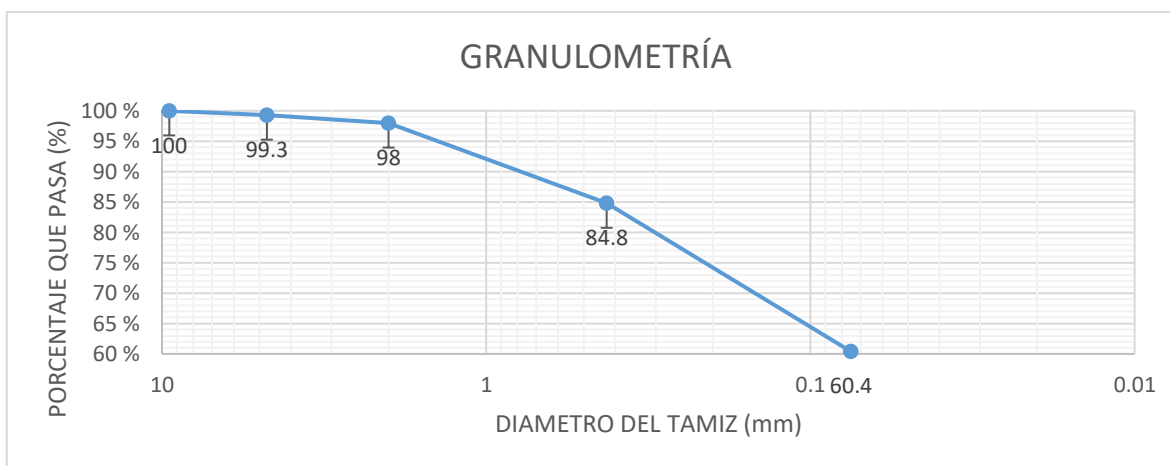
Límite Líquido	216
Límite Plástico	118
Índice de plasticidad	98
Contenido de humedad	136

Peso de la capsula (gr)	17.49	17.44
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	42.97	43.04
Peso de la capsula + M.seca (gr)	28.3	28.28
Contenido de humedad (w)%	135.71	136.16
Promedio	135.94	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.69	1.98	15.23	39.58
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0.69	2.67	17.9	57.48
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.3	98	84.8	60.4



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD

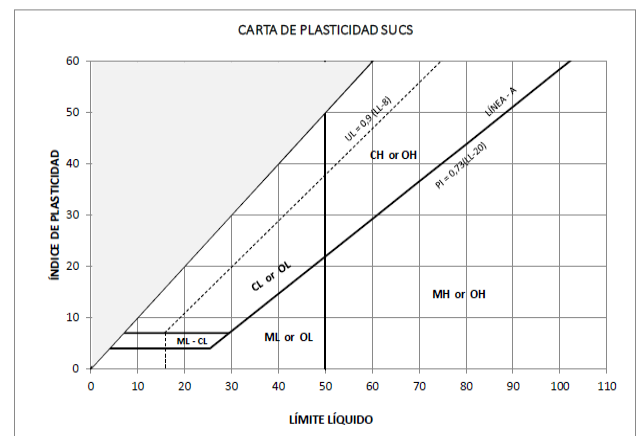
ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	1	%
ARENA	39.00	%
FINOS	60.00	%

NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	15,25-15,45

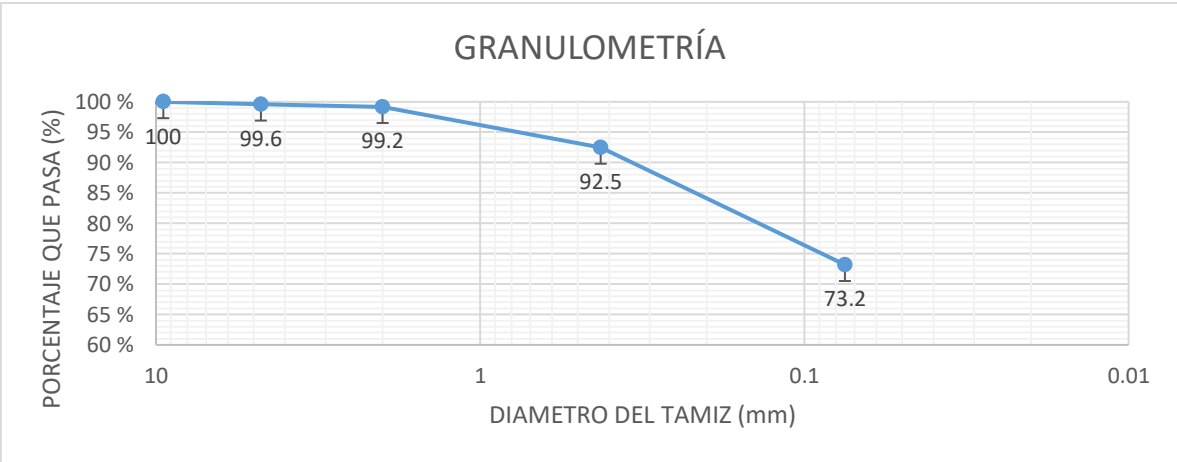
POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.seca (gr)	0	0	0		0	0
Contenido de humedad (w)%	0	0	0		0	0
# De golpes	0	0	0			
Promedio					0	

Límite Líquido	MI
Límite Plástico	MI
Índice de plasticidad	MI
Contenido de humedad	50

Peso de la capsula (gr)	17.83	17.97
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	55.08	54.94
Peso de la capsula + M.seca (gr)	42.81	42.6
Contenido de humedad (w)%	49.12	50.1
Promedio	49.61	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.35	0.83	7.49	26.76
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0.35	1.18	8.67	35.43
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.6	99.2	92.5	73.2



CLASIFICACION SUCS	OL

LIMO ORGANICO CON ARENA

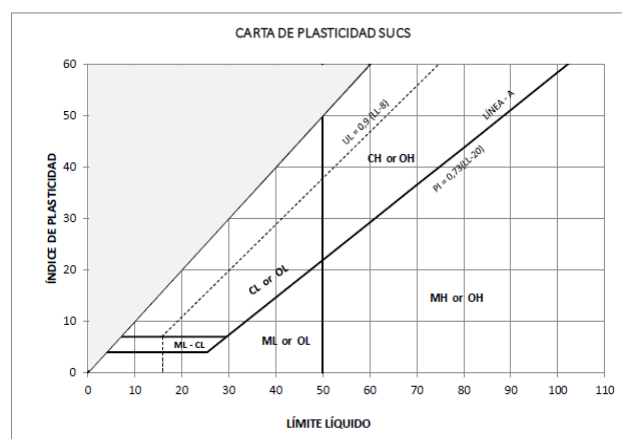
ANALISIS GRANULOMETRICO			
GRAVA	0	%	
ARENA	27.00	%	
FINOS	73.00	%	

NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	16,00-16,45

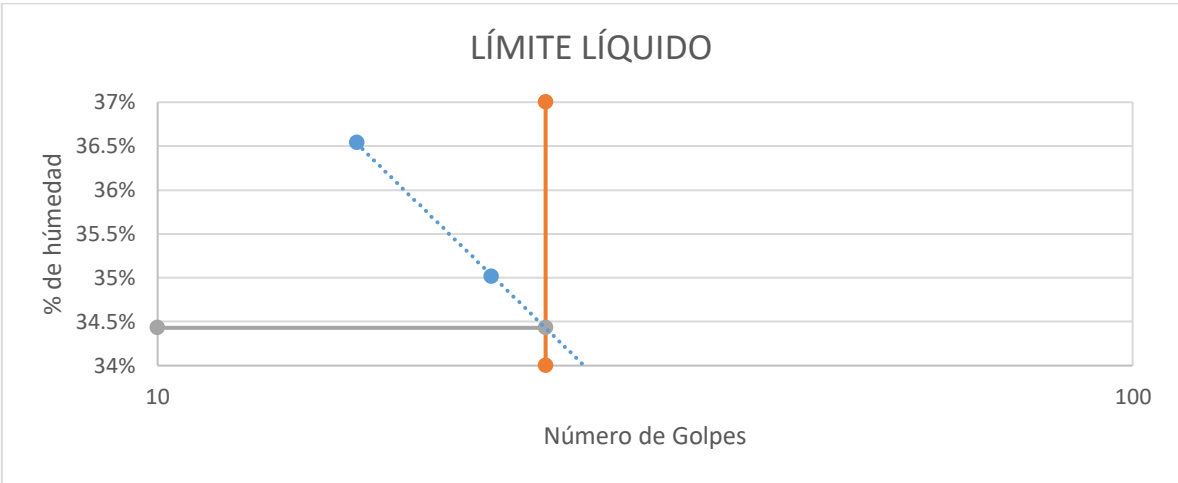
POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.13	6.76	6.22		8.36	6.78
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	11.54	11.85	11.19		13.58	11.89
Peso de la capsula + M.seca (gr)	10.18	10.53	9.86		12.52	10.86
Contenido de humedad (w)%	33.58	35.01	36.54		25.48	25.25
# De golpes	30	22	16			
Promedio					25.37	

Límite Líquido	34
Límite Plástico	25
Índice de plasticidad	9
Contenido de humedad	29

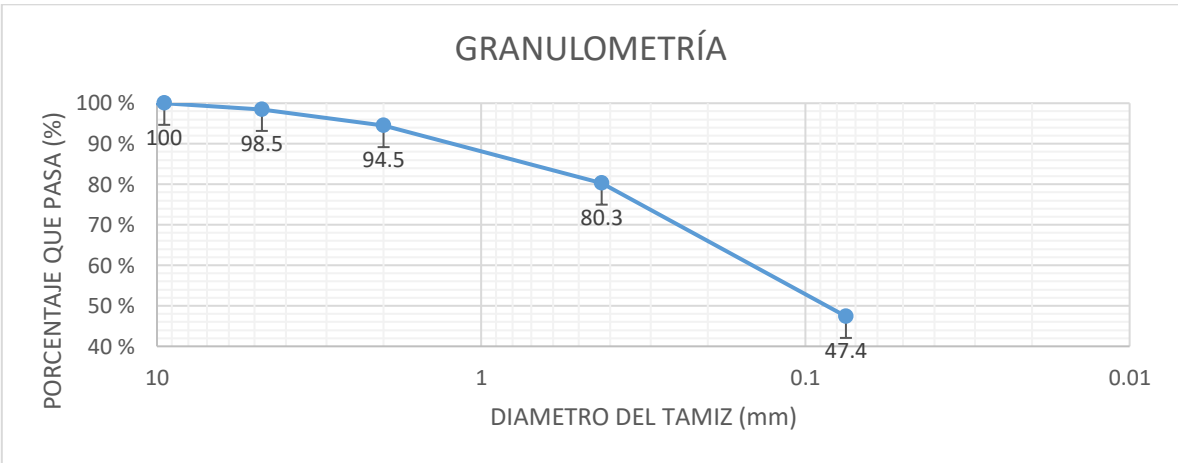
Peso de la capsula (gr)	17.92	16.97
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	57.53	58.49
Peso de la capsula + M.seca (gr)	48.69	49
Contenido de humedad (w)%	28.73	29.63



Promedio	29.18



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	1.5	5.49	19.66	52.57
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	1.5	6.99	26.65	79.22
% PASA	100	100	100	100	100	100	98.5	94.5	80.3	47.4



CLASIFICACION SUCS	SM	ARENA LIMOSA

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	2	%

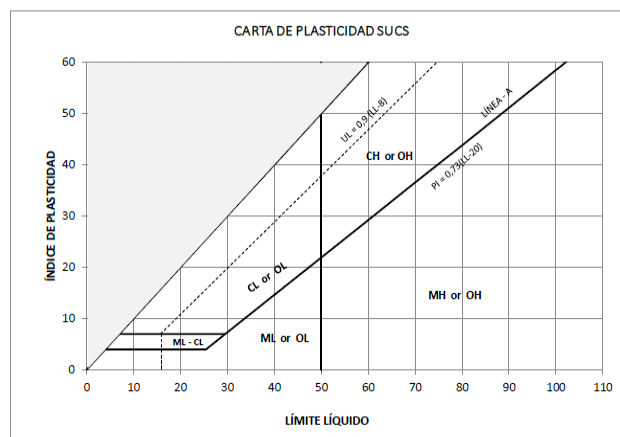
ARENA	51.00	%
FINOS	47.00	%

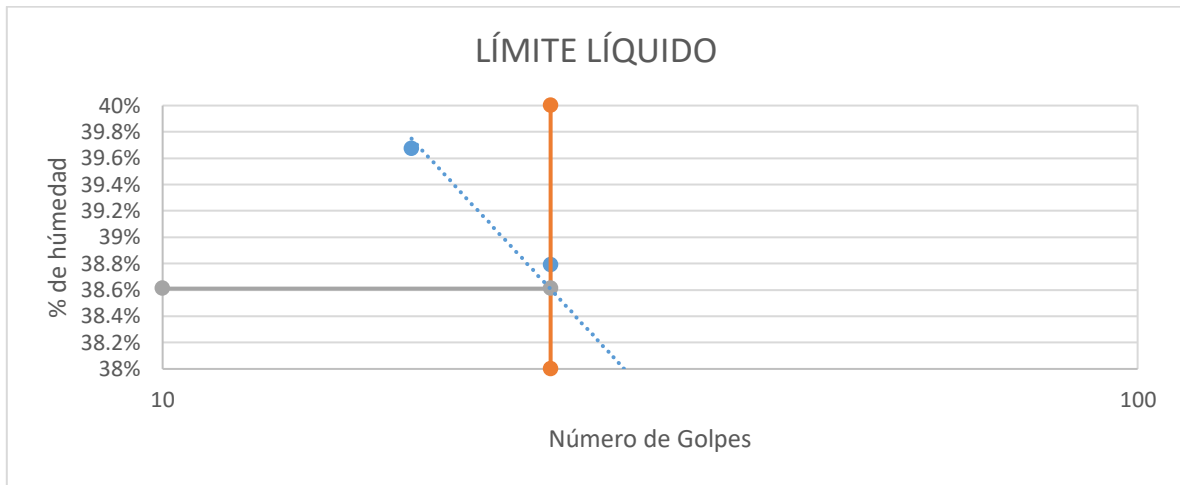
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	17,00-17,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	8.64	7.48	8.86		6.01	8.9
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	14.93	13.42	14.74		11.78	14.23
Peso de la capsula + M.seca (gr)	13.21	11.76	13.07		10.46	12.99
Contenido de humedad (w)%	37.64	38.79	39.67		29.66	30.32
# De golpes	32	25	18			
Promedio					29.99	

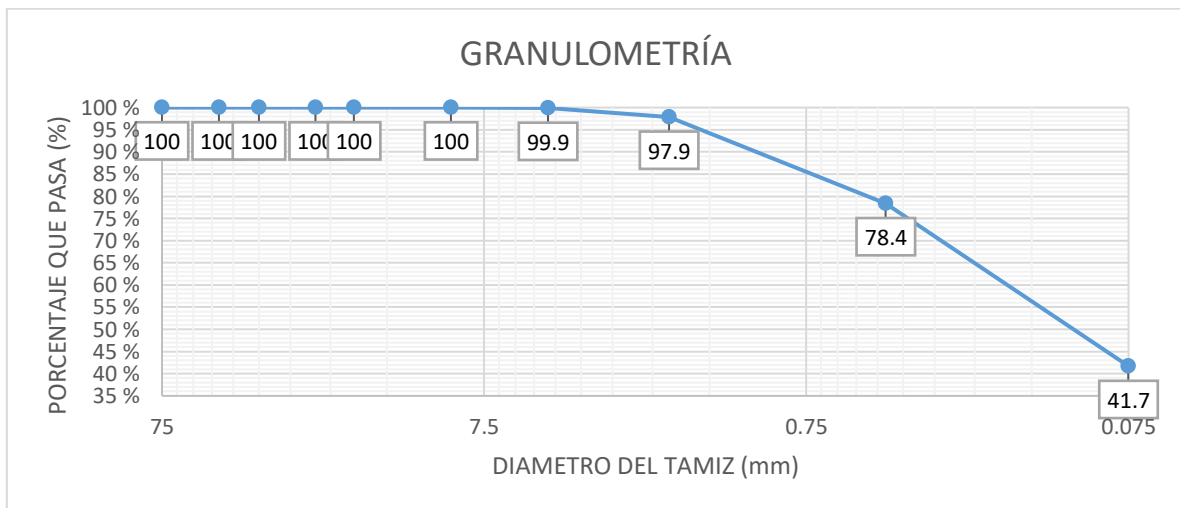
Límite Líquido	39
Límite Plástico	30
Índice de plasticidad	9
Contenido de humedad	41

Peso de la capsula (gr)	17.89	17.54
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	50.74	51.13
Peso de la capsula + M.seca (gr)	41.2	41.27
Contenido de humedad (w)%	40.93	41.55
Promedio	41.24	





TAMIZ	3"	2"	11/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.1	2.11	21.6	58.31
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0.1	2.21	23.81	82.12
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.9	97.9	78.4	41.7



CLASIFICACION SUCS	SM

ARENA LIMOSA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
GRAVA	0	%

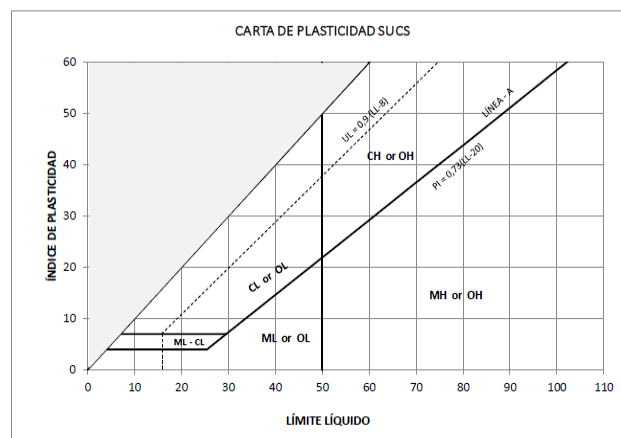
ARENA	58.00	%
FINOS	42.00	%

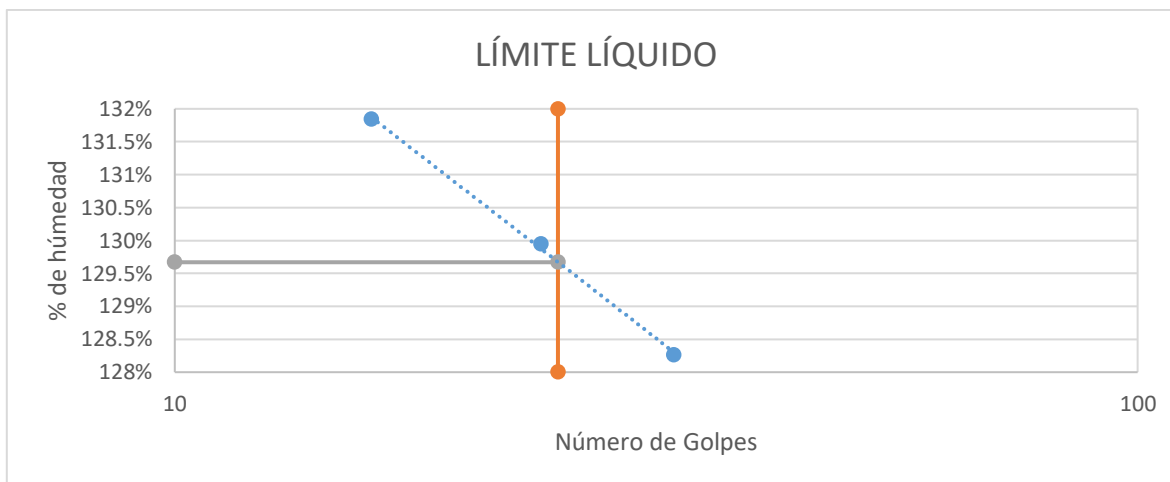
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	18,00-18,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.71	5.94	8.75		6.39	6.14
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	16	15.23	18.07		12.24	11.6
Peso de la capsula + M.seca (gr)	10.78	9.98	12.77		9.47	9.01
Contenido de humedad (w)%	128.26	129.95	131.84		89.94	90.24
# De golpes	33	24	16			
Promedio					90.09	

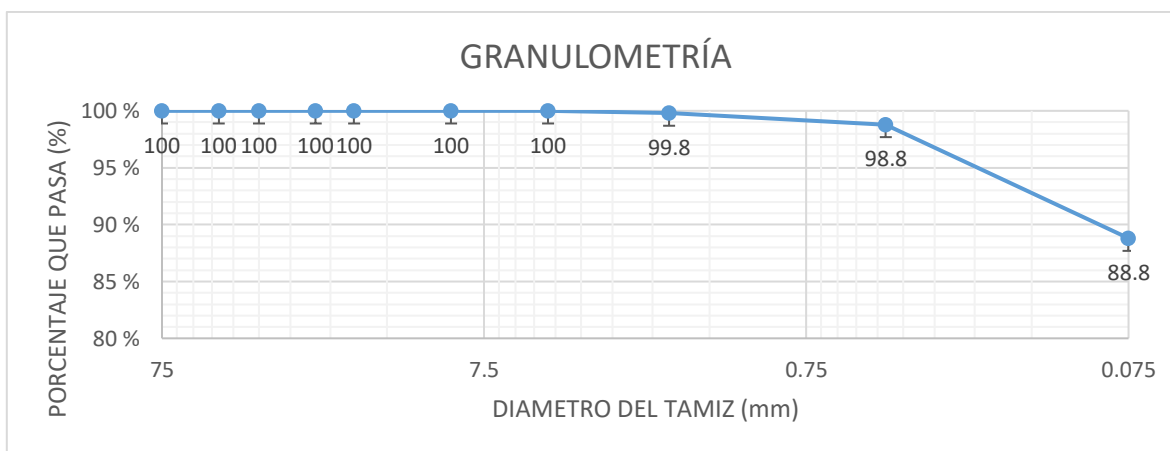
Límite Líquido	130
Límite Plástico	90
Índice de plasticidad	40
Contenido de humedad	127

Peso de la capsula (gr)	17.92	18.26
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	48.23	47.86
Peso de la capsula + M.seca (gr)	31.27	31.26
Contenido de humedad (w)%	127.04	127.69
Promedio	127.37	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0.23	1.17	11.25
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0.23	1.4	12.65
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.8	98.8	88.8



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

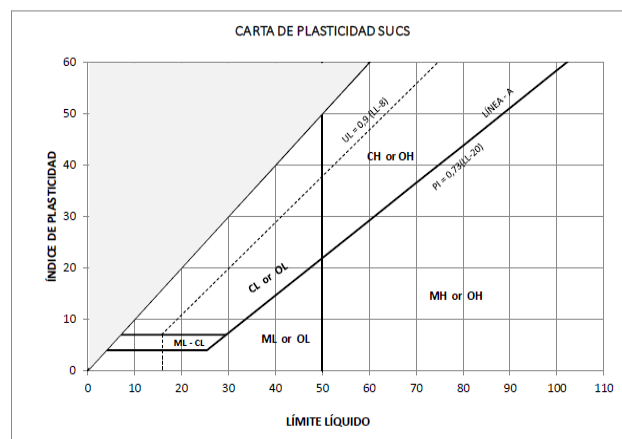
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	11.00	%
FINOS	89.00	%

NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	19,00-19,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.3	8.45	9.5		9.29	8.5
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	11.47	13.59	14.65		14.4	13.65
Peso de la capsula + M.seca (gr)	8.15	10.23	11.21		11.5	10.72
Contenido de humedad (w)%	179.46	188.76	201.17		131.22	131.98
# De golpes	34	21	15			
Promedio					131.6	

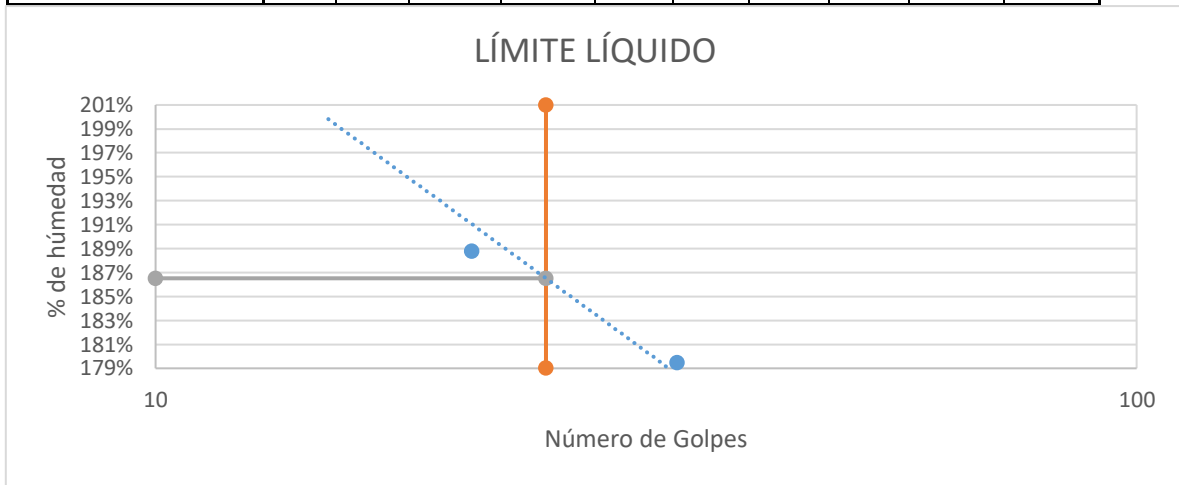
Límite Líquido	187
Límite Plástico	132
Índice de plasticidad	55
Contenido de humedad	148

Peso de la capsula (gr)	18.07	18.02
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	43.58	45.63
Peso de la capsula + M.seca (gr)	28.38	29.17
Contenido de humedad (w)%	147.43	147.62
Promedio	147.53	

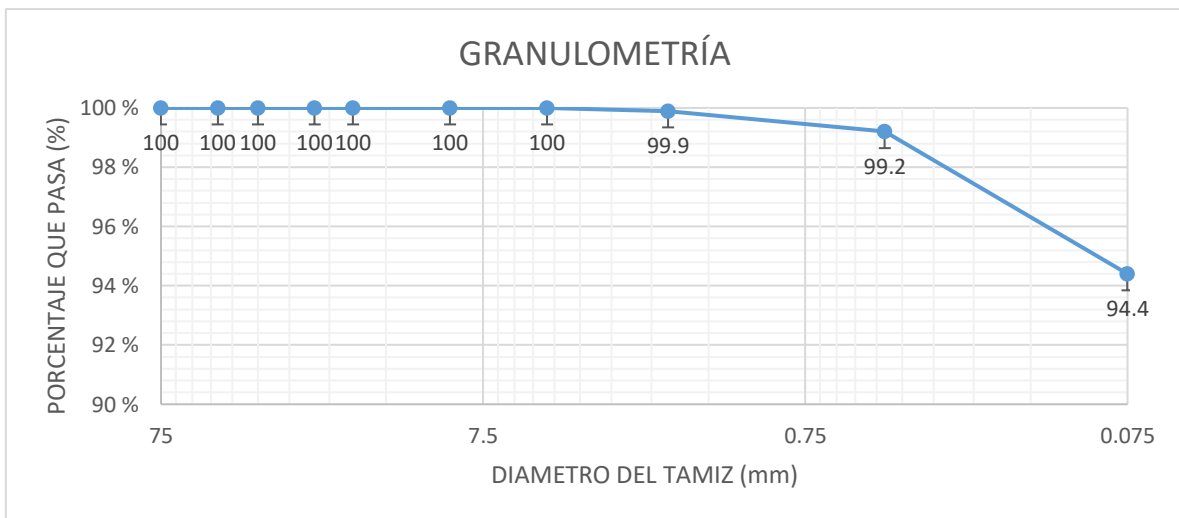


TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075

RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.84	9.6
%RET	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.9	10.5
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.9	99.2	94.4



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.84	9.6
%RET	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.9	10.5
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.9	99.2	94.4



CLASIFICACION SUCS	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD
ANALISIS GRANULOMETRICO		

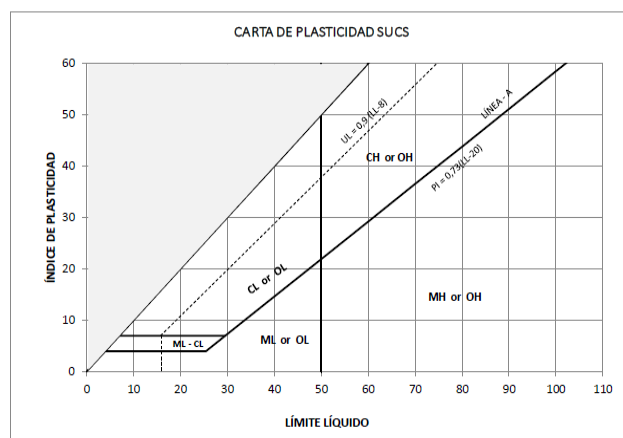
GRAVA	0	%
ARENA	6.00	%
FINOS	94.00	%

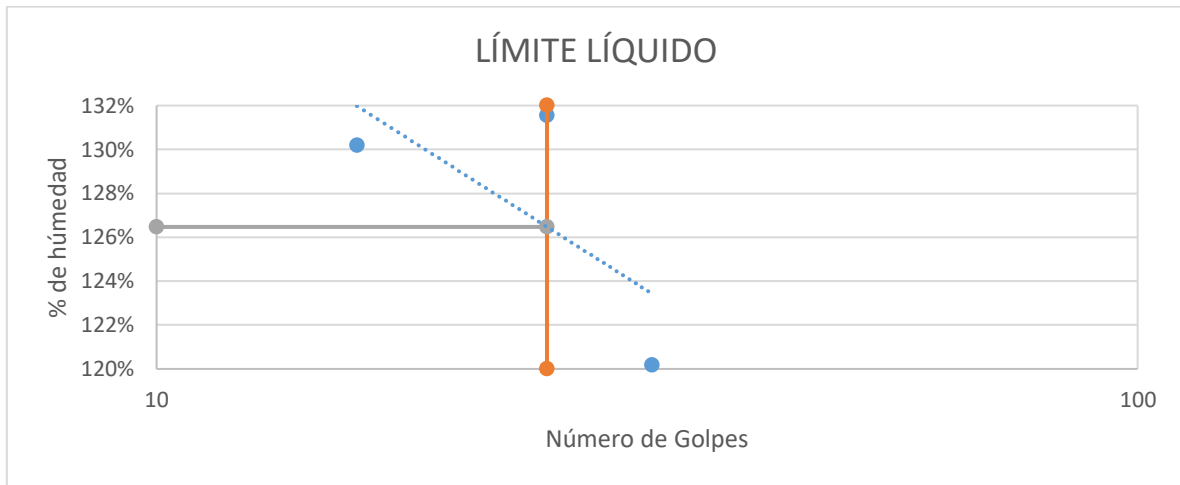
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	20,00-20,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.11	8.84	7.36		8.69	6.14
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	11.24	13.98	12.47		13.8	11.24
Peso de la capsula + M.seca (gr)	8.44	11.06	9.58		11.38	8.83
Contenido de humedad (w)%	120.17	131.53	130.18		89.96	89.59
# De golpes	32	25	16			
Promedio					89.78	

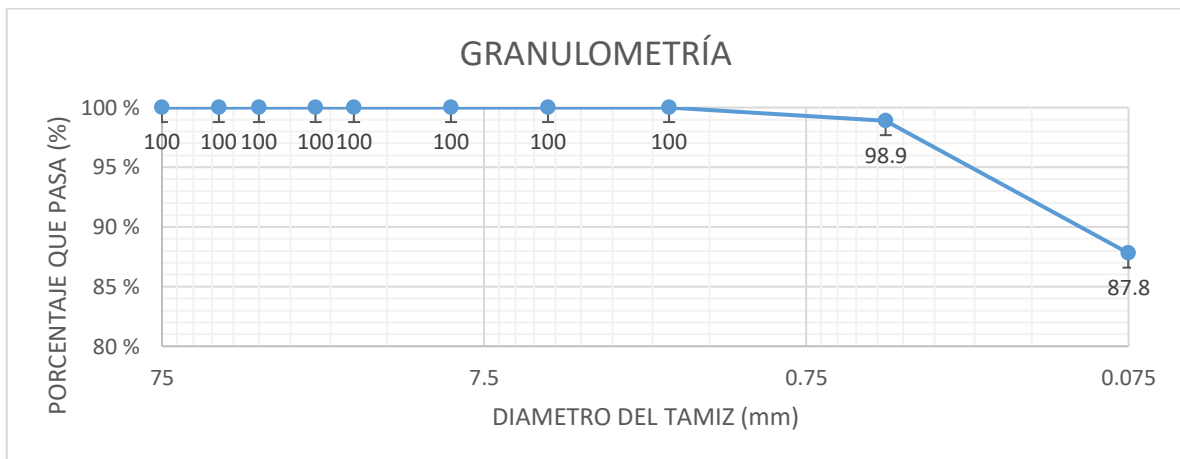
Límite Líquido	126
Límite Plástico	90
Índice de plasticidad	36
Contenido de humedad	131

Peso de la capsula (gr)	17.06	17.23
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	35.04	34.86
Peso de la capsula + M.seca (gr)	24.84	24.86
Contenido de humedad (w)%	131.11	131.06
Promedio	131.09	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0.02	1.09	12.18
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0.02	1.11	13.29
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	98.9	87.8



CLASIFICACION SUCS	MH

LIMO DE ALTA PLASTICIDAD

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	12.00	%

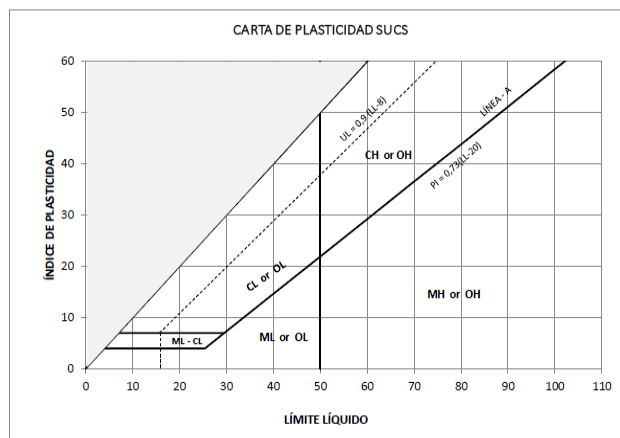
FINOS	88.00	%

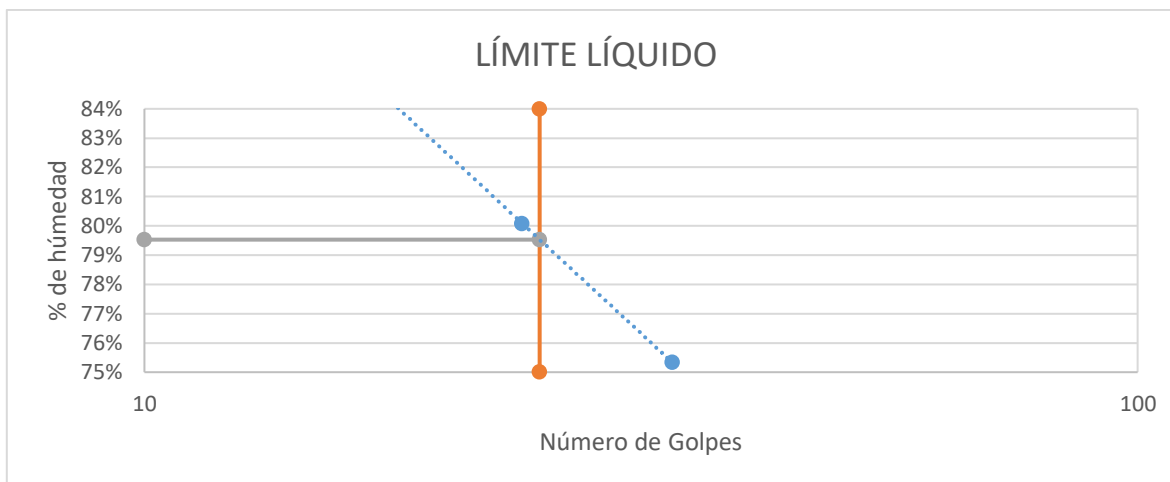
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	21,00-21,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	9.54	6.25	7.36		6.13	6.14
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	14.73	11.58	12.55		11.51	11.44
Peso de la capsula + M.seca (gr)	12.5	9.21	10.18		9.68	9.64
Contenido de humedad (w)%	75.34	80.07	84.04		51.55	51.43
# De golpes	34	24	18			
Promedio					51.49	

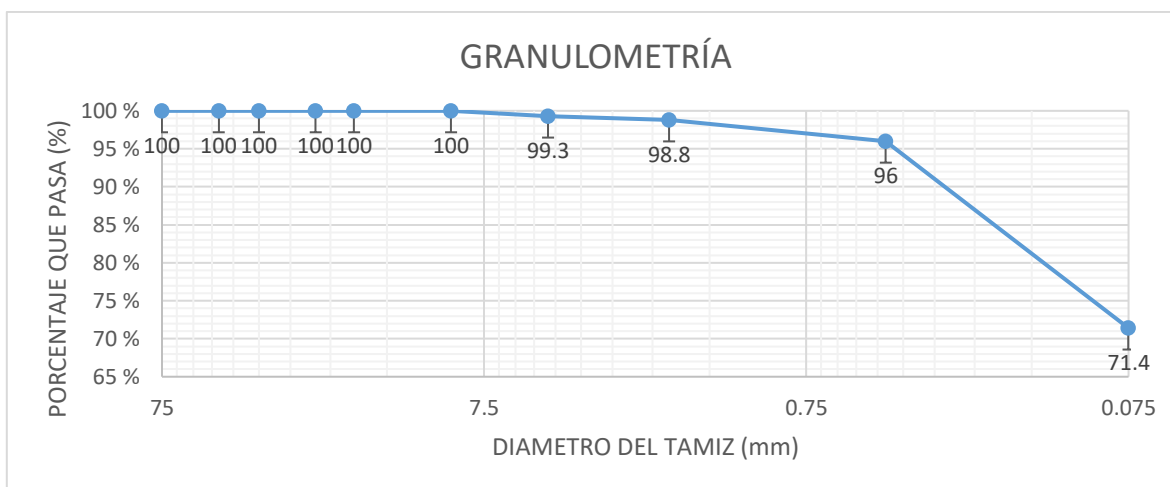
Límite Líquido	80
Límite Plástico	51
Índice de plasticidad	29
Contenido de humedad	80

Peso de la capsula (gr)	17.84	18.13
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	43.78	43.49
Peso de la capsula + M.seca (gr)	32.23	32.2
Contenido de humedad (w)%	80.26	80.24
Promedio	80.25	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.73	1.16	4.03	28.62
%RET	0	0	0	0	0	0	0.73	1.89	5.92	34.54
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.3	98.8	96	71.4



CLASIFICACION SUCS	MH	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

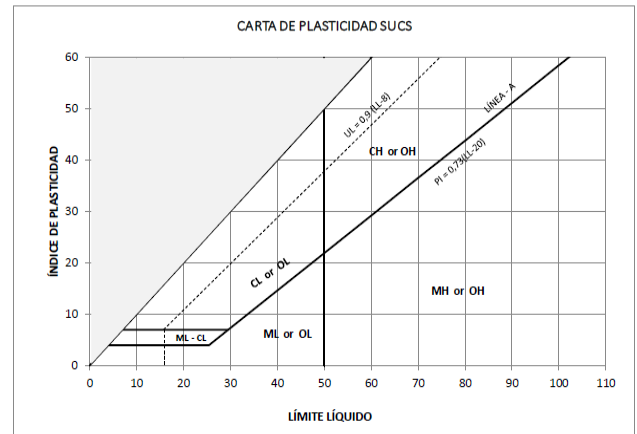
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
GRAVA	1	%
ARENA	28.00	%
FINOS	71.00	%

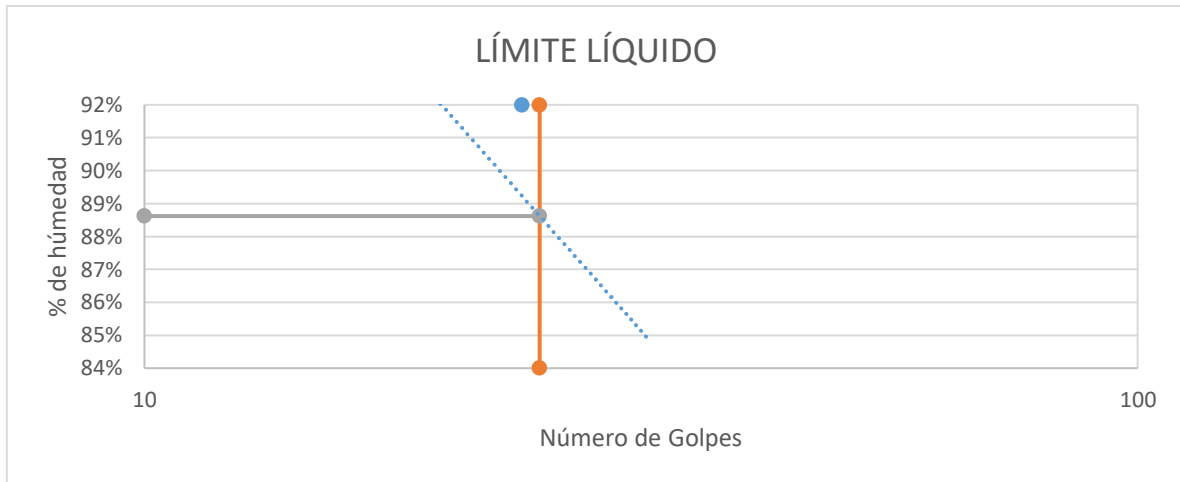
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	22,00-22,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.73	8.71	8.72		8.31	5.94
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	11.98	13.99	13.83		13.5	11.08
Peso de la capsula + M.seca (gr)	9.59	11.46	11.38		11.63	9.22
Contenido de humedad (w)%	83.57	92	92.11		56.33	56.71
# De golpes	32	24	18			
Promedio					56.52	

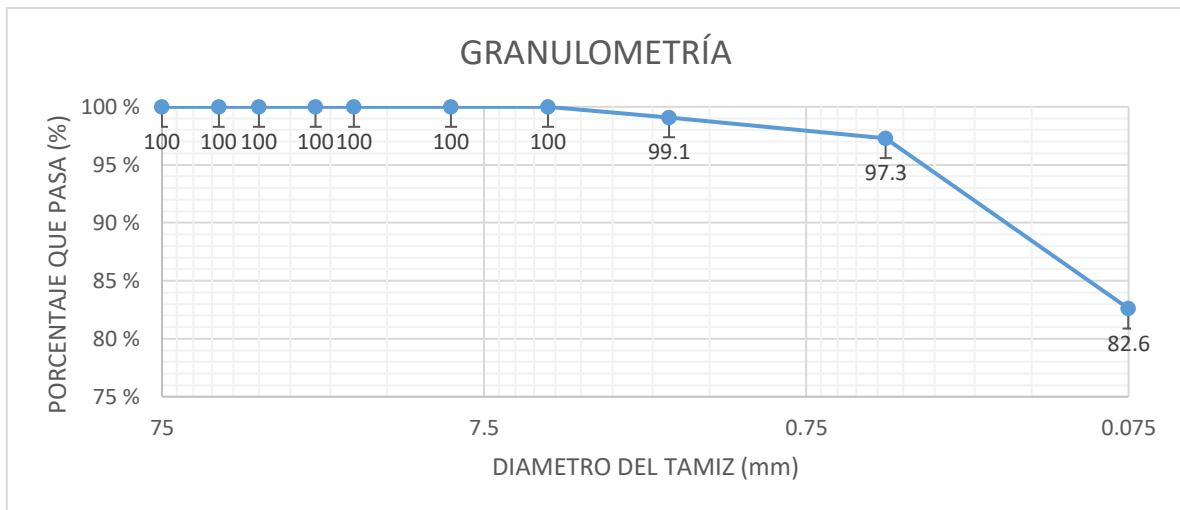
Límite Líquido	89
Límite Plástico	57
Índice de plasticidad	32
Contenido de humedad	88

Peso de la capsula (gr)	17.9	18.06
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	41.7	41.52
Peso de la capsula + M.seca (gr)	30.55	30.53
Contenido de humedad (w)%	88.14	88.13
Promedio	88.14	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.04	0.93	2.71	17.41
% RET	0	0	0	0	0	0	0.04	0.97	3.68	21.09
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.1	97.3	82.6



CLASIFICACION SUCS	MH

LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	17.00	%

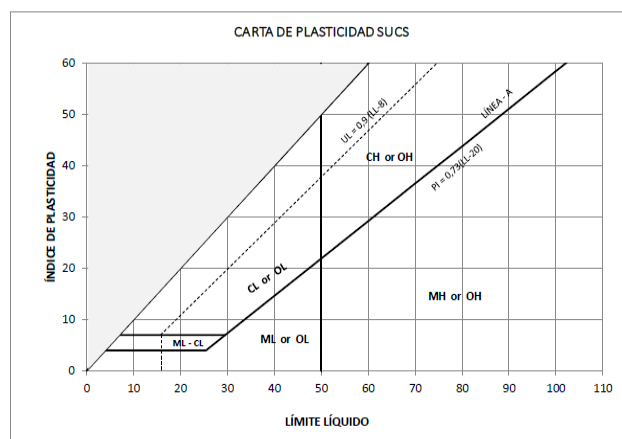
FINOS	83.00	%

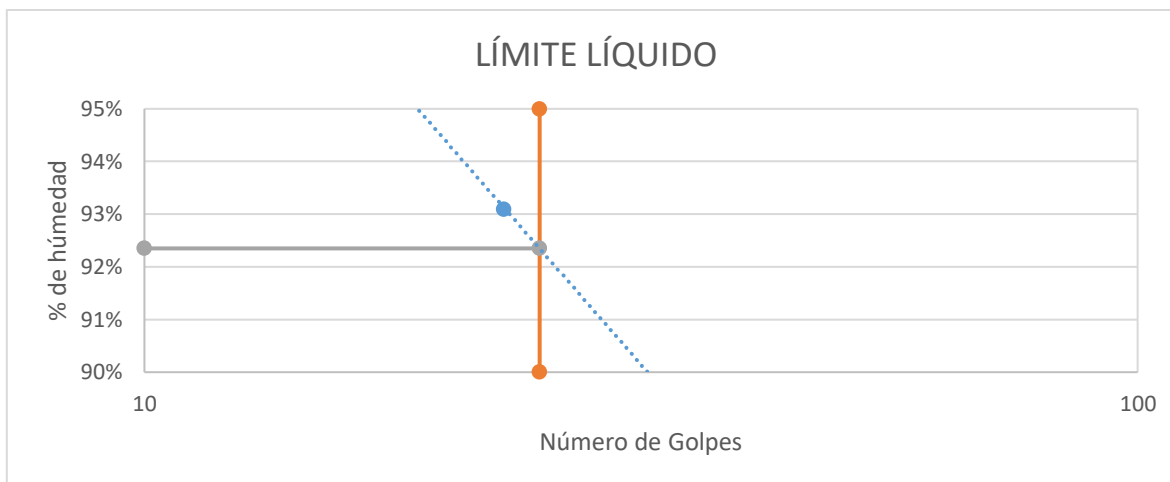
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	23,00-23,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.3	6.55	6.8		8.43	8.89
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	18.35	18.56	18.84		14.82	14.36
Peso de la capsula + M.seca (gr)	12.65	12.77	12.96		12.7	12.56
Contenido de humedad (w)%	89.76	93.09	95.45		49.65	49.05
# De golpes	33	23	18			
Promedio					49.35	

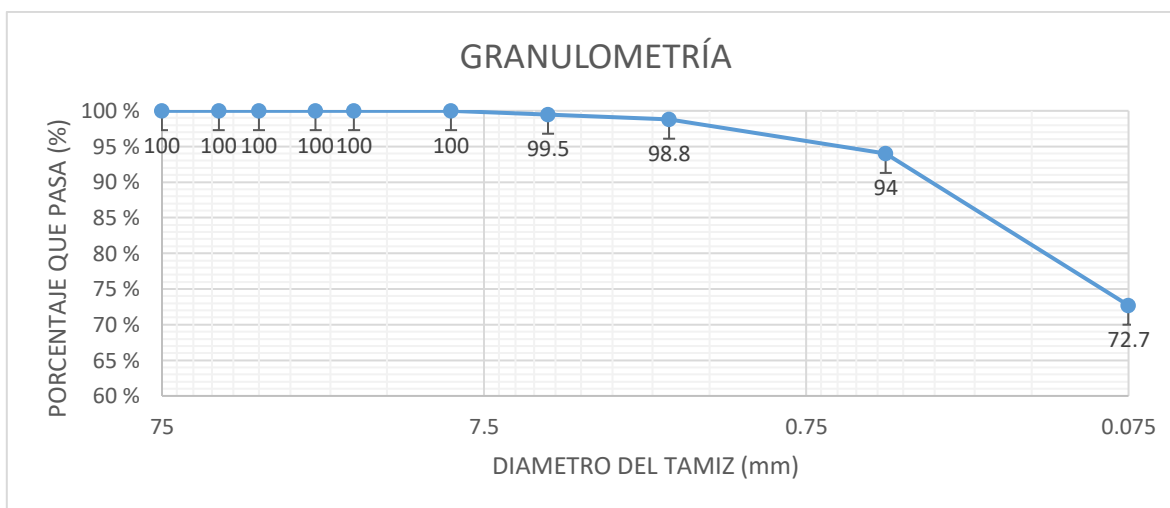
Límite Líquido	92
Límite Plástico	49
Índice de plasticidad	43
Contenido de humedad	78

Peso de la capsula (gr)	17.8	17.76
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	45.15	45.17
Peso de la capsula + M.seca (gr)	33.19	33.12
Contenido de humedad (w)%	77.71	78.45
Promedio	78.08	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.46	1.21	5.99	27.27
% RET	0	0	0	0	0	0	0.46	1.67	7.66	34.93
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.5	98.8	94	72.7



CLASIFICACION SUCS	MH

LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
GRAVA	1	%
ARENA	26.00	%

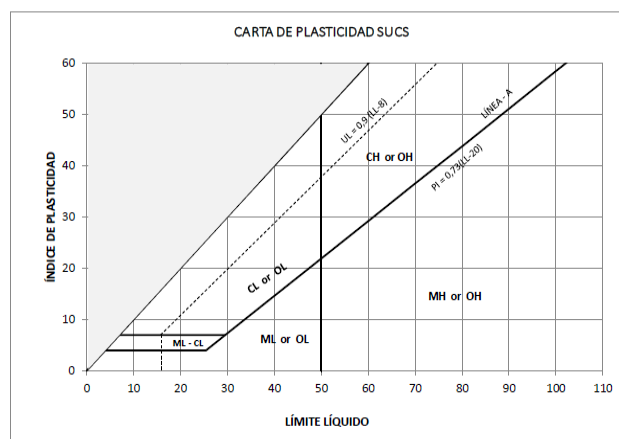
FINOS	73.00	%

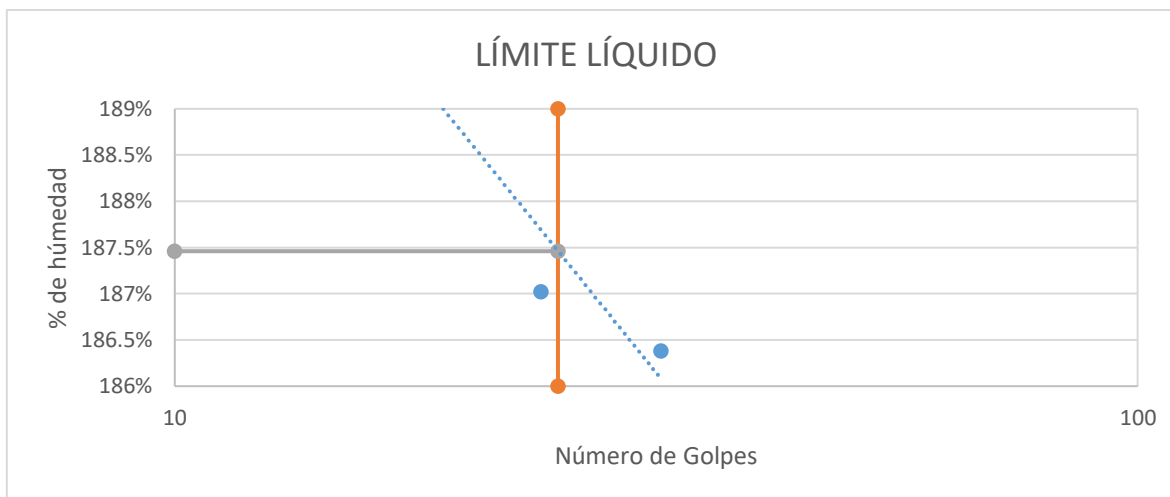
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	24,00-24,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.35	8.54	8.24		6.54	6.02
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	19.18	21.37	21.03		12.03	12.22
Peso de la capsula + M.seca (gr)	10.83	13.01	12.66		9.05	8.85
Contenido de humedad (w)%	186.38	187.02	189.37		118.73	119.08
# De golpes	32	24	19			
Promedio					118.91	

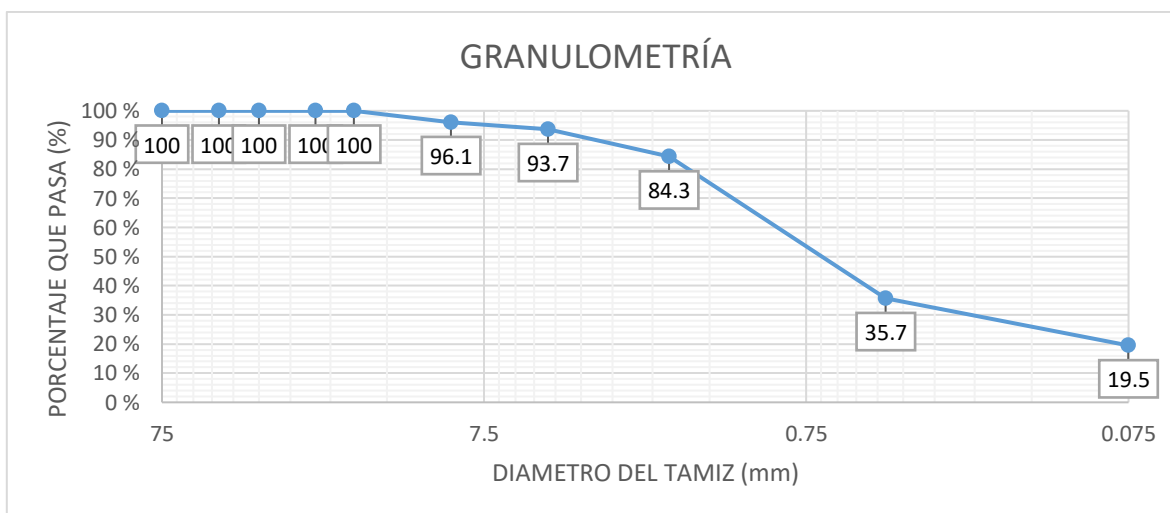
Límite Líquido	187
Límite Plástico	119
Índice de plasticidad	68
Contenido de humedad	153

Peso de la capsula (gr)	11.36	17.71
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	38.4	32.06
Peso de la capsula + M.seca (gr)	22.05	23.37
Contenido de humedad (w)%	152.95	153.53
Promedio	153.24	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	3.89	6.28	15.71	64.29	119.5
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	3.89	10.17	25.88	90.17	209.67
% PASA	100	100	100	100	100	96.1	93.7	84.3	35.7	19.5



CLASIFICACION SUCS	SP	ARENA MAL GRADUADA

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	6	%
ARENA	74.00	%

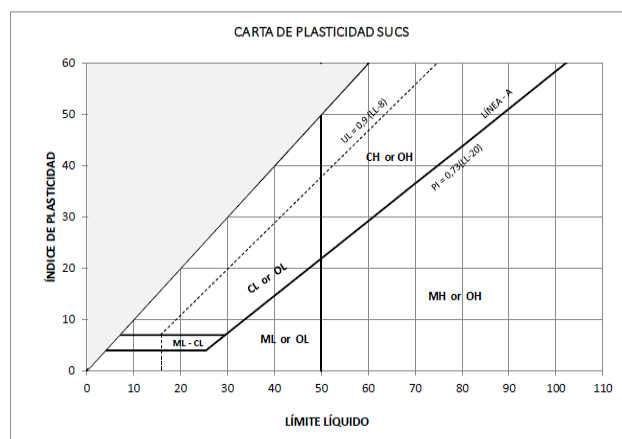
FINOS	20.00	%

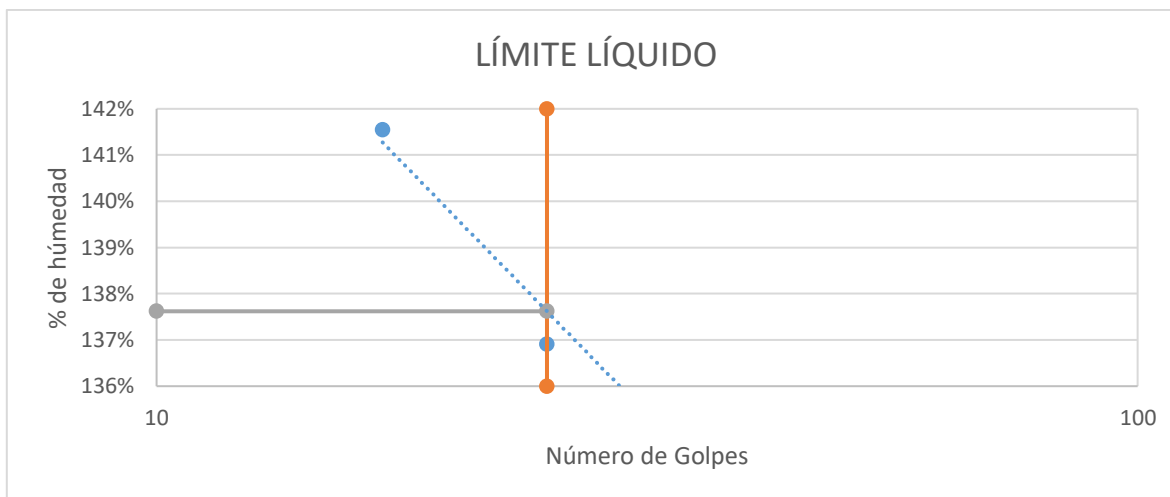
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	25,00-25,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.1	6.17	8.9		9.27	8.82
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	14.68	14.77	19.48		13.69	13.25
Peso de la capsula + M.seca (gr)	9.74	9.8	13.28		11.63	11.19
Contenido de humedad (w)%	135.71	136.91	141.55		87.29	86.92
# De golpes	32	25	17			
Promedio					87.11	

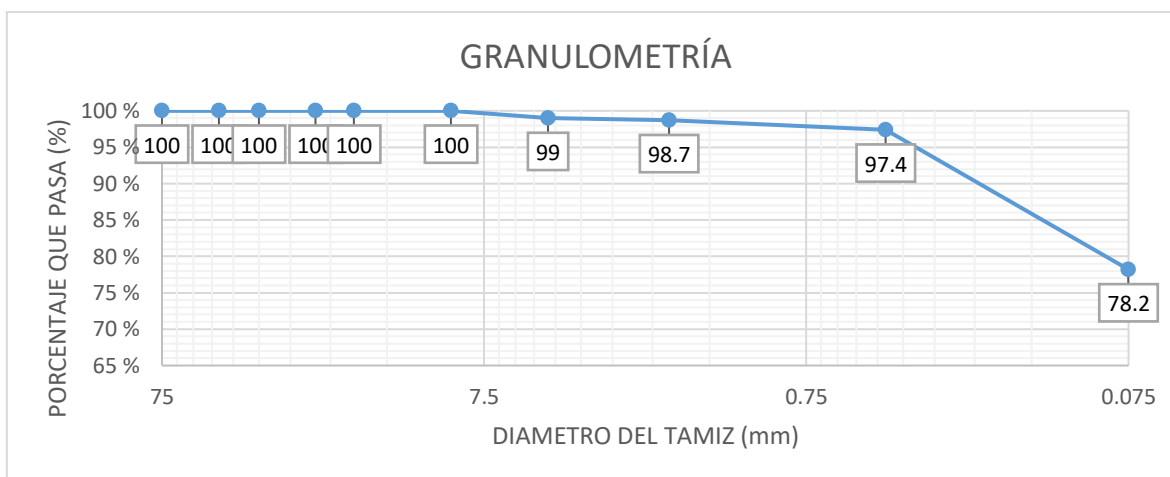
Límite Líquido	138
Límite Plástico	87
Índice de plasticidad	51
Contenido de humedad	117

Peso de la capsula (gr)	16.66	17.67
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	41.4	40.39
Peso de la capsula + M.seca (gr)	28.05	28.17
Contenido de humedad (w)%	117.21	116.38
Promedio	116.8	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.97	1.28	2.61	21.82
%RET	0	0	0	0	0	0	0.97	2.25	4.86	26.68
% PASA	100	100	100	100	100	100	99	98.7	97.4	78.2



CLASIFICACION SUCS	MH

LIMO DE ALTA PLASTICIDAD

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
GRAVA	1	%

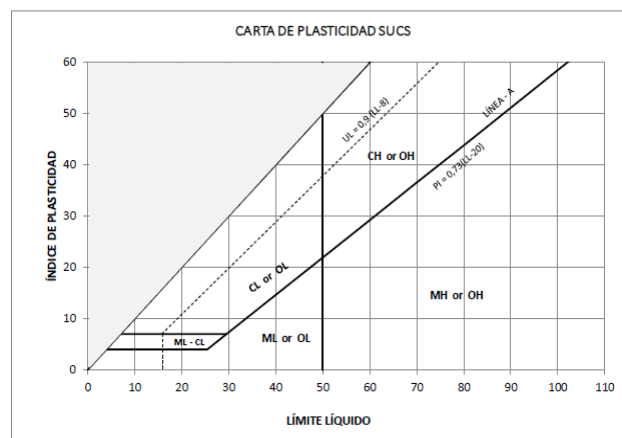
ARENA	21.00	%
FINOS	78.00	%

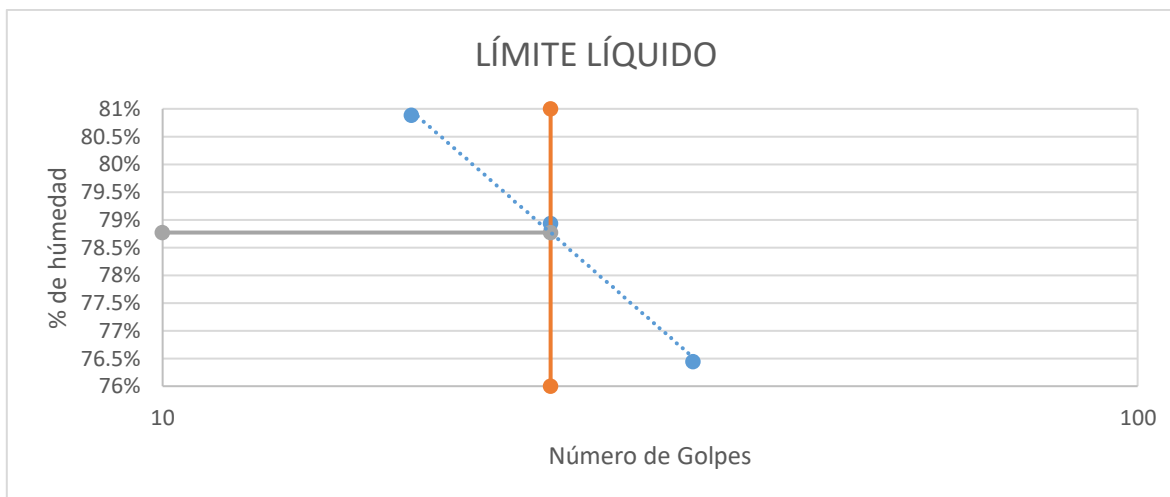
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	26,00-26,35

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.33	9.45	6.02		9.34	8.47
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	17.04	20.15	16.33		13.51	12.51
Peso de la capsula + M.seca (gr)	12.4	15.43	11.72		12.02	11.08
Contenido de humedad (w)%	76.44	78.93	80.88		55.6	54.79
# De golpes	35	25	18			
Promedio					55.2	

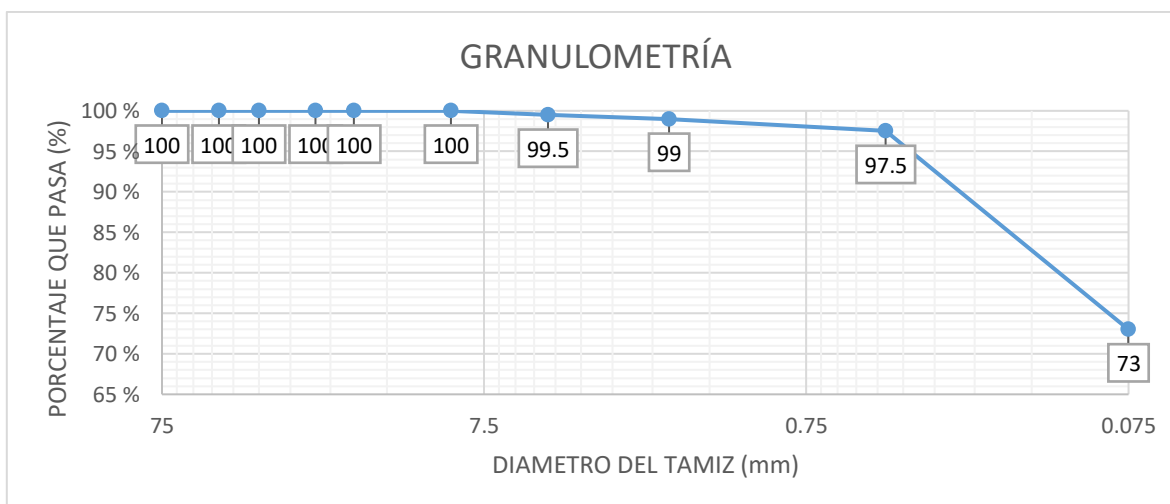
Límite Líquido	79
Límite Plástico	55
Índice de plasticidad	24
Contenido de humedad	76

Peso de la capsula (gr)	17.3	17.08
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	57.6	57.82
Peso de la capsula + M.seca (gr)	40.3	40.24
Contenido de humedad (w)%	75.22	75.91
Promedio	75.57	





TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.53	1.04	2.54	27.01
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0.53	1.57	4.11	31.12
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.5	99	97.5	73



CLASIFICACION SUCS	MH

LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
GRAVA	1	%
ARENA	26.00	%

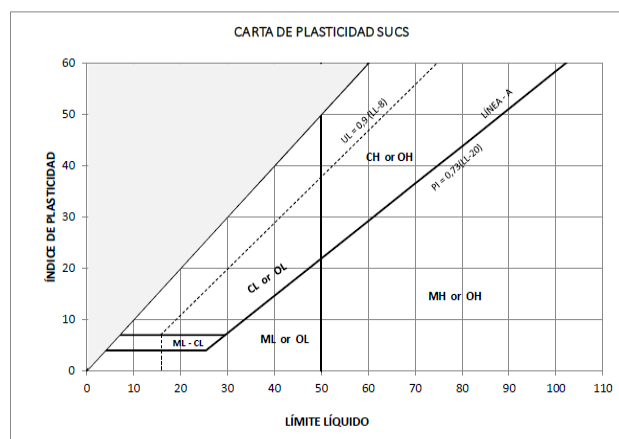
FINOS	73.00	%

NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	26,35-26,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.seca (gr)	0	0	0		0	0
Contenido de humedad (w)%	0	0	0		0	0
# De golpes	0	0	0			
Promedio					0	

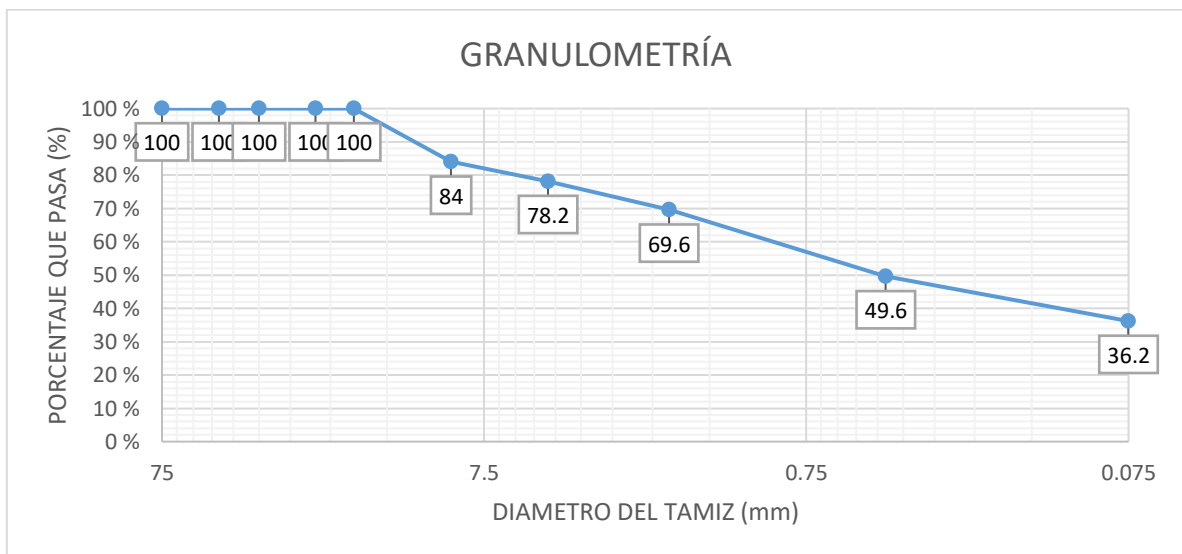
Límite Líquido	MI
Límite Plástico	MI
Índice de plasticidad	MI
Contenido de humedad	63

Peso de la capsula (gr)	17.98	18.06
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	39.88	39.52
Peso de la capsula + M.seca (gr)	31.41	31.22
Contenido de humedad (w)%	63.07	63.07
Promedio	63.07	



TAMIZ	3"	2"	11/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200

DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	15.98	21.83	30.44	50.44	63.8
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	15.98	37.81	68.25	118.69	182.49
% PASA	100	100	100	100	100	84	78.2	69.6	49.6	36.2



CLASIFICACION SUCS	SM

ARENA LIMOSA CON GRAVA

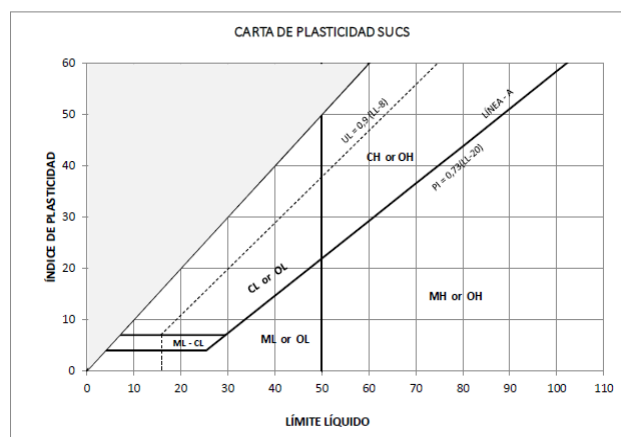
ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	22	%
ARENA	42.00	%
FINOS	36.00	%

NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	27,00-27,30

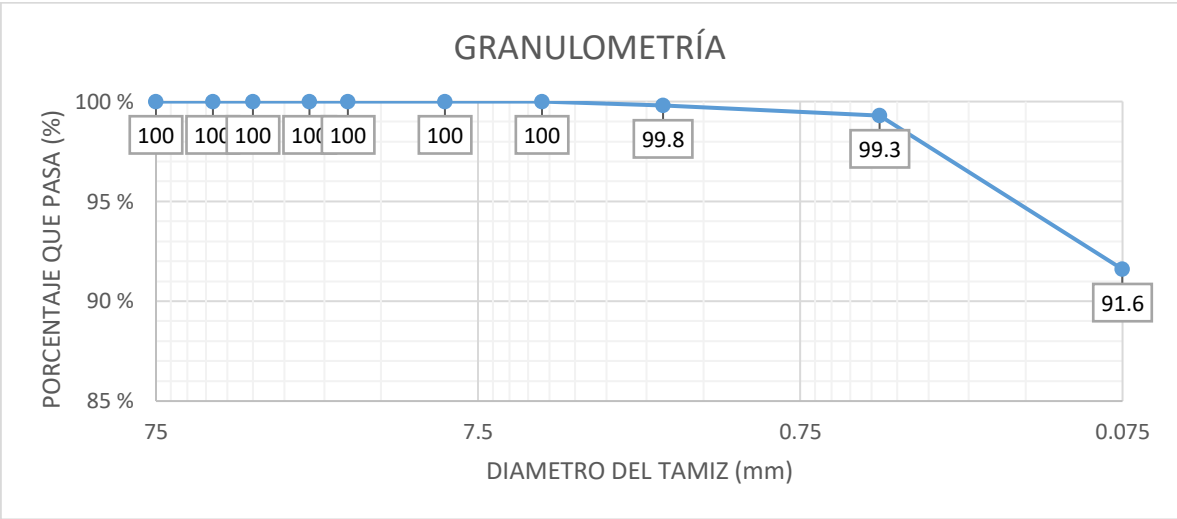
POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.seca (gr)	0	0	0		0	0
Contenido de humedad (w)%	0	0	0		0	0
# De golpes	0	0	0			
Promedio					0	

Límite Líquido	MI
Límite Plástico	MI
Índice de plasticidad	MI
Contenido de humedad	140

Peso de la capsula (gr)	17.8	17.91
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	47.64	47.48
Peso de la capsula + M.seca (gr)	30.25	30.2
Contenido de humedad (w)%	139.68	140.6
Promedio	140.14	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0.7	8.38
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0.93	9.31
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.8	99.3	91.6



CLASIFICACION SUCS	ML

LIMO

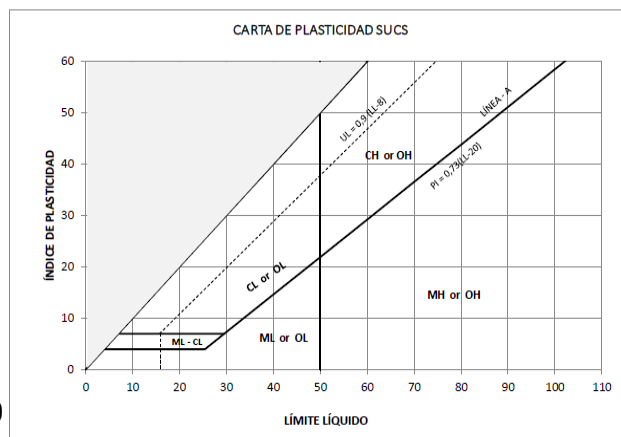
ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	8.00	%
FINOS	92.00	%

NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	27,30-27,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.seca (gr)	0	0	0		0	0
Contenido de humedad (w)%	0	0	0		0	0
# De golpes	0	0	0			
Promedio					0	

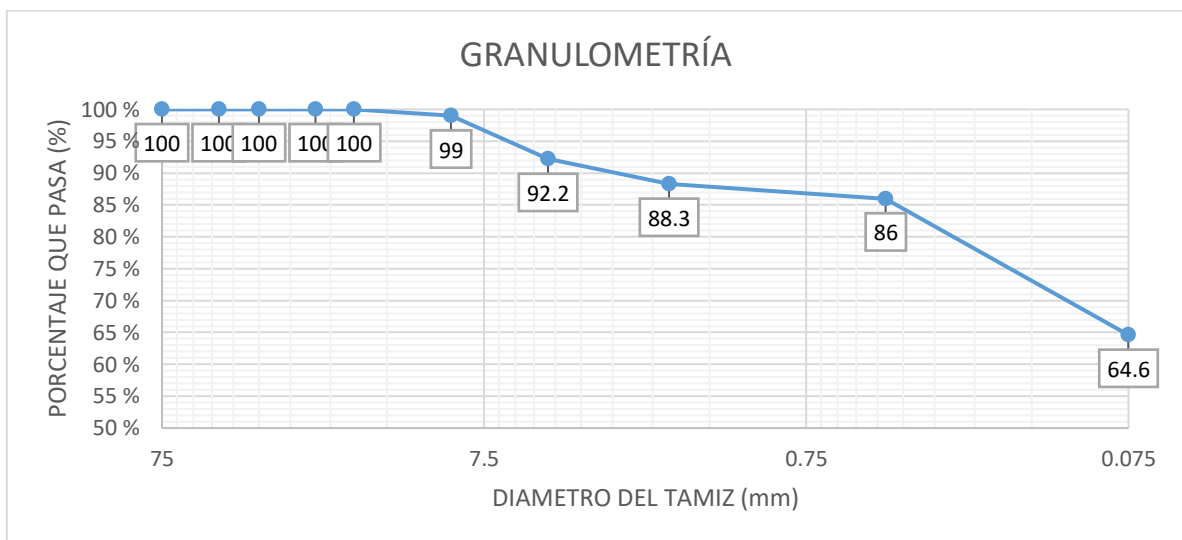
Límite Líquido	MI
Límite Plástico	MI
Índice de plasticidad	MI
Contenido de humedad	33

Peso de la capsula (gr)	18.16	16.68
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	56.58	58.14
Peso de la capsula + M.seca (gr)	46.94	47.75



Contenido de humedad (w)%	33.5	33.44
Promedio	33.47	

TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0.7	8.38
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0.93	9.31
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.8	99.3	91.6



CLASIFICACION SUCS	ML	LIMO CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO			
GRAVA	8	%	
ARENA	27.00	%	
FINOS	65.00	%	

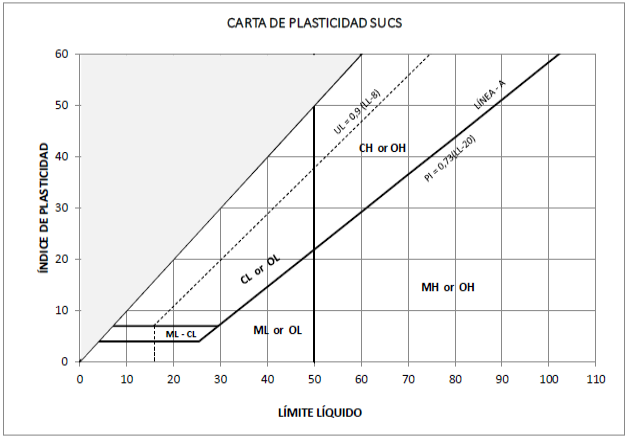
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	28,00-28,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	8.82	6.24	8.44		9.29	6.83
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	20.72	18.14	20.34		15.03	12.4
Peso de la capsula + M.seca (gr)	17.54	14.91	17.1		13.78	11.18
Contenido de humedad (w)%	36.47	37.25	37.41		27.84	28.05
# De golpes	34	24	17			
Promedio					27.95	

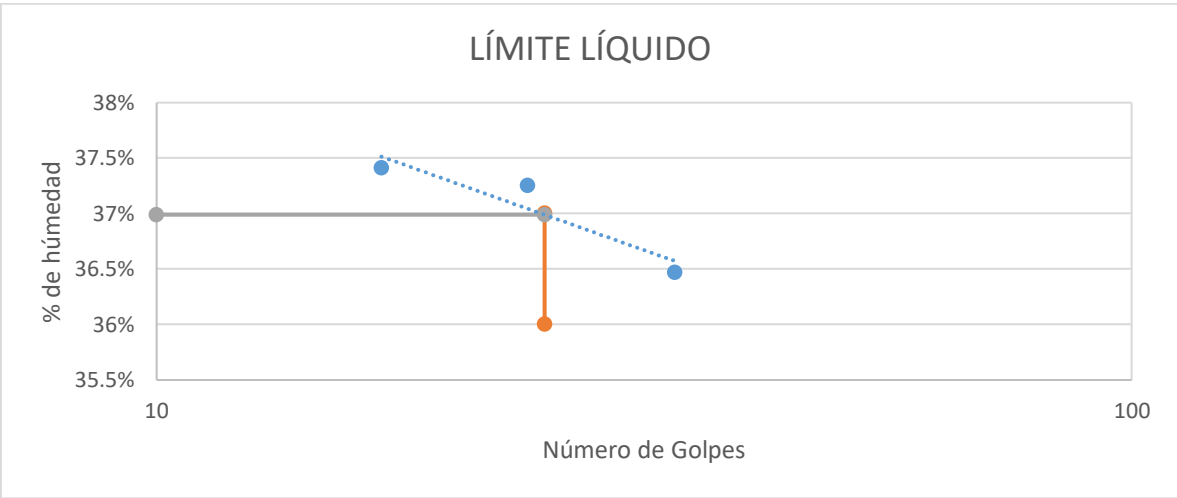
Límite Líquido	37
Límite Plástico	28
Índice de plasticidad	9
Contenido de humedad	35

Peso de la capsula (gr)	18.11	17.82

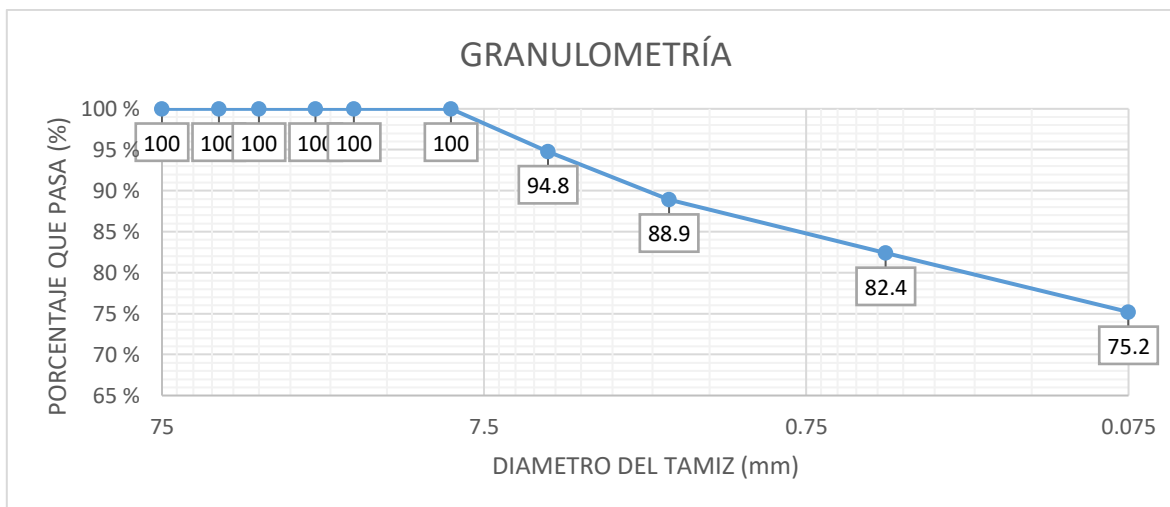
2!



Peso de la capsula + M.humedad (gr)	51.53	51.81
Peso de la capsula + M.seca (gr)	42.8	43.11
Contenido de humedad (w)%	35.36	34.4
Promedio	34.88	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	5.2	11.11	17.57	24.78
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	5.2	16.31	33.88	58.66
% PASA	100	100	100	100	100	100	94.8	88.9	82.4	75.2



CLASIFICACION SUCS	ML

LIMO ARENOSO

ANALISIS GRANULOMETRICO			
GRAVA	5	%	
ARENA	20.00	%	
FINOS	75.00	%	

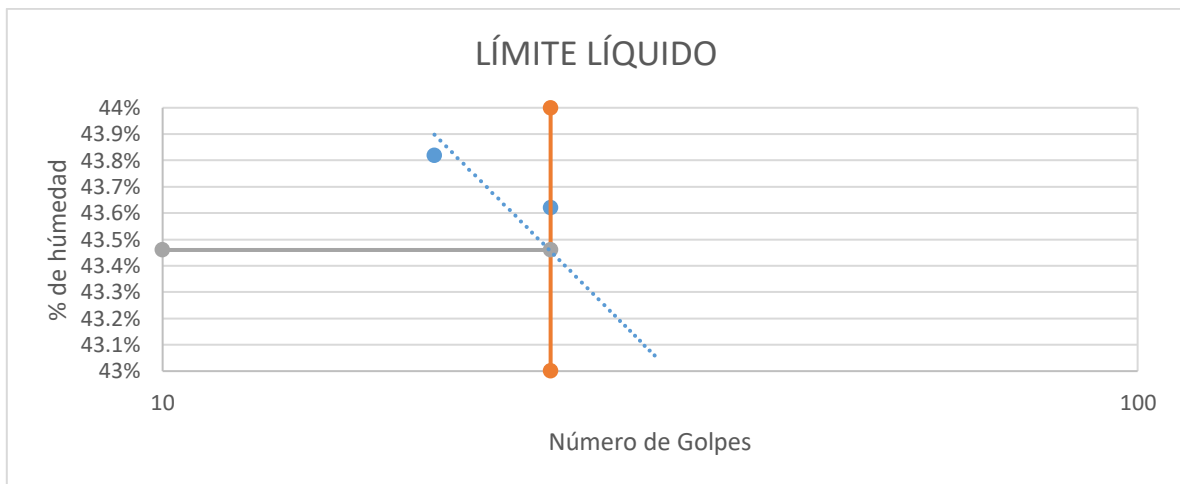
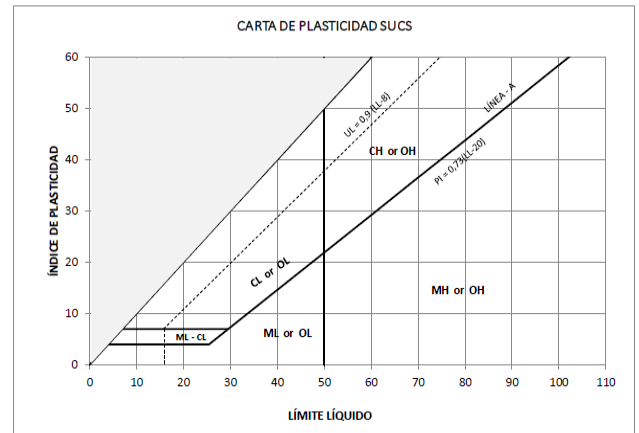
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	29,00-29,35

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	9.49	8.92	6.71		6.36	6.31
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	14.88	13.76	11.83		12.75	12.78
Peso de la capsula + M.seca (gr)	13.26	12.29	10.27		11.08	11.1
Contenido de humedad (w)%	42.97	43.62	43.82		35.38	35.07
# De golpes	32	25	19			

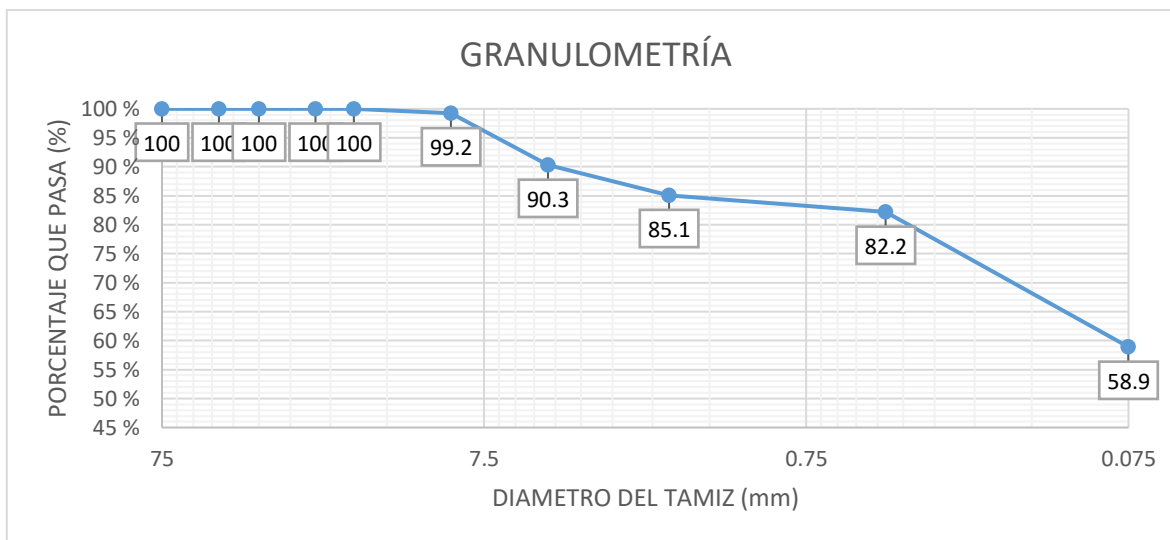
Promedio		35.23

Límite Líquido	43
Límite Plástico	35
Índice de plasticidad	8
Contenido de humedad	37

Peso de la capsula (gr)	16.89	17.11
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	47.4	47.6
Peso de la capsula + M.seca (gr)	39.25	39.42
Contenido de humedad (w)%	36.45	36.67
Promedio	36.56	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0.83	9.69	14.93	17.89	41.08
%RET	0	0	0	0	0	0.83	10.52	25.45	43.34	84.42
% PASA	100	100	100	100	100	99.2	90.3	85.1	82.2	58.9



CLASIFICACION SUCS	ML

LIMO ARENOSO

ANALISIS GRANULOMETRICO			
GRAVA	10	%	
ARENA	31.00	%	
FINOS	59.00	%	

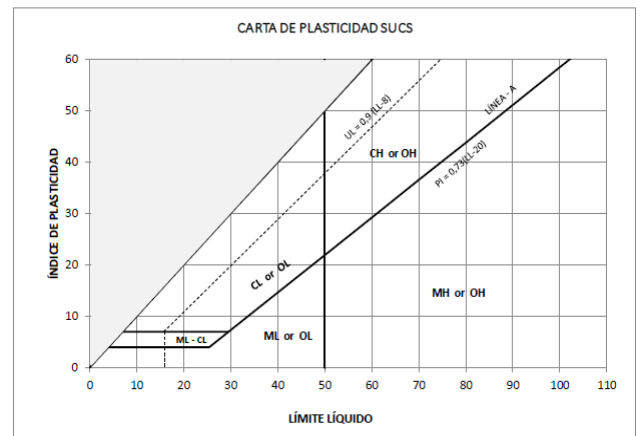
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	29,35-29,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.seca (gr)	0	0	0		0	0
Contenido de humedad (w)%	0	0	0		0	0

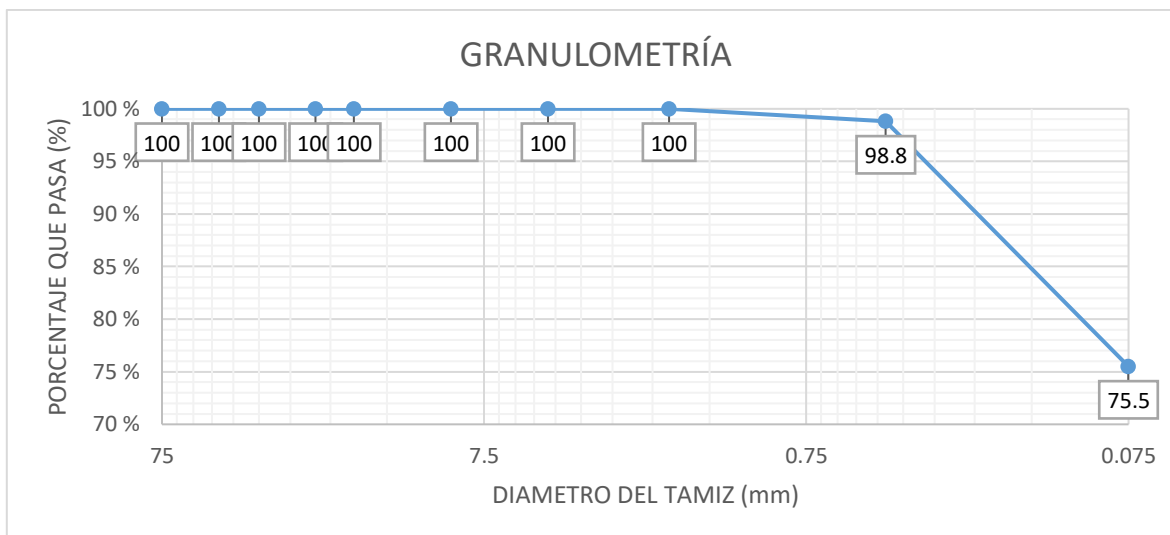
# De golpes	0	0	0			
Promedio					0	

Límite Líquido	MI
Límite Plástico	MI
Índice de plasticidad	MI
Contenido de humedad	33

Peso de la capsula (gr)	17.9	17.05
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	44.85	45.81
Peso de la capsula + M.seca (gr)	38.25	38.7
Contenido de humedad (w)%	32.43	32.84
Promedio	32.64	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	1.18	24.54
%RET	0	0	0	0	0	0	0	0	1.18	25.72
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	98.8	75.5



CLASIFICACION SUCS	ML

LIMO CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	24.00	%
FINOS	76.00	%

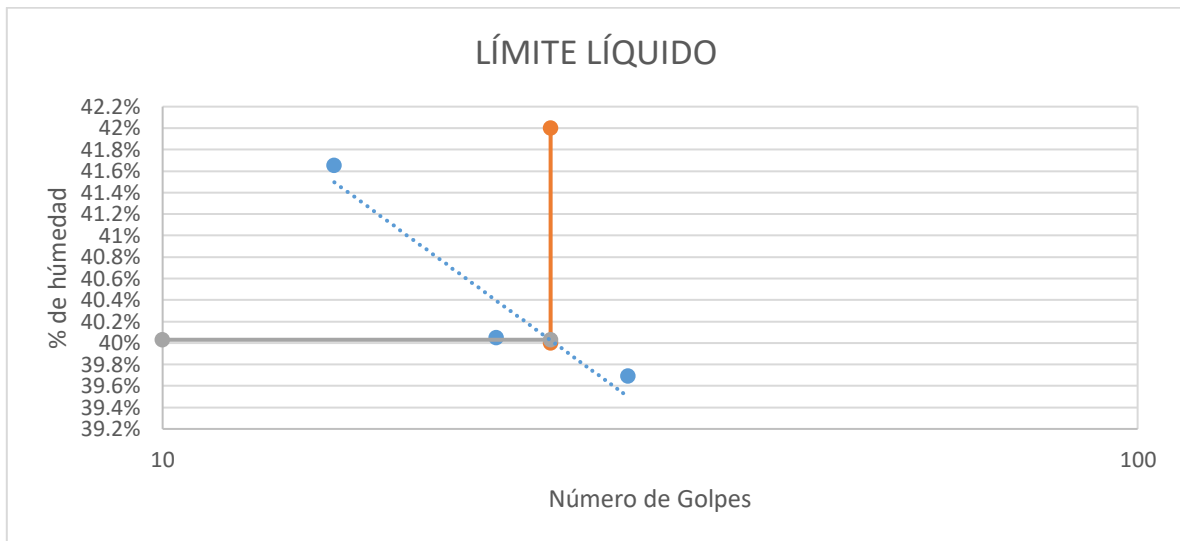
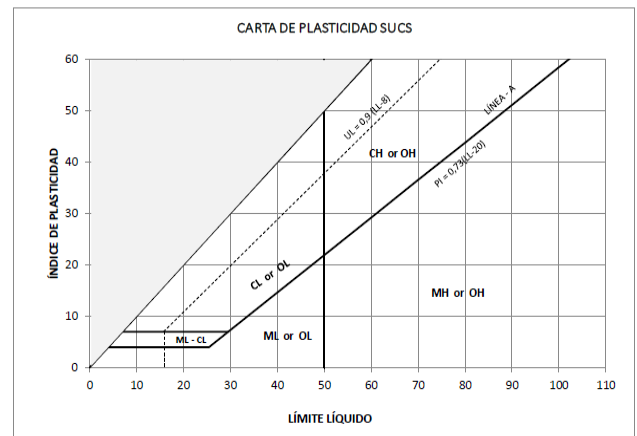
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	30,00-30,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
N ensayo	1	2	3	4	1	2
N# capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	6.15	8.54	6.11		8.5	8.53
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	11.64	14.03	11.62		13.34	13.61
Peso de la capsula + M.seca (gr)	10.08	12.46	10		12.28	12.52
Contenido de humedad (w)%	39.69	40.05	41.65		28.04	27.32

# De golpes	30	22	15			
Promedio						27.68

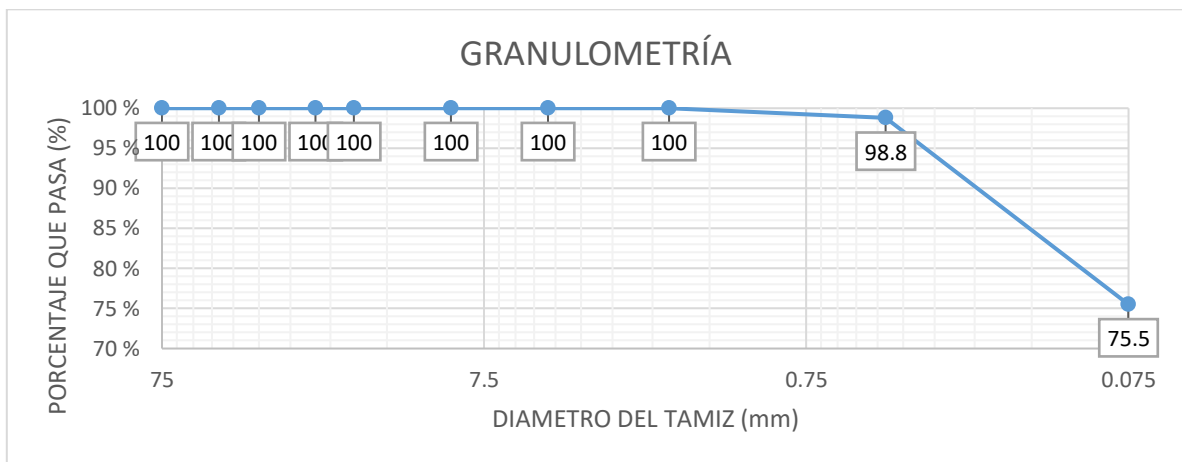
Límite Líquido	40
Límite Plástico	28
Índice de plasticidad	12
Contenido de humedad	35

Peso de la capsula (gr)	16.24	18.04
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	57.56	55.51
Peso de la capsula + M.seca (gr)	46.71	45.8
Contenido de humedad (w)%	35.61	34.98
Promedio	35.3	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	1.18	24.54
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0	0	1.18	25.72

% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98.8	74.8



CLASIFICACION SUCS	ML	LIMO CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO		
GRAVA	0	%
ARENA	25.00	%
FINOS	75.00	%

SUCS PSHEL 002

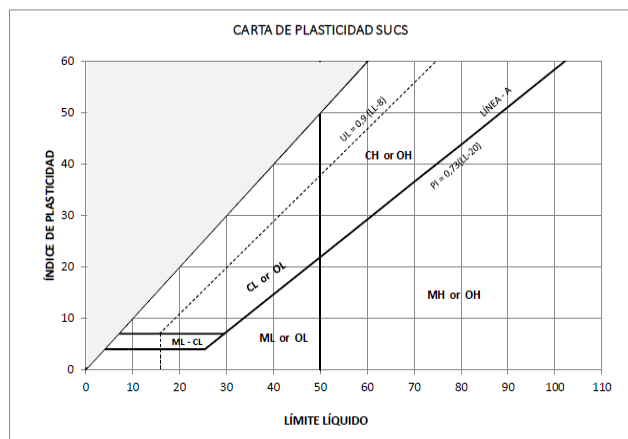
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	2.00-2.15

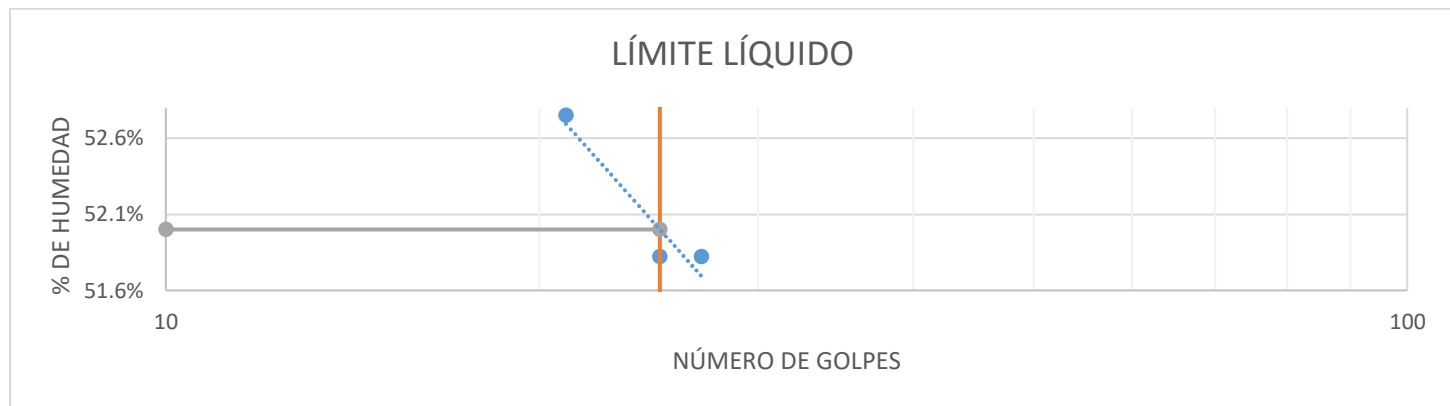
POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	152	A5	E12	740	117	541
Peso de la capsula (gr)	9.48	10.34	8.55		9.33	9.54
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	17.82	18.66	16.87		16.67	17.01
Peso de la capsula + M.seca (gr)	14.94	15.82	14.03		14.62	14.9

Contenido de humedad (w)%	52.75	51.82	51.82		38.75	39.37
# De golpes	21	25	27			
Promedio					39.06	

Límite Líquido	52
Límite Plástico	39
Índice de plasticidad	13
Contenido de humedad	40

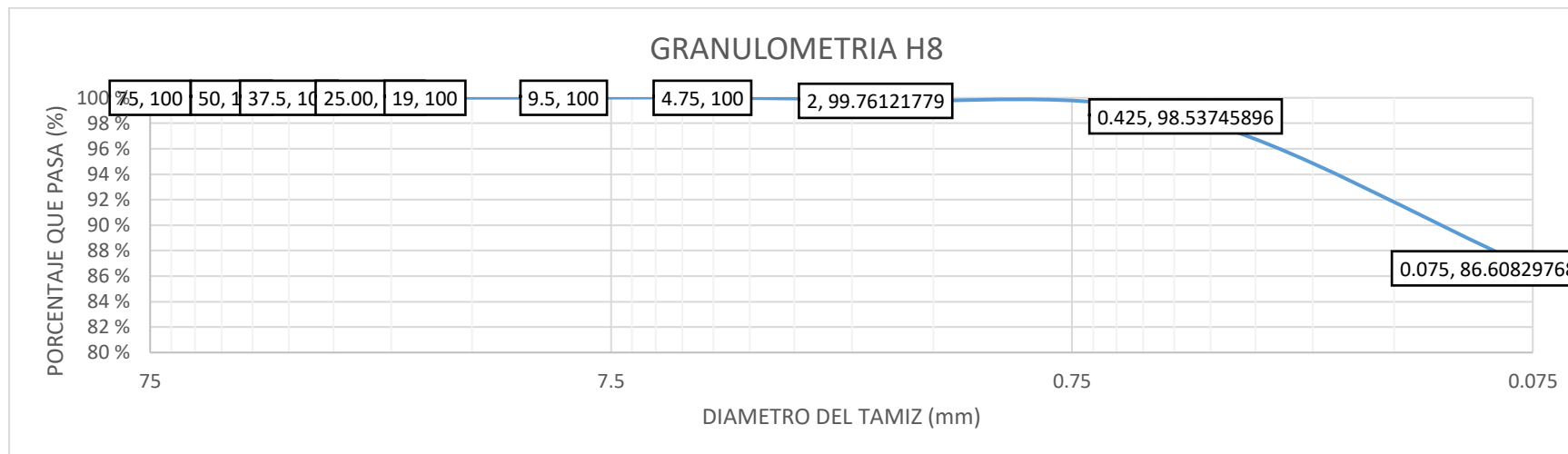
Peso de la capsula (gr)	16.94	17.9
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	47.76	48.72
Peso de la capsula + M.seca (gr)	39.23	39.51
Contenido de humedad (w)%	38.27	42.62
Promedio	40.45	



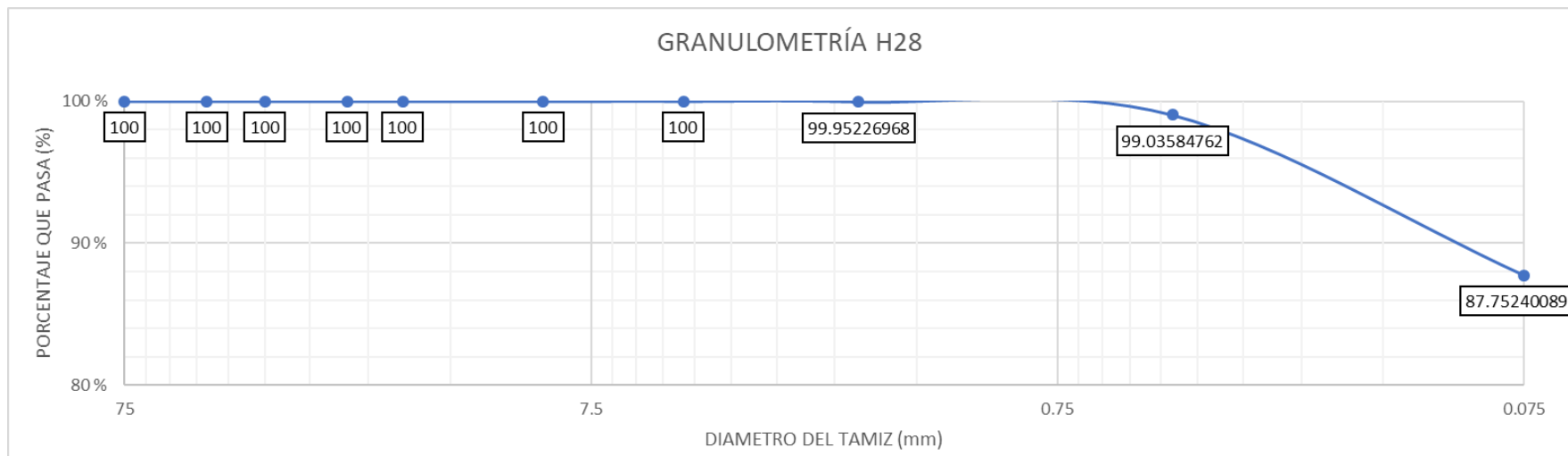


GRANULOMETRÍA

TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0.24	1.23	11.99
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0.238782211	1.22375883	11.9291613
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.76121779	98.537459	86.6082977



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0.05	1.01	12.83
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0.04885198	0.98680997	12.5354177
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.9522697	99.0358476	87.7524009



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO H28			
GRAVA	0	%	
ARENA	12.00	%	
FINOS	88.00	%	

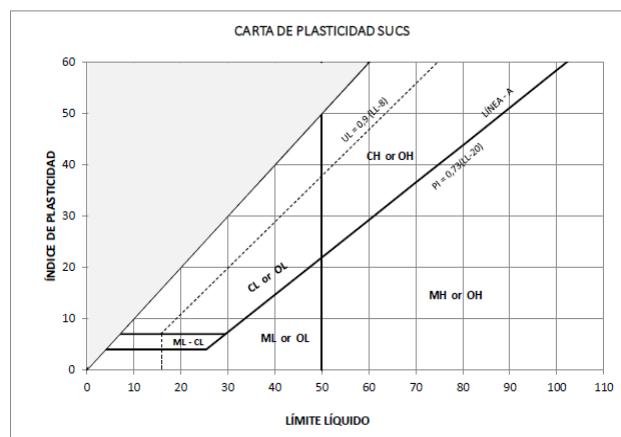
ANALISIS GRANULOMETRICO H8			
GRAVA	0	%	
ARENA	13.00	%	
FINOS	87.00	%	

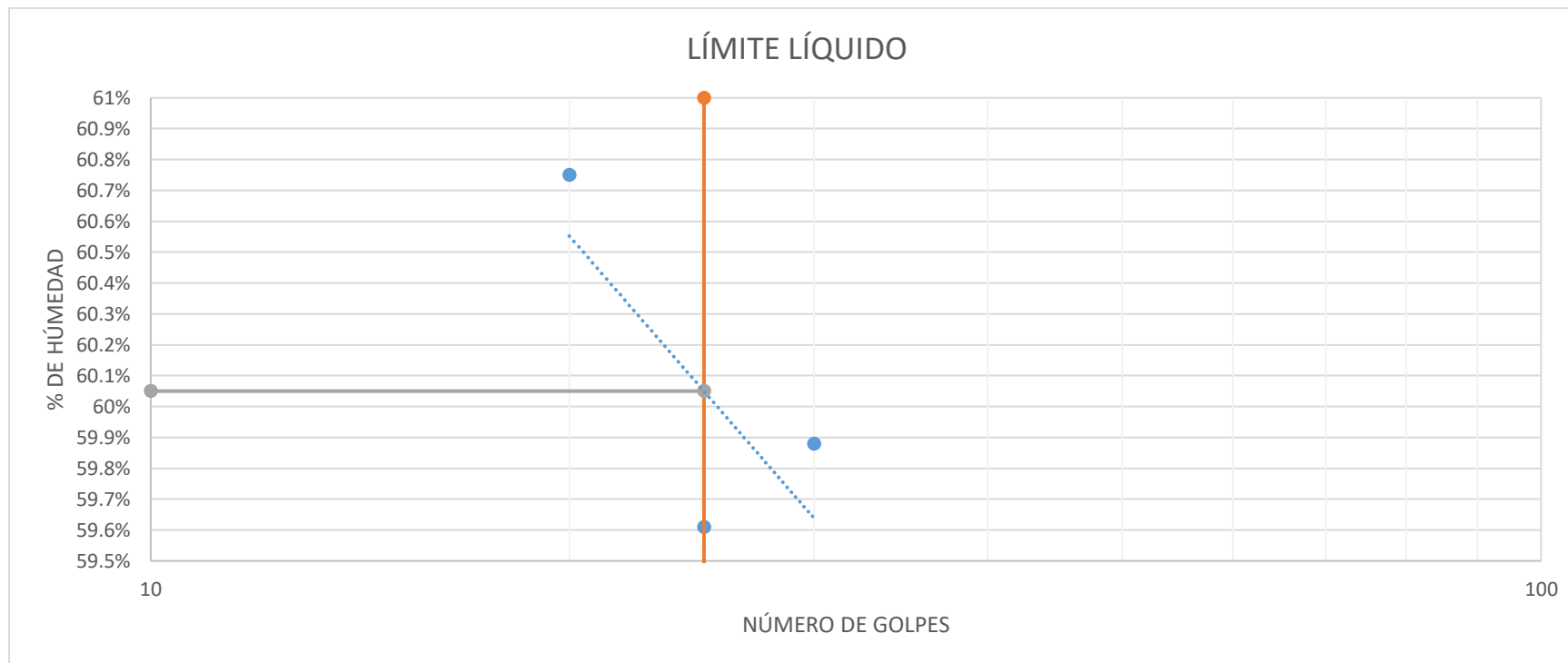
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	3.0-3.05

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	E23	L27	L5	740	C6	42z
Peso de la capsula (gr)	8.71	8.56	8.54		7.35	6.12
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	16.86	16.7	16.71		15.64	13.79
Peso de la capsula + M.seca (gr)	13.78	13.66	13.65		13.04	11.41
Contenido de humedad (w)%	60.75	59.61	59.88		45.69	44.99
# De golpes	20	25	30			
Promedio					45.34	

Límite Líquido	60
Límite Plástico	45
Índice de plasticidad	15
Contenido de humedad	81

Peso de la capsula (gr)	16.68	17.76
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	36.87	37.96
Peso de la capsula + M.seca (gr)	27.64	29.13
Contenido de humedad (w)%	84.22	77.66
Promedio	80.94	





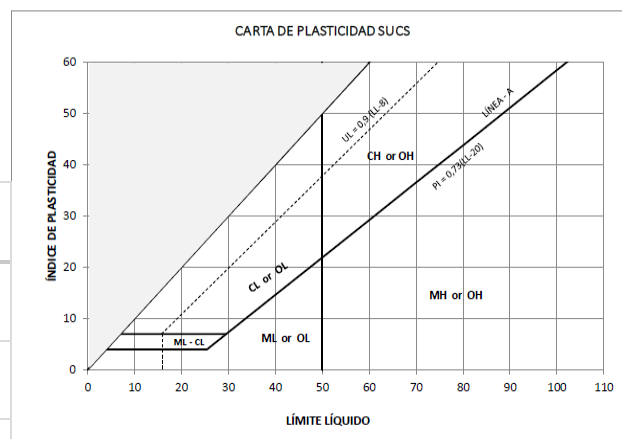
CLASIFICACION SUCS	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

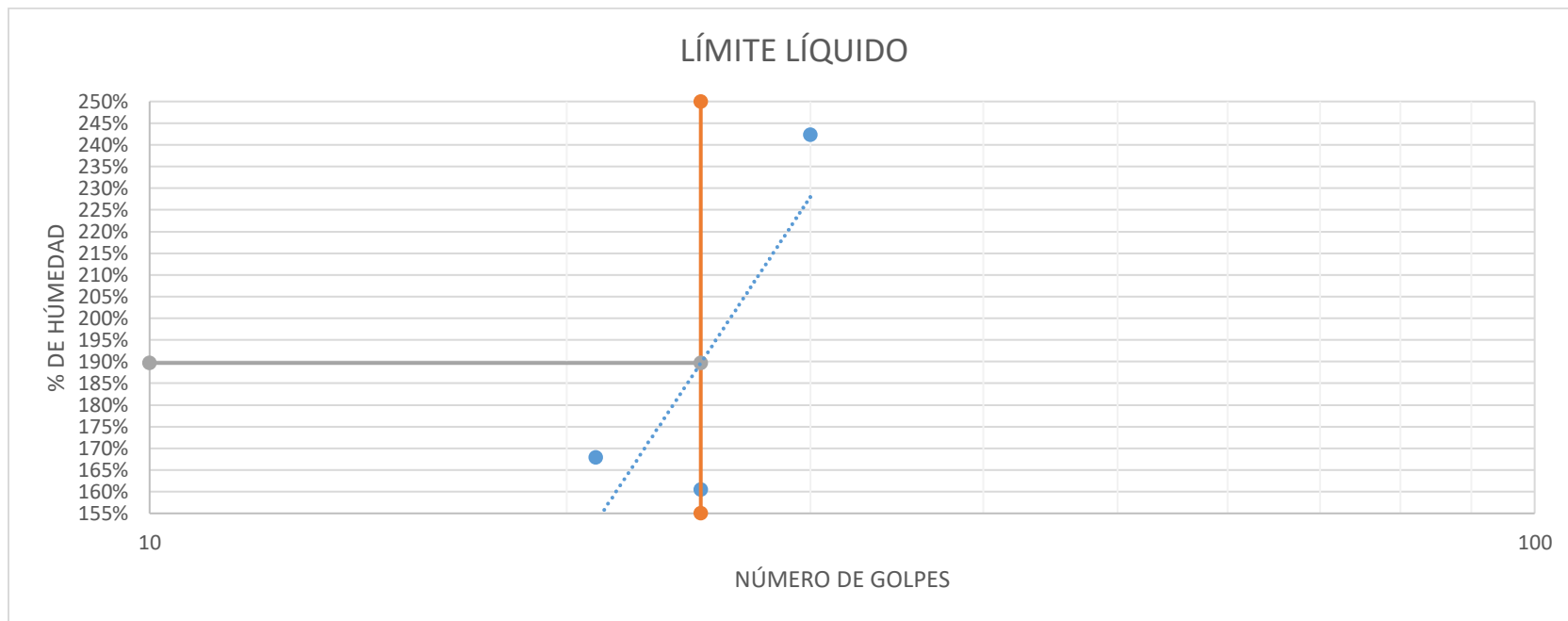
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	4.25-4.34

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	133	C5	112		703	705
Peso de la capsula (gr)	9.35	7.09	9.49		9.53	6.37
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	16.69	14.41	16.85		16.33	14.1
Peso de la capsula + M.seca (gr)	12.09	9.9	11.64		12.92	10.22
Contenido de humedad (w)%	167.88	160.5	242.33		100.59	100.78
# De golpes	21	25	30			
Promedio					100.69	

Límite Líquido	190
Límite Plástico	101
Índice de plasticidad	89
Contenido de humedad	255

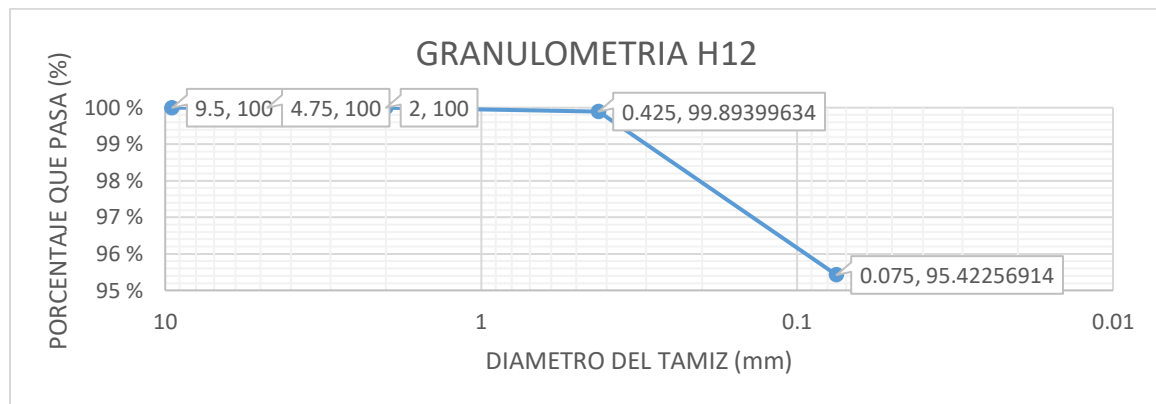
Peso de la capsula (gr)	17.22	15.75
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	37.49	36.02
Peso de la capsula + M.seca (gr)	21.9	23.07
Contenido de humedad (w)%	333.12	176.91
Promedio	255.02	



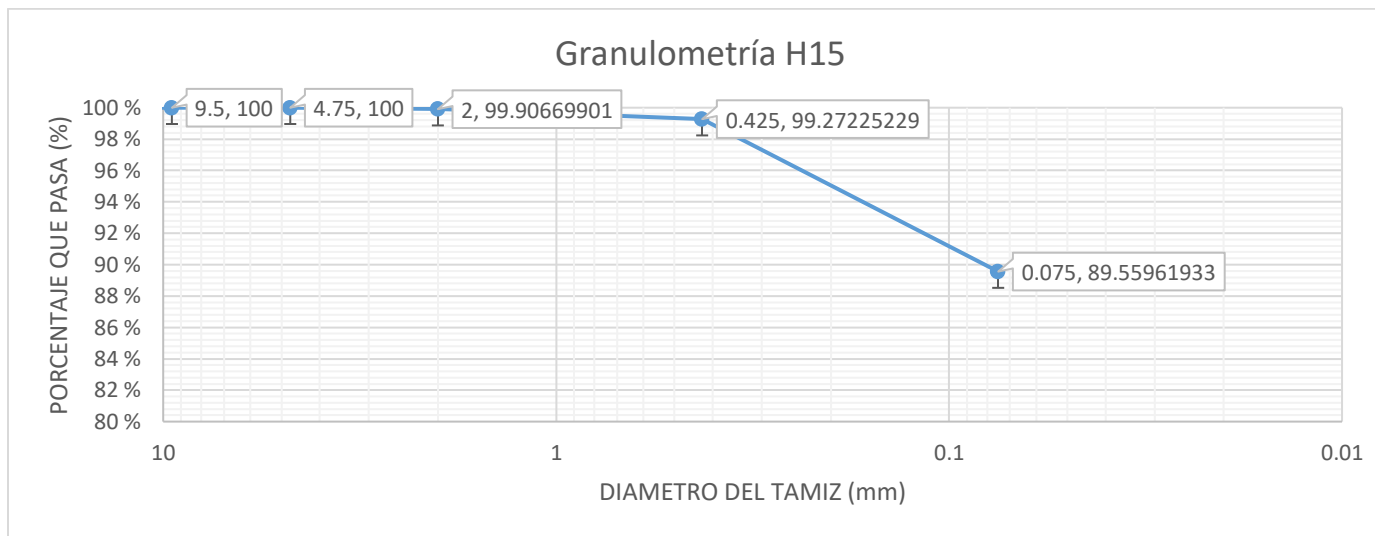


GRANULOMETRÍA

TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11	4.64
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0	0.10600366	4.47142719
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	99.8939963	95.4225691



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.68	10.41
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0.09330099	0.63444673	9.71263295
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.906699	99.2722523	89.5596193



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO H15		
GRAVA	0	%
ARENA	10.00	%
FINOS	90.00	%

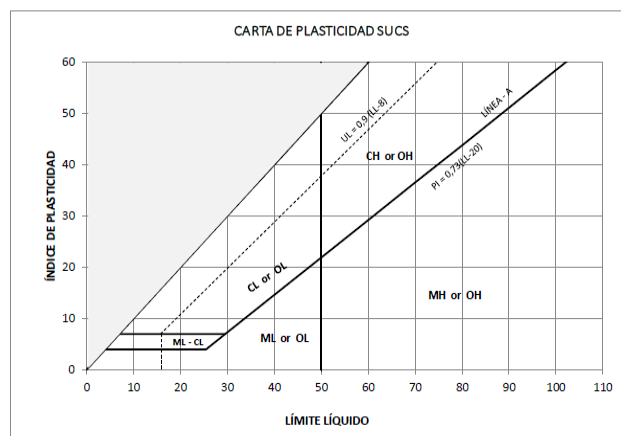
ANALISIS GRANULOMETRICO H12		
GRAVA	0	%
ARENA	5.00	%
FINOS	95.00	%

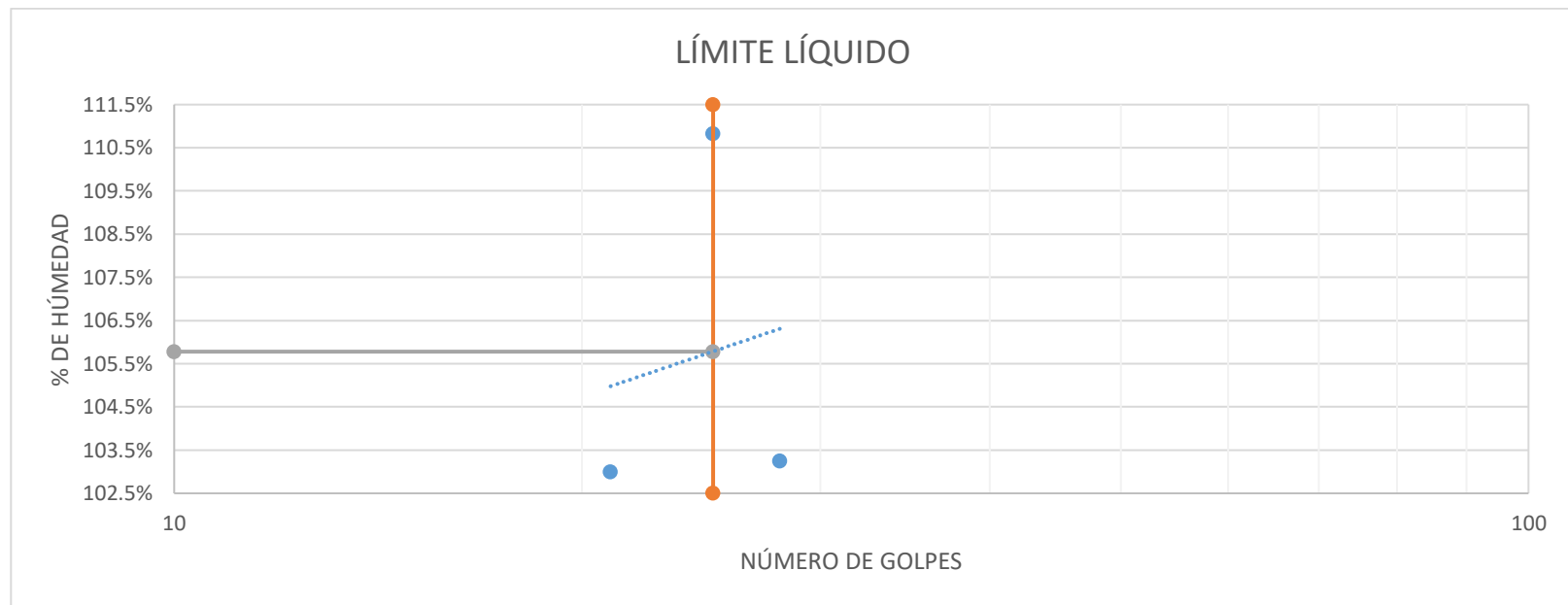
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	5.00-5.15

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	133	C5	L28	740	721	705
Peso de la capsula (gr)	9.36	7.27	8.56		6.38	9.34
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	18.86	16.42	17.93		15.08	17.6
Peso de la capsula + M.seca (gr)	14.04	11.61	13.17		11.78	14.18
Contenido de humedad (w)%	102.99	110.83	103.25		61.11	70.66
# De golpes	21	25	28			
Promedio					65.89	

Límite Líquido	106
Límite Plástico	66
Índice de plasticidad	40
Contenido de humedad	115

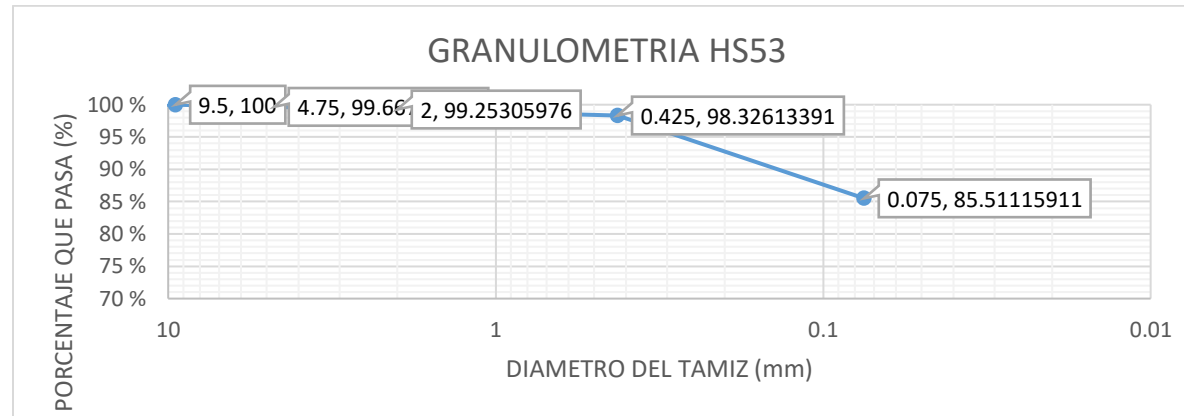
Peso de la capsula (gr)	17.99	16.51
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	36.79	35.31
Peso de la capsula + M.seca (gr)	25.65	26.65
Contenido de humedad (w)%	145.43	85.4
Promedio	115.42	



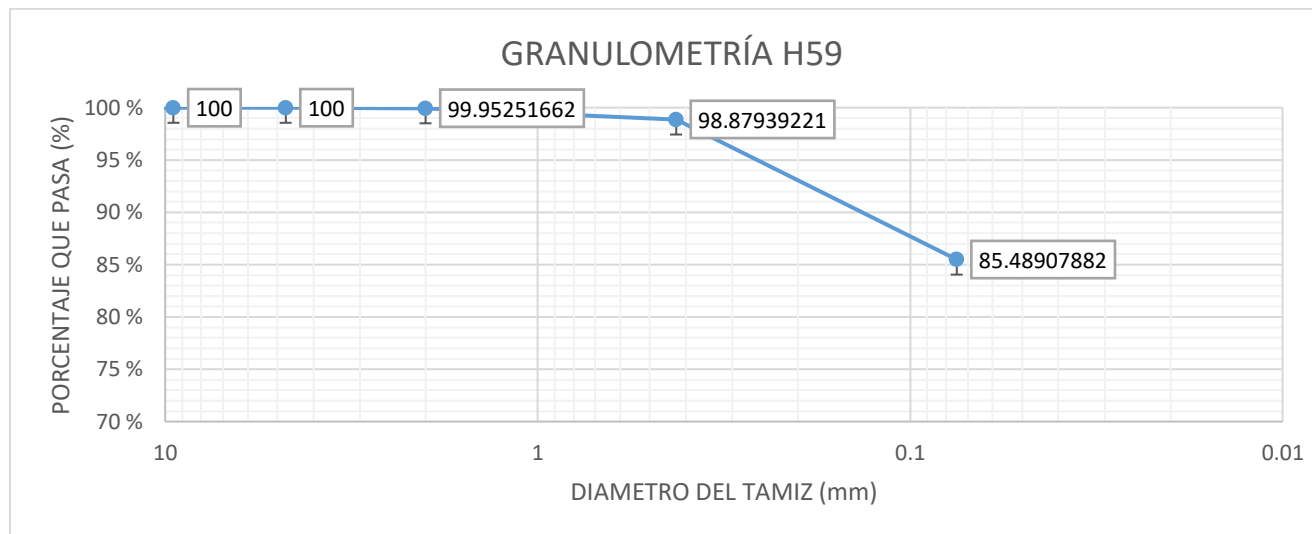


GRANULOMETRÍA

TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0.37	0.46	1.03	14.24
% RET	0	0	0	0	0	0	0.33297336	0.413966883	0.92692585	12.8149748
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.6670266	99.25305976	98.3261339	85.5111591



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0.05	1.13	14.1
%RET	0	0	0	0	0	0	0	0.04748338	1.07312441	13.3903134
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.9525166	98.8793922	85.4890788



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGAMICO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO H59		
GRAVA	0	%
ARENA	15.00	%
FINOS	85.00	%

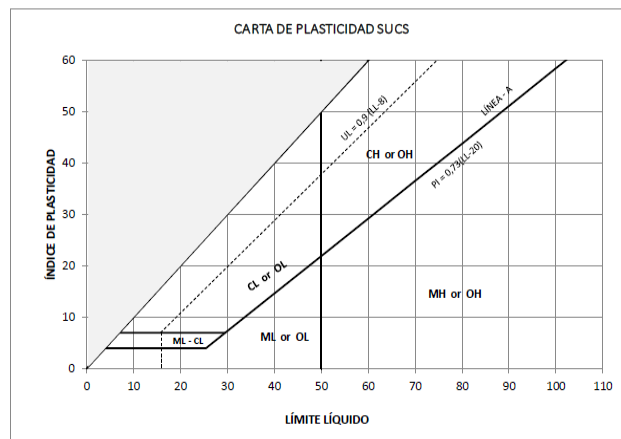
ANALISIS GRANULOMETRICO HS53		
GRAVA	0	%
ARENA	14.00	%
FINOS	86.00	%

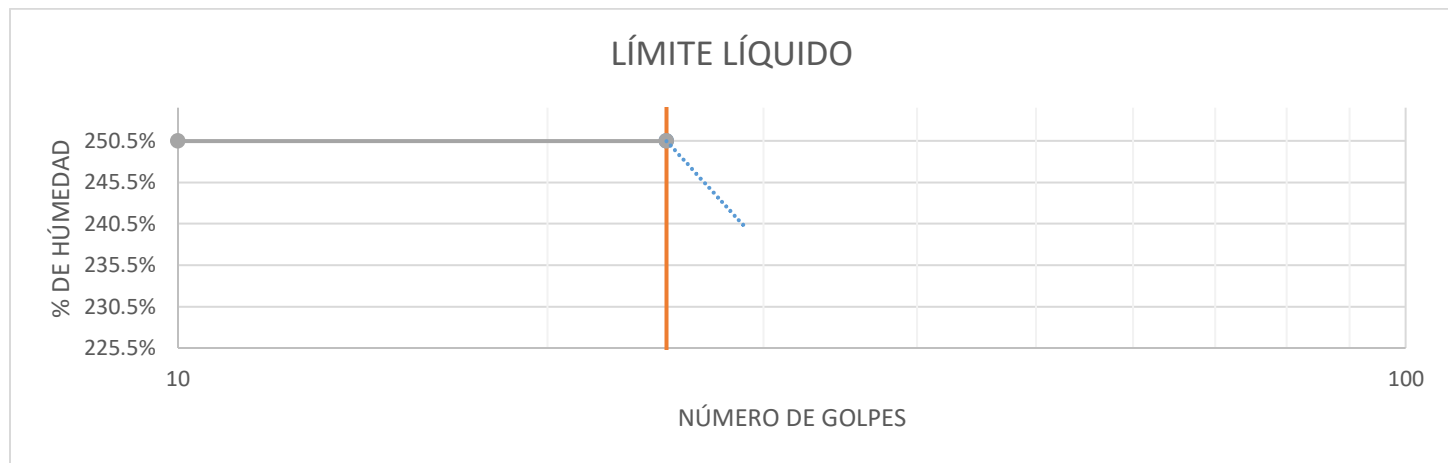
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	6,30-6,45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	E12	541	A5	740	13Z	152
Peso de la capsula (gr)	8.54	9.53	10.34		6.03	9.48
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	15.96	16.96	17.75		14.06	16.91
Peso de la capsula + M.seca (gr)	10.63	11.65	12.62		9	12.24
Contenido de humedad (w)%	255.02	250.47	225		170.37	169.2
# De golpes	29	25	29			
Promedio					169.79	

Límite líquido	250
Límite plástico	170
Índice de plasticidad	80
Contenido de humedad	421

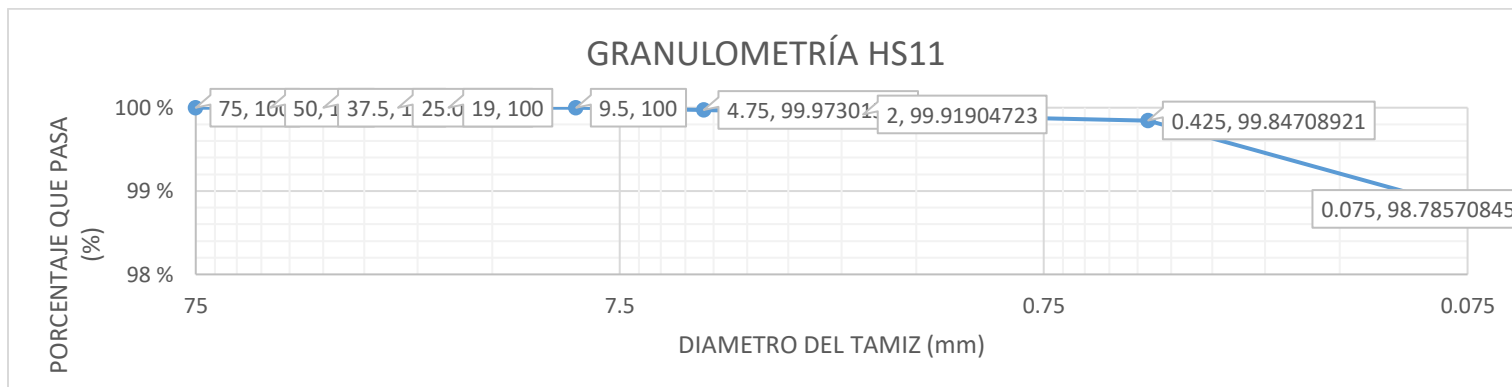
Peso de la capsula (gr)	11.47	18.12
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	26.5	29.2
Peso de la capsula + M.seca (gr)	14.66	20.06
Contenido de humedad (w)%	371.16	471.13
Promedio	421.156	



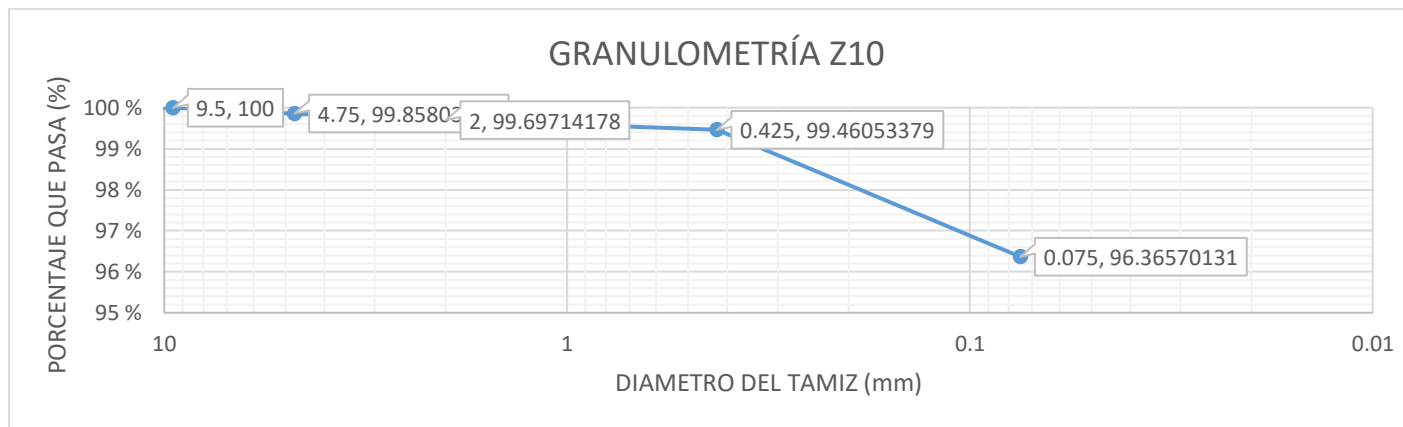


GRANULOMETRÍA

TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0.03	0.09	0.17	1.35
%RET	0	0	0	0	0	0	0.0284522	0.085356601	0.16122914	1.28034901
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.9730157	99.91904723	99.8470892	98.7857084



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0.15	0.17	0.25	3.27
RET AC (GR)	0	0	0	0	0	0	0.14196479	0.16089343	0.23660799	3.09483248
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.8580352	99.6971418	99.4605338	96.3657013



CLASIFICACION SUCS	OH

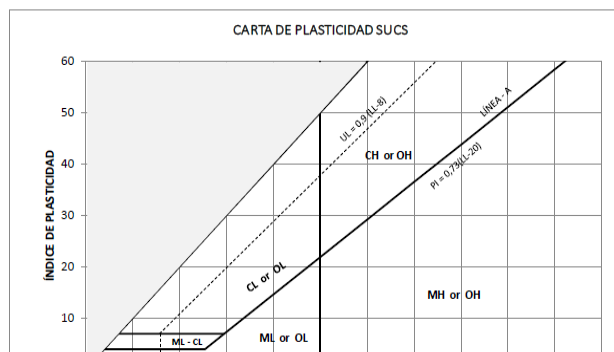
LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO Z10		
GRAVA	0	%
ARENA	4.00	%
FINOS	96.00	%

ANALISIS GRANULOMETRICO HS11		
GRAVA	0	%
ARENA	1.00	%
FINOS	99.00	%

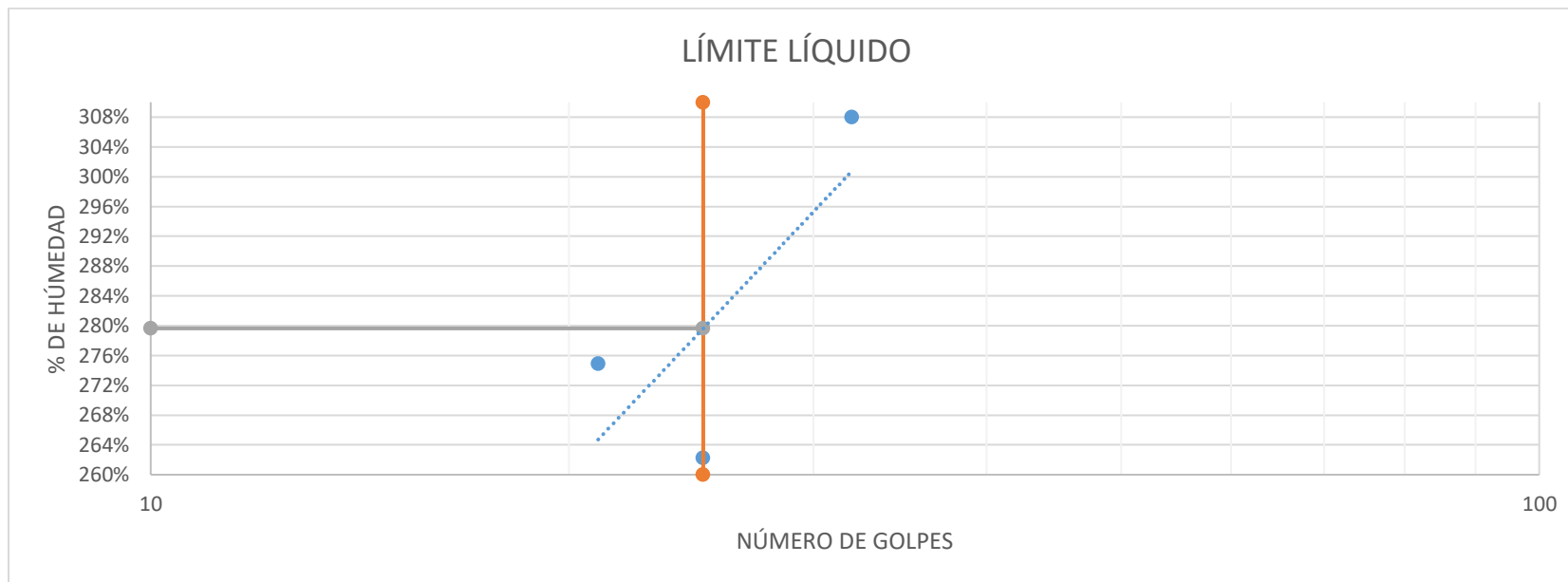
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	7.00-7.15

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	133	60XX	C5	740	42Z	112
Peso de la capsula (gr)	9.36	9.32	7.09		6.13	9.48
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	17.03	16.71	17.55		13.66	17.23
Peso de la capsula + M.seca (gr)	11.24	11.36	9.88		8.9	12.28
Contenido de humedad (w)%	307.98	262.25	274.91		171.84	176.79
# De golpes	32	25	21			
Promedio					174.32	



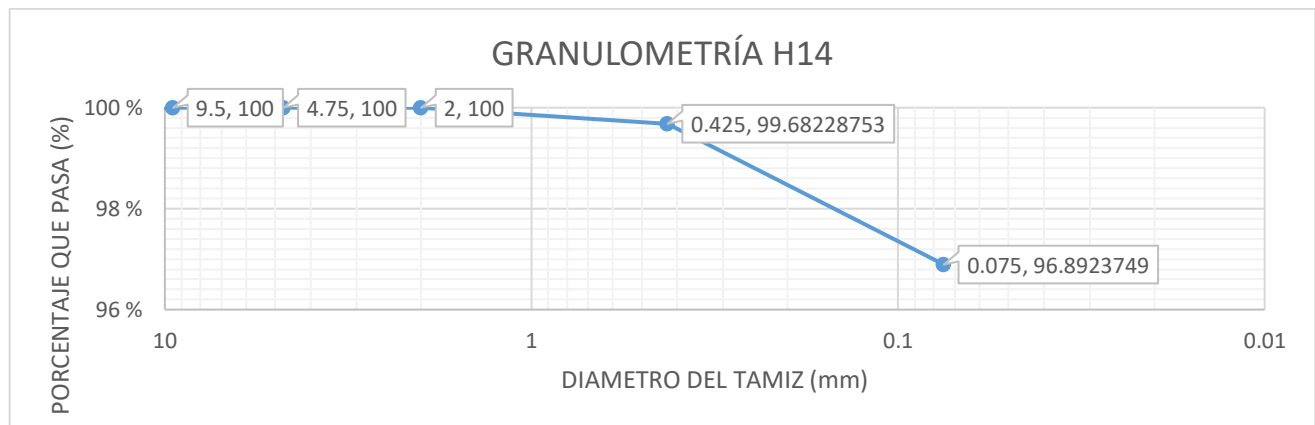
Límite líquido	280
Límite plástico	174
Índice de plasticidad	106
Contenido de humedad	232

Peso de la capsula (gr)	17.97	17.84
Peso de la capsula + m.humedad (gr)	60	59.82
Peso de la capsula + m.seca (gr)	31.7	29.57
Contenido de humedad (w) %	206.12	257.89
Promedio	232.01	

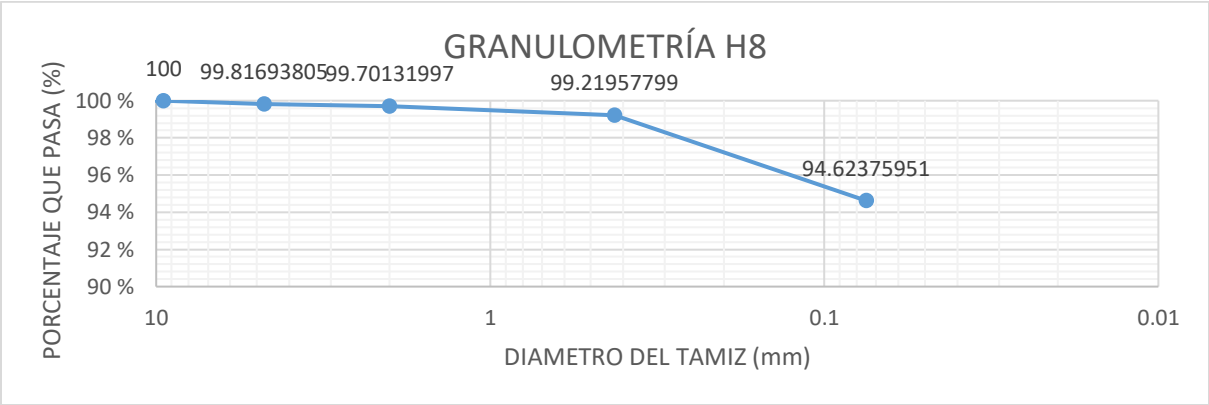


GRANULOMETRÍA

TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32	2.81
% RETE	0	0	0	0	0	0	0	0	0.31771247	2.78991263
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	99.6822875	96.8923749



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.19	0.12	0.5	4.77
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0.18306195	0.11561807	0.48174198	4.59581848
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.816938	99.70132	99.219578	94.6237595



CLASIFICACION SUCS	OH	LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO H8		
GRAVA	0	%
ARENA	5.00	%
FINOS	95.00	%

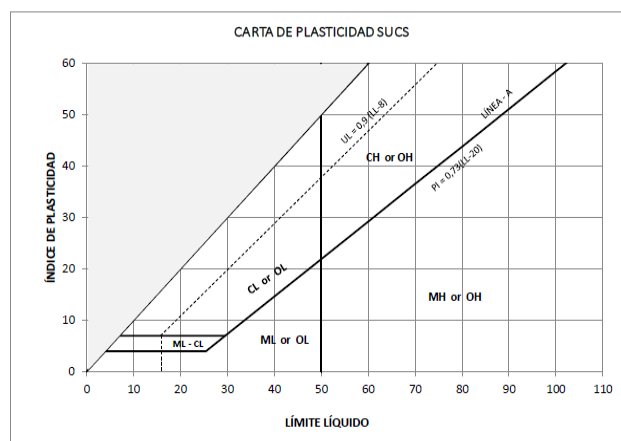
ANALISIS GRANULOMETRICO H14		
GRAVA	0	%
ARENA	3.00	%
FINOS	97.00	%

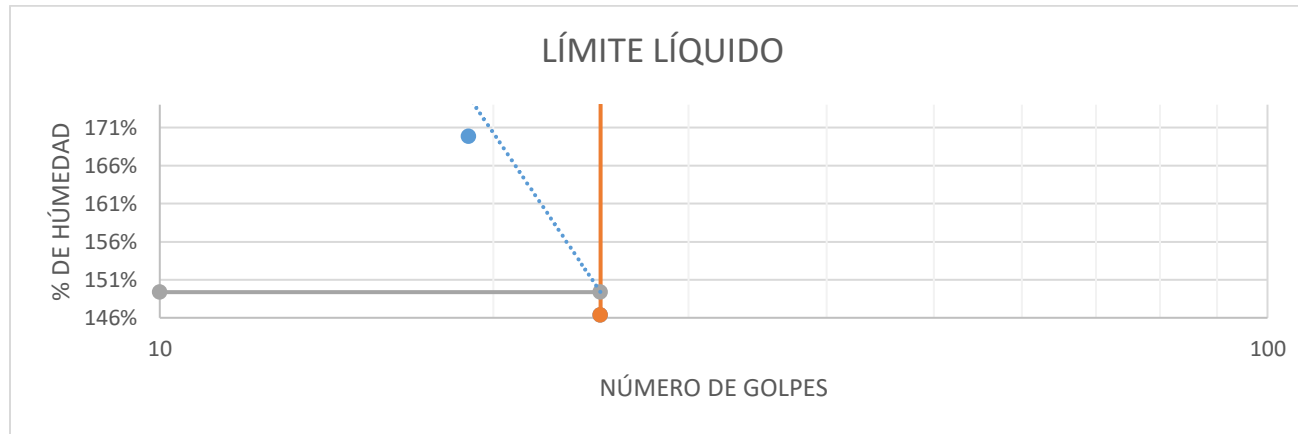
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	8.0-8.15

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	721	60xx	13z	E11	C6	705
Peso de la capsula (gr)	6.38	9.34	6.03	8.71	7.35	8.55
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	13.45	16.41	13.1	15.78	14.92	16.75
Peso de la capsula + M.seca (gr)	8.96	11.96	8.9	11.61	11.05	12.54
Contenido de humedad (w)%	174.03	169.85	146.34	143.79	104.59	105.51
# De golpes	21	19	25	29		
Promedio					105.05	

Límite Líquido	149
Límite Plástico	105
Índice de plasticidad	44
Contenido de humedad	48

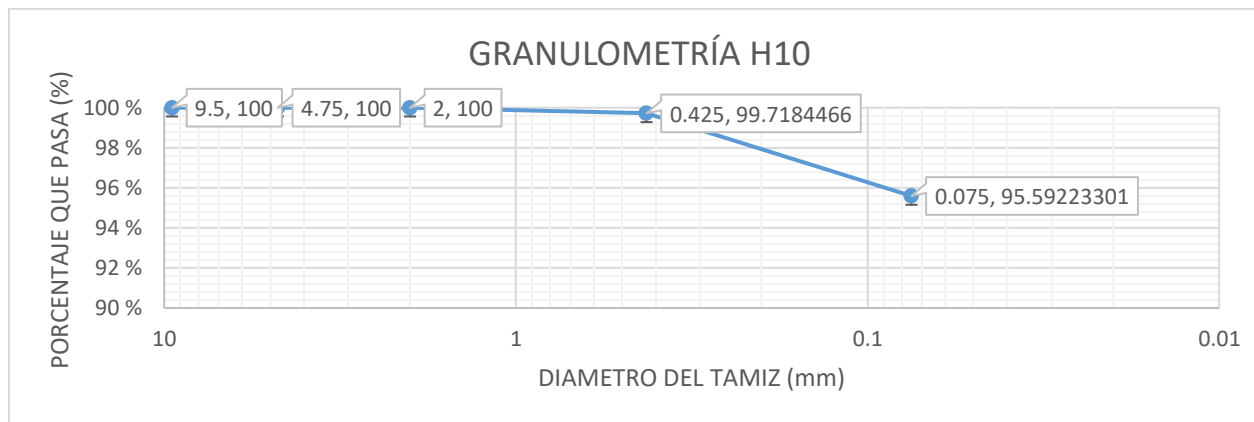
Peso de la capsula (gr)	18.01	17.99
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	36.95	35.72
Peso de la capsula + M.seca (gr)	29.5	31.47
Contenido de humedad (w)%	64.84	31.53
Promedio	48.19	



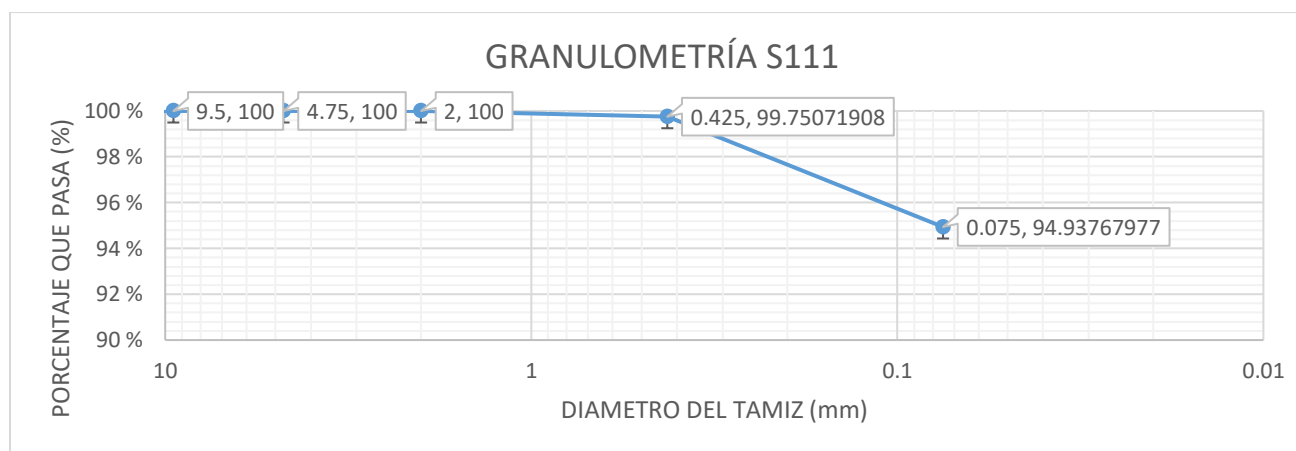


GRANULOMETRÍA

TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.29	4.54
RET AC (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2815534	4.40776699
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	99.7184466	95.592233



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.26	5.02
RET AC (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.26	5.28
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	99.7507191	94.9376798



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO H10		
GRAVA	0	%
ARENA	4.00	%
FINOS	96.00	%

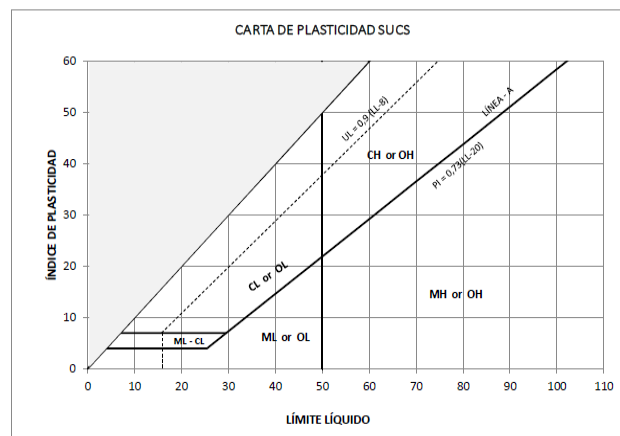
ANALISIS GRANULOMETRICO S111		
GRAVA	0	%
ARENA	5.00	%
FINOS	95.00	%

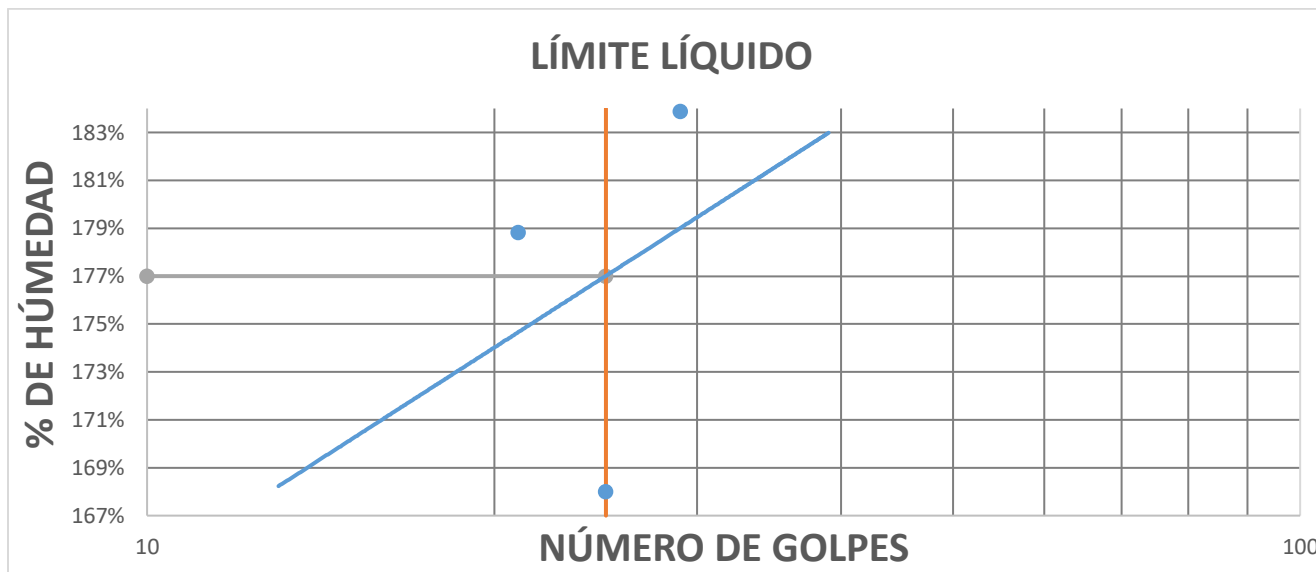
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	9.00-9.15

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	Z7	74Z	S20	740	730	L7
Peso de la capsula (gr)	6.83	6.11	6.83		6.26	8.67
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	15.78	16.91	15.46		13.79	15.11
Peso de la capsula + M.seca (gr)	10.04	10.14	9.87		9.65	11.56
Contenido de humedad (w)%	178.82	167.99	183.88		122.12	122.84
# De golpes	21	25	29			
Promedio					122.48	

Límite Líquido	177
Límite Plástico	122
Índice de plasticidad	55
Contenido de humedad	313

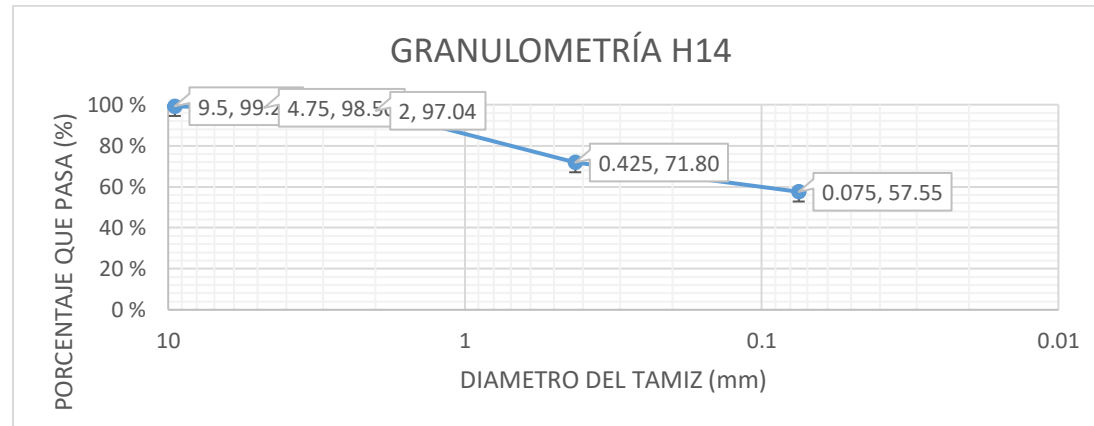
Peso de la capsula (gr)	18.46	18.49
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	46.64	46.6
Peso de la capsula + M.seca (gr)	25.28	25.3
Contenido de humedad (w)%	313.2	312.78
Promedio	312.99	



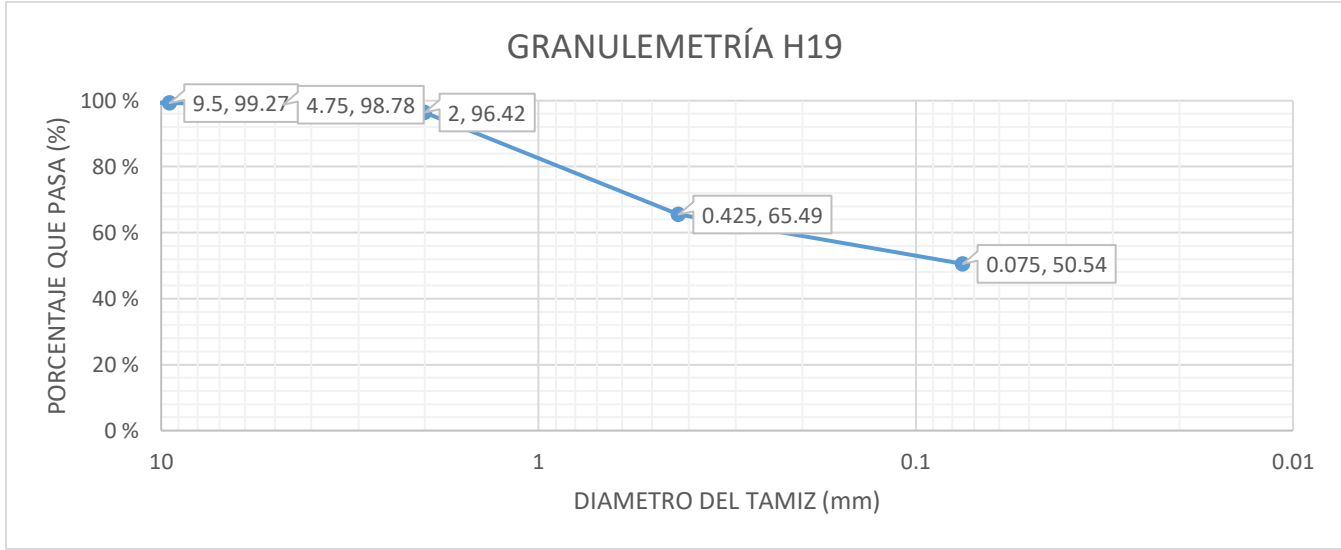


GRANULOMETRÍA

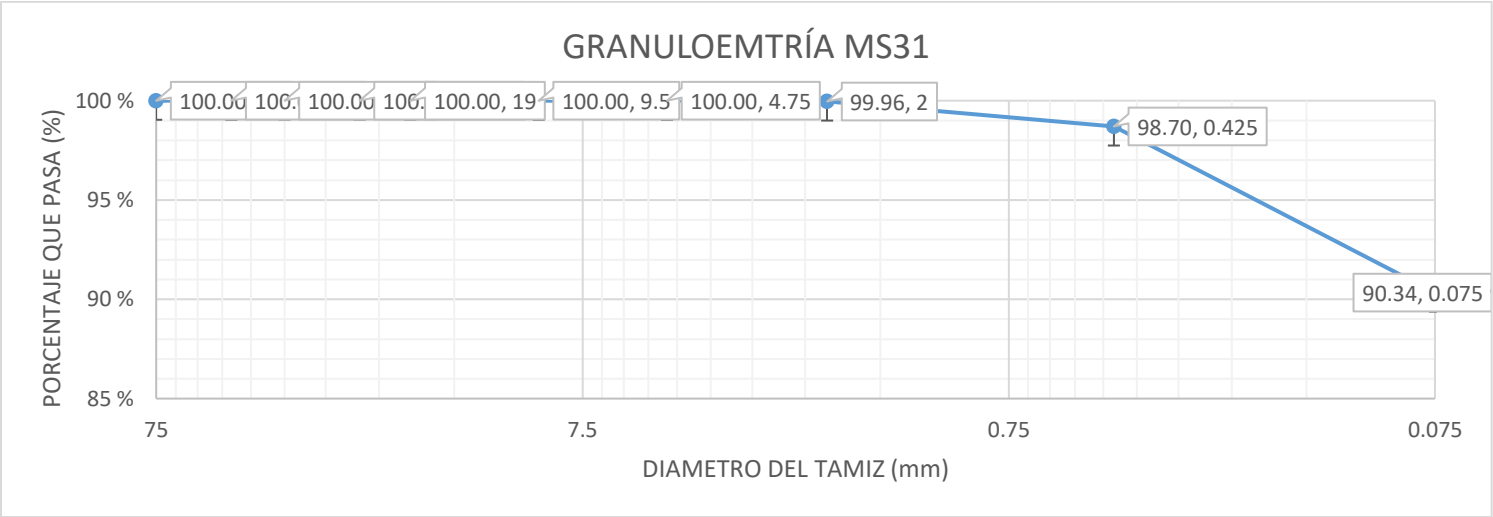
TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200	>200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075	>0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0.75	1.53	3.02	28.76	43.3	0.74
%RET AC	0	0	0	0	0	0.73529412	1.5	2.960784314	28.1960784	42.4509804	102
% PASA	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.26	98.50	97.04	71.80	57.55	



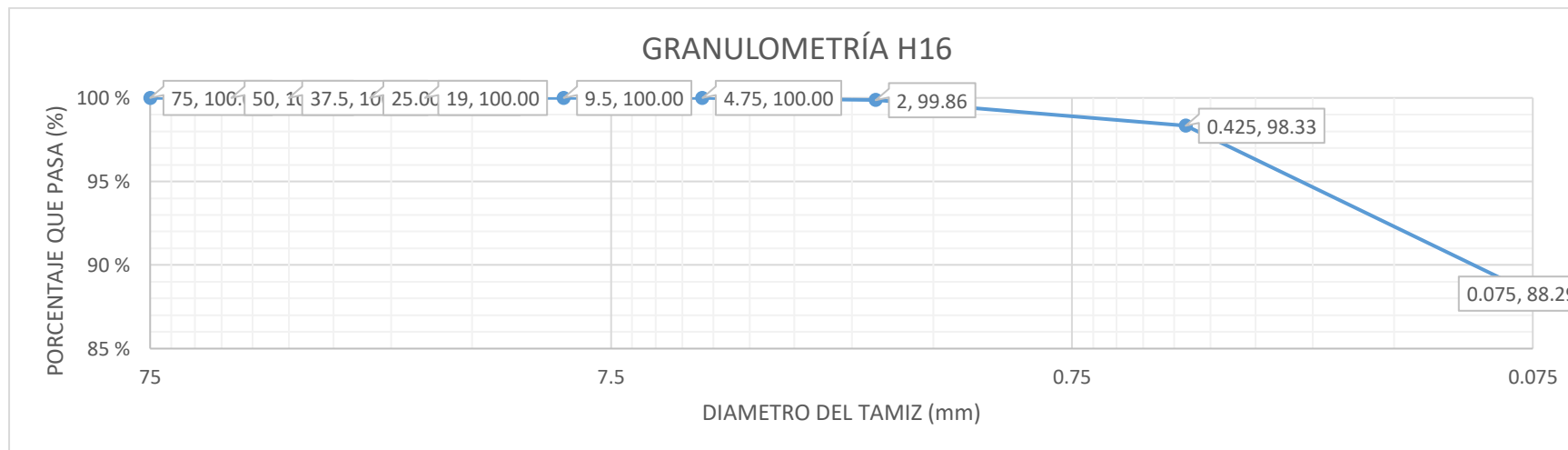
TAMIZ	3"	2"	11/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200	
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075	
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0.74	1.24	3.65	35.2	50.45	1.43
%RET AC	0	0	0	0	0	0.7254902	1.21568627	3.57843137	34.5098039	49.4607843	102
% PASA	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.27	98.78	96.42	65.49	50.54	



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0.04	1.26	8.38
%RET	0	0	0	0	0	0	0	0.039928129	1.25773608	8.3649431
% PASA	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.96	98.70	90.34



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0.14	1.55	10.19
%RET	0	0	0	0	0	0	0	0.13802622	1.52814749	10.0463374
% PASA	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.86	98.33	88.29



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO MS31			
GRAVA	0.00	%	
ARENA	10.00	%	
FINOS	90.00	%	

ANALISIS GRANULOMETRICO H16			
GRAVA	0.00	%	
ARENA	12.00	%	
FINOS	88.00	%	

ANALISIS GRANULOMETRICO MS9			
GRAVA	0.00	%	
ARENA	2.00	%	
FINOS	98.00	%	

ANALISIS GRANULOMETRICO H28			
GRAVA	0.00	%	
ARENA	3.00	%	

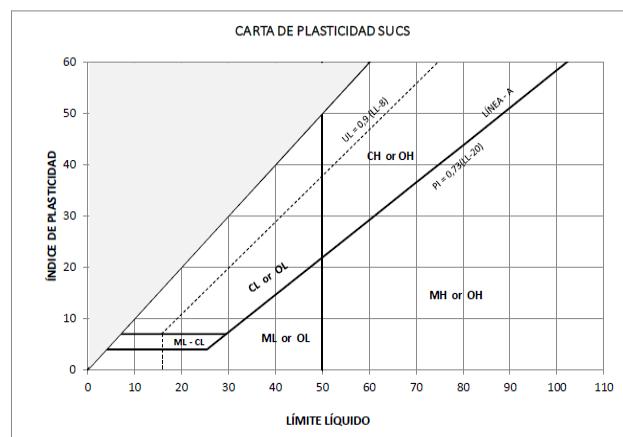
FINOS	97.00	%

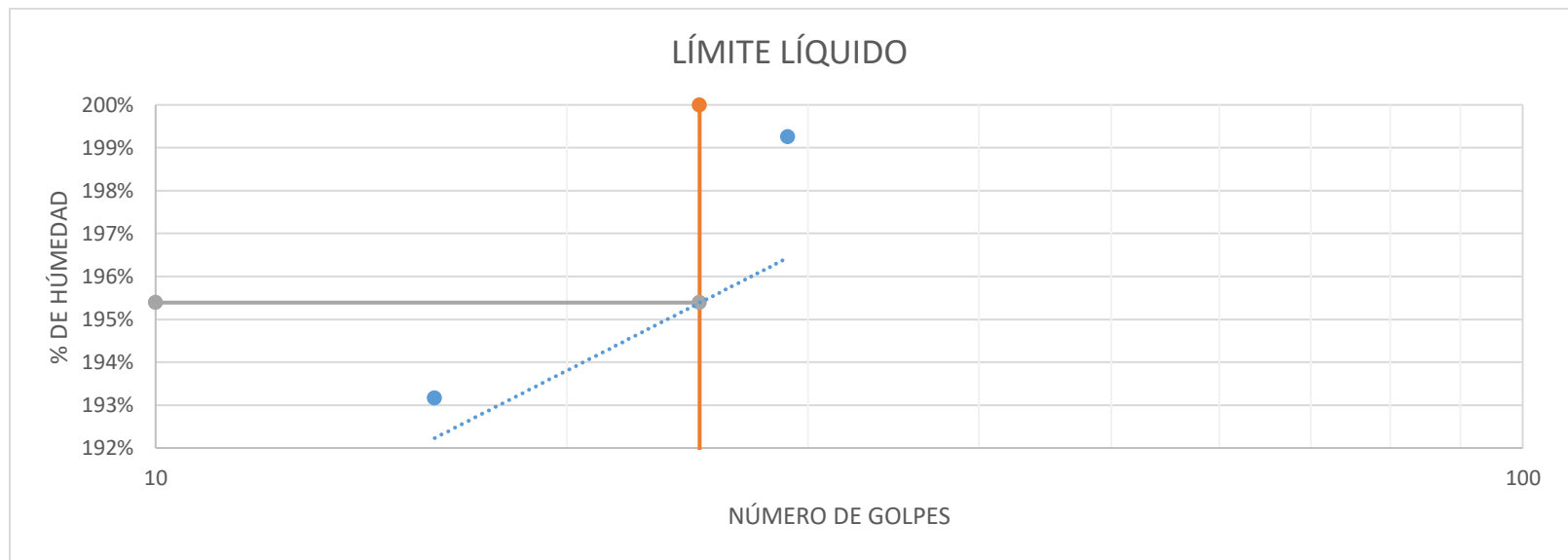
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	10-10.15

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	A5	E12	E11	740	13Z	152
Peso de la capsula (gr)	10.34	8.55	8.72		6.03	9.47
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	21.07	14.12	16.77		12.19	16.15
Peso de la capsula + M.seca (gr)	14	10.46	11.41		8.49	12.11
Contenido de humedad (w)%	193.17	191.62	199.26		150.41	153.03
# De golpes	16	25	29			
Promedio					151.72	

Límite Líquido	195
Límite Plástico	152
Índice de plasticidad	43
Contenido de humedad	134

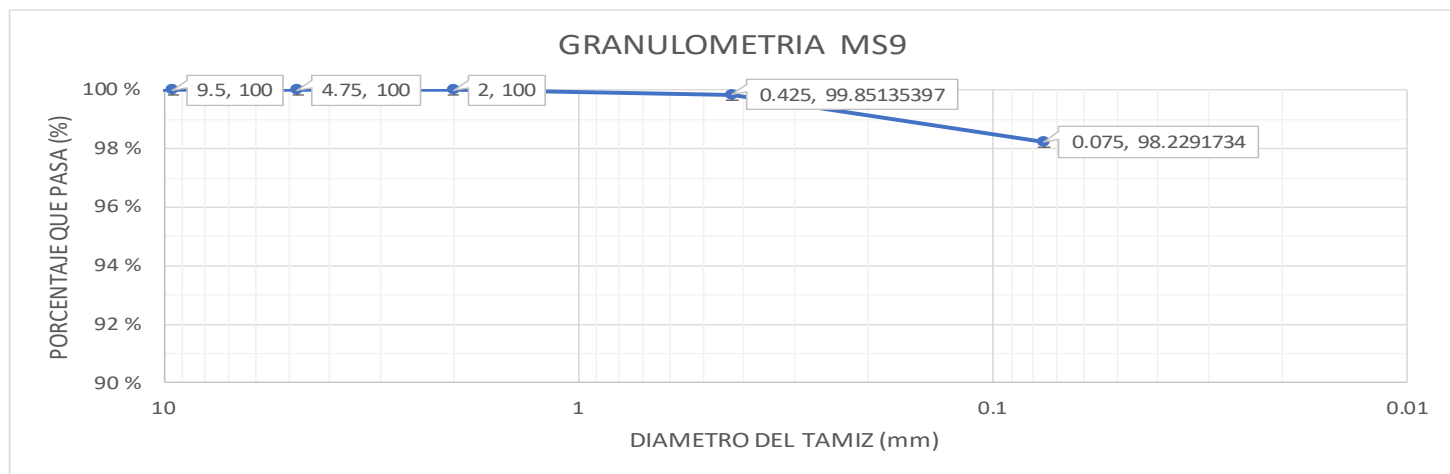
Peso de la capsula (gr)	17.03	16.19
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	48.65	47.81
Peso de la capsula + M.seca (gr)	29.1	31.47
Contenido de humedad (w)%	161.97	106.94
Promedio	134.46	



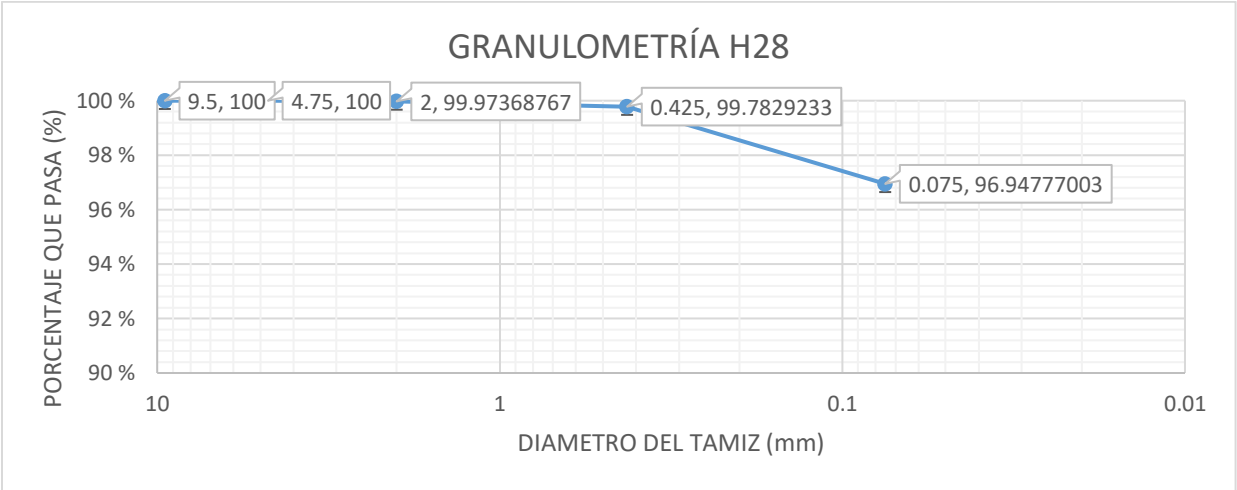


GRANULOMETRÍA

TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	2.51
%RET	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14864603	1.62218057
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	99.851354	98.2291734



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.29	4.31
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0.02631233	0.19076437	2.83515327
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.9736877	99.7829233	96.94777



CLASIFICACION SUCS	OH

 LIMO ORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO MS9		
GRAVA	0.00	%
ARENA	2.00	%
FINOS	98.00	%

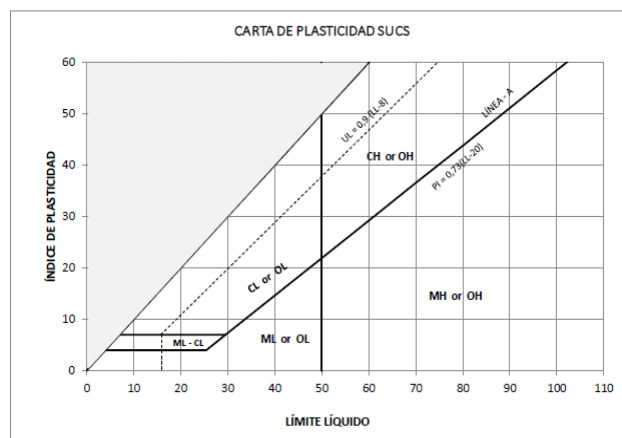
ANALISIS GRANULOMETRICO H28		
GRAVA	0.00	%
ARENA	3.00	%
FINOS	97.00	%

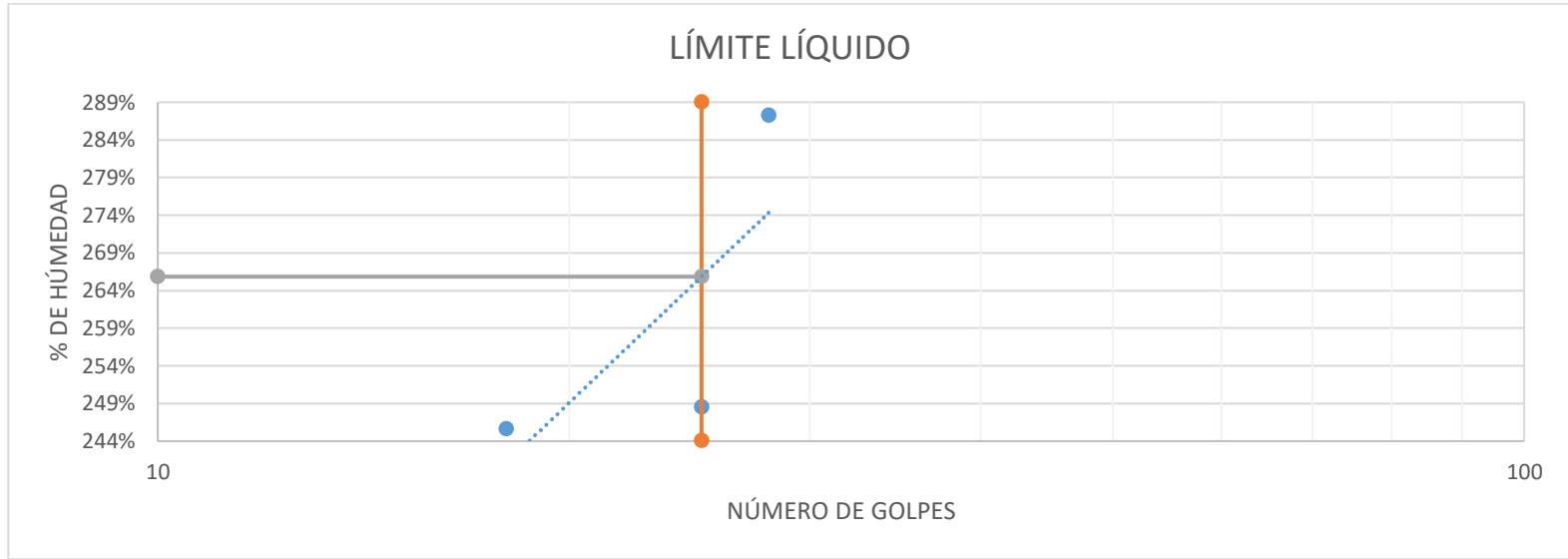
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	12.15-12.30

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	S16	S6	152	740	13Z	4Z
Peso de la capsula (gr)	6.55	6.78	9.49		6.04	6.06
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	15.95	16.19	18.9		12.45	12.57
Peso de la capsula + M.seca (gr)	9.27	9.48	11.92		8.35	8.4
Contenido de humedad (w)%	245.59	248.52	287.24		177.49	178.21
# De golpes	18	25	28			
Promedio					177.85	

Límite Líquido	266
Límite Plástico	178
Índice de plasticidad	88
Contenido de humedad	275

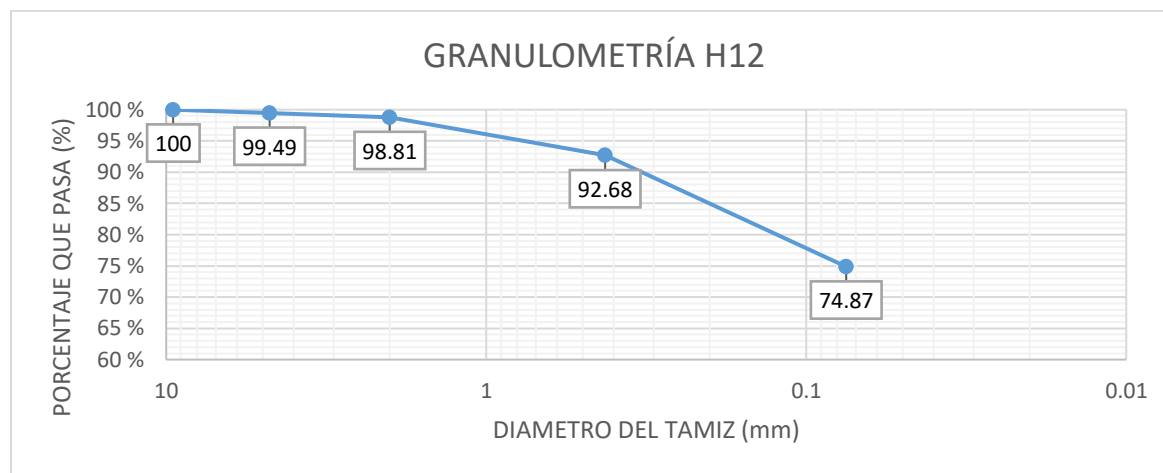
Peso de la capsula (gr)	18.14	18.09
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	51.01	50.93
Peso de la capsula + M.seca (gr)	26.51	27.3
Contenido de humedad (w)%	292.71	256.57
Promedio	274.64	



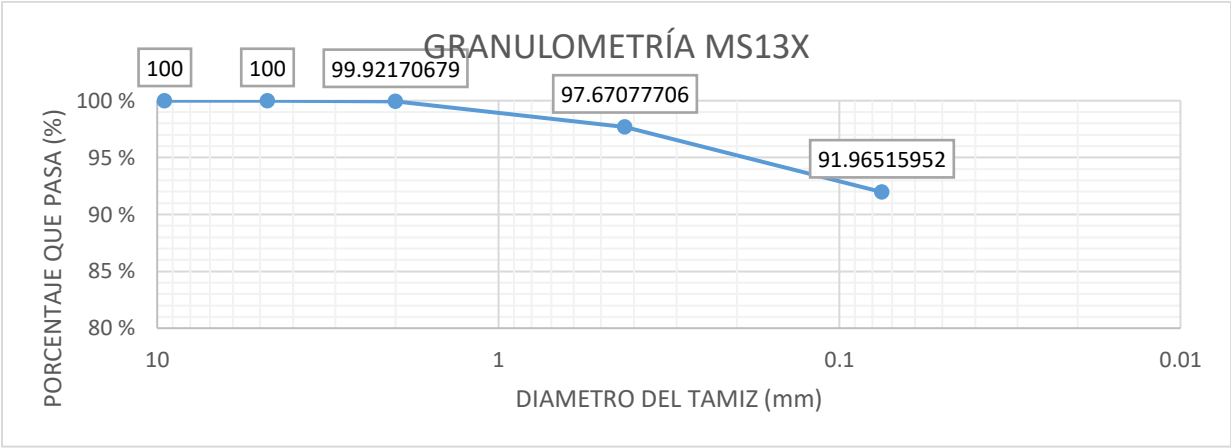


GRANULOMETRÍA

TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0.51	0.17	5.45	11.68
% RET	0	0	0	0	0	0	0.51	0.68	6.13	17.81
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.49	98.81	92.68	74.87



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0.08	2.3	5.83
% RET	0	0	0	0	0	0	0	0.07829321	2.25092973	5.70561754
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.9217068	97.6707771	91.9651595



CLASIFICACION SUCS	OH	LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO H12		
GRAVA	1.00	%
ARENA	24.00	%
FINOS	75.00	%

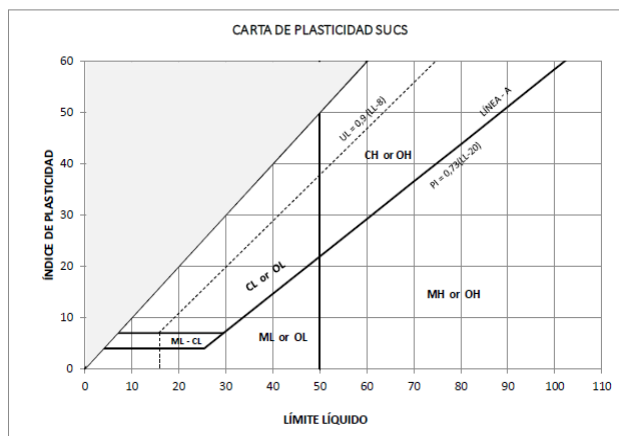
ANALISIS GRANULOMETRICO MS13X		
GRAVA	0.00	%
ARENA	8.00	%
FINOS	92.00	%

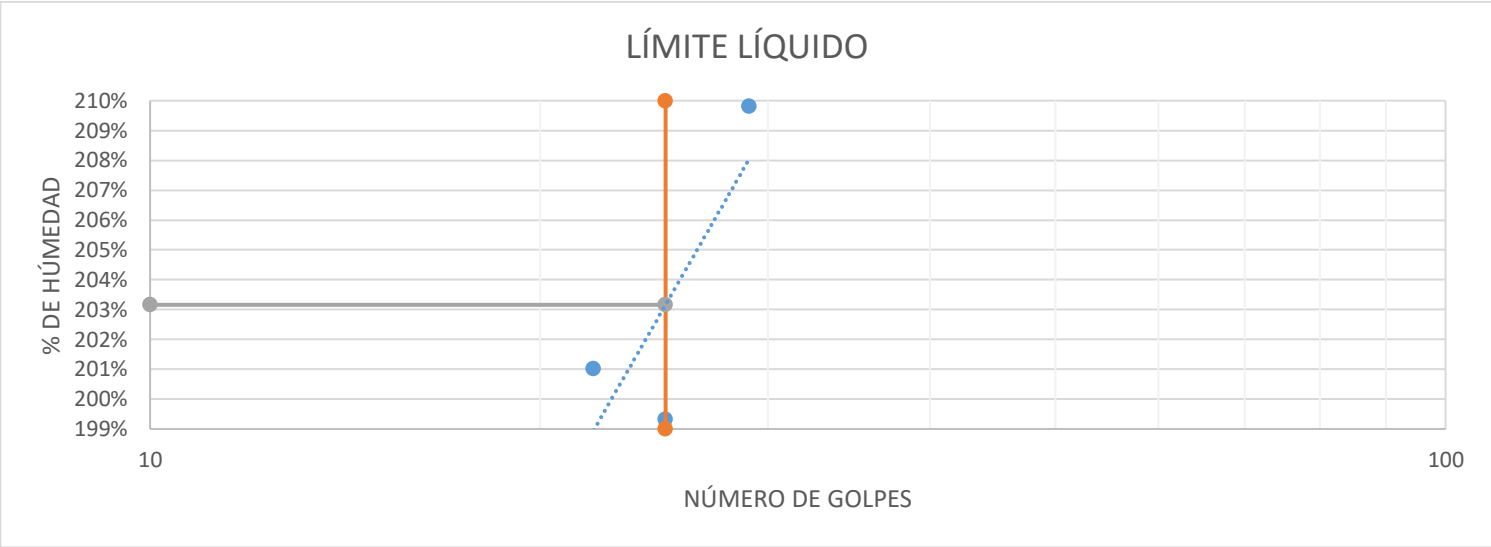
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	13.20-13.30

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	28z	27z	12Z	740	L5	C6
Peso de la capsula (gr)	6.39	8.71	5.78		8.54	7.36
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	15.21	17.54	14.61		14.5	12.49
Peso de la capsula + M.seca (gr)	9.32	11.66	8.63		10.97	9.46
Contenido de humedad (w)%	201.02	199.32	209.82		145.27	144.29
# De golpes	22	25	29			
Promedio					144.78	

Límite Líquido	203
Límite Plástico	145
Índice de plasticidad	58
Contenido de humedad	33

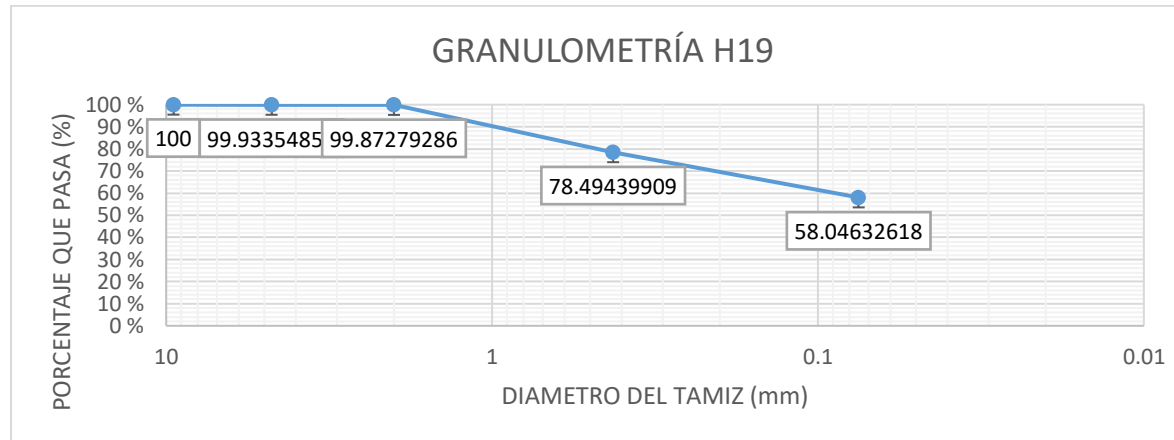
Peso de la capsula (gr)	16.89	18.19
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	67.6	68.94
Peso de la capsula + M.seca (gr)	54.46	56.96
Contenido de humedad (w)%	34.97	30.9
Promedio	32.94	



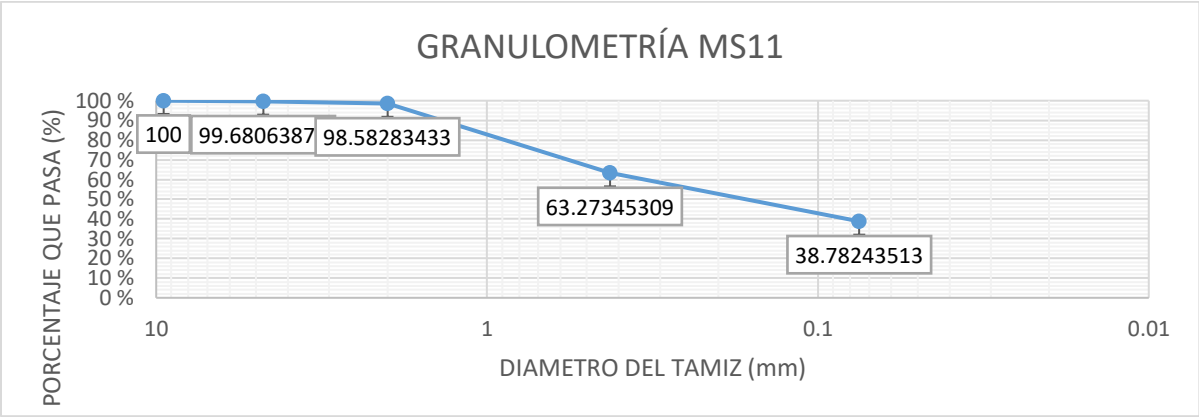


GRANULOMETRÍA

TAMIZ	3"	2"	11/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0.07	0.064	22.52	21.54
RET AC (GR)	0	0	0	0	0	0	0.06645149	0.060755648	21.3783938	20.4480729
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.9335485	99.87279286	78.4943991	58.0463262



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0.32	1.1	35.38	24.54
RET AC (GR)	0	0	0	0	0	0	0.31936128	1.09780439	35.3093812	24.491018
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.6806387	98.5828343	63.2734531	38.7824351



CLASIFICACION SUCS	OH

 LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO H19		
GRAVA	0.00	%
ARENA	42.00	%
FINOS	58.00	%

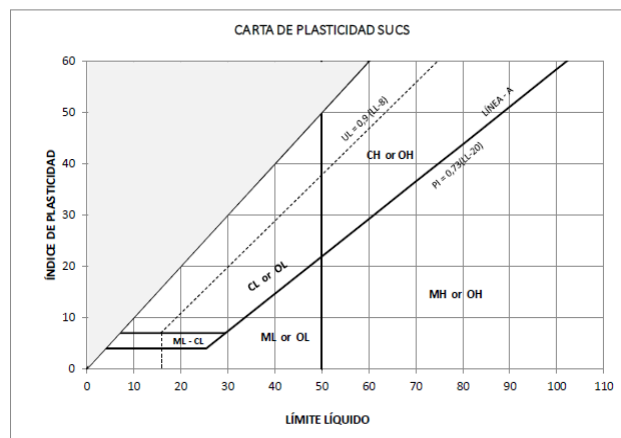
ANALISIS GRANULOMETRICO MS11		
GRAVA	0.00	%
ARENA	61.00	%
FINOS	39.00	%

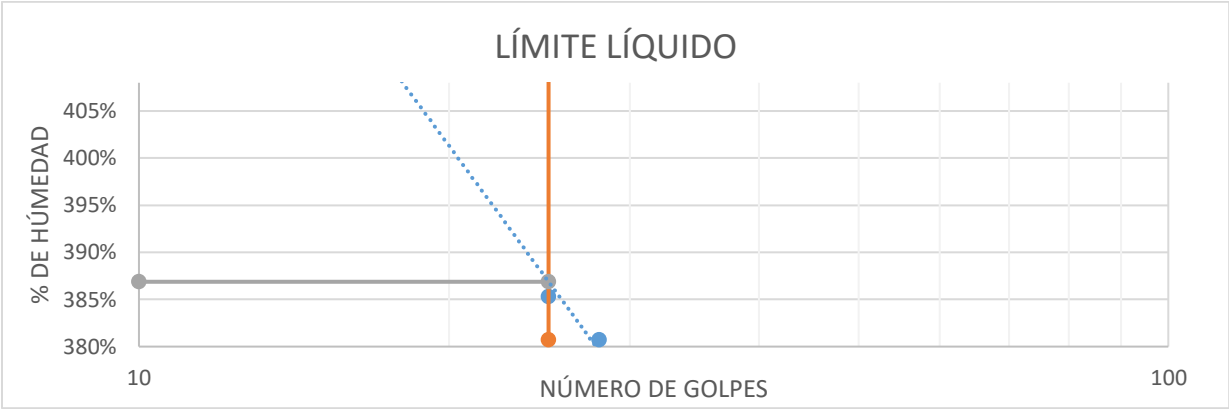
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	14.30-14.45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	13Z	744	702	740	E4	J7
Peso de la capsula (gr)	6.02	6.23	9.22		9.22	6.56
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	16.5	17.44	18.12		18.05	15.37
Peso de la capsula + M.seca (gr)	8.2	8.54	10.97		11.72	8.94
Contenido de humedad (w)%	380.73	385.28	408.57		253.2	270.17
# De golpes	28	25	18			
Promedio					261.69	

Límite Líquido	387
Límite Plástico	262
Índice de plasticidad	125
Contenido de humedad	50

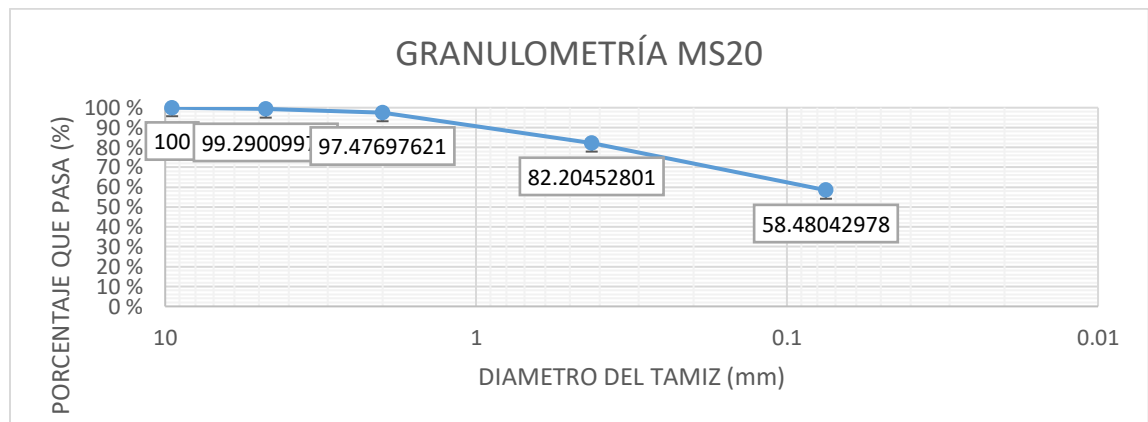
Peso de la capsula (gr)	16.63	17.92
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	55.34	56.86
Peso de la capsula + M.seca (gr)	41.66	44.77
Contenido de humedad (w)%	54.65	45.03
Promedio	49.84	



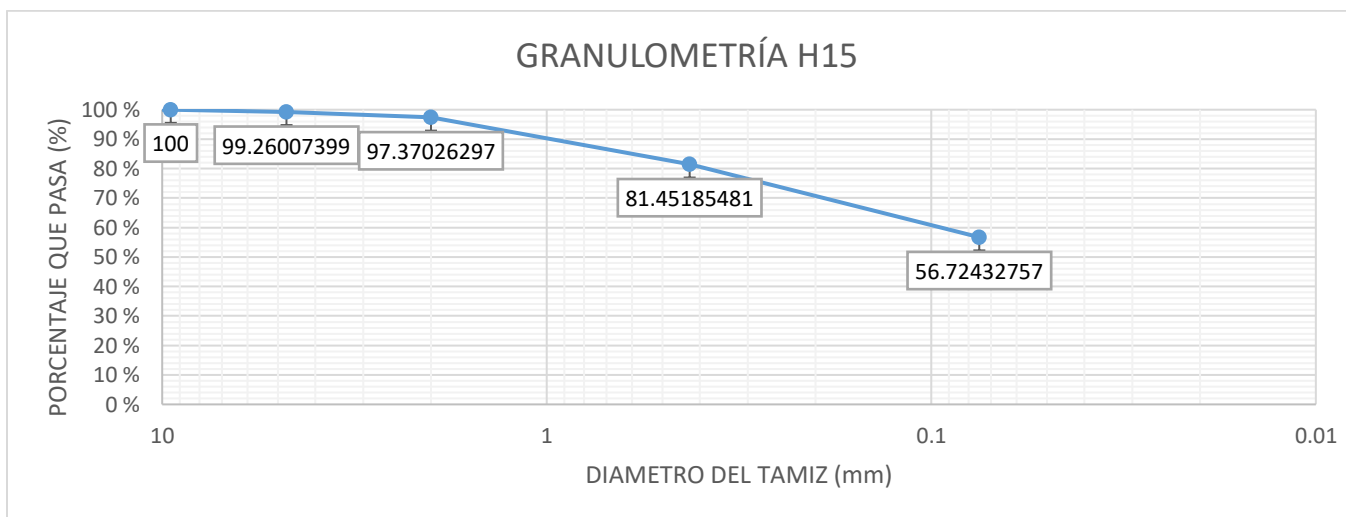


GRANULOEMTRÍA

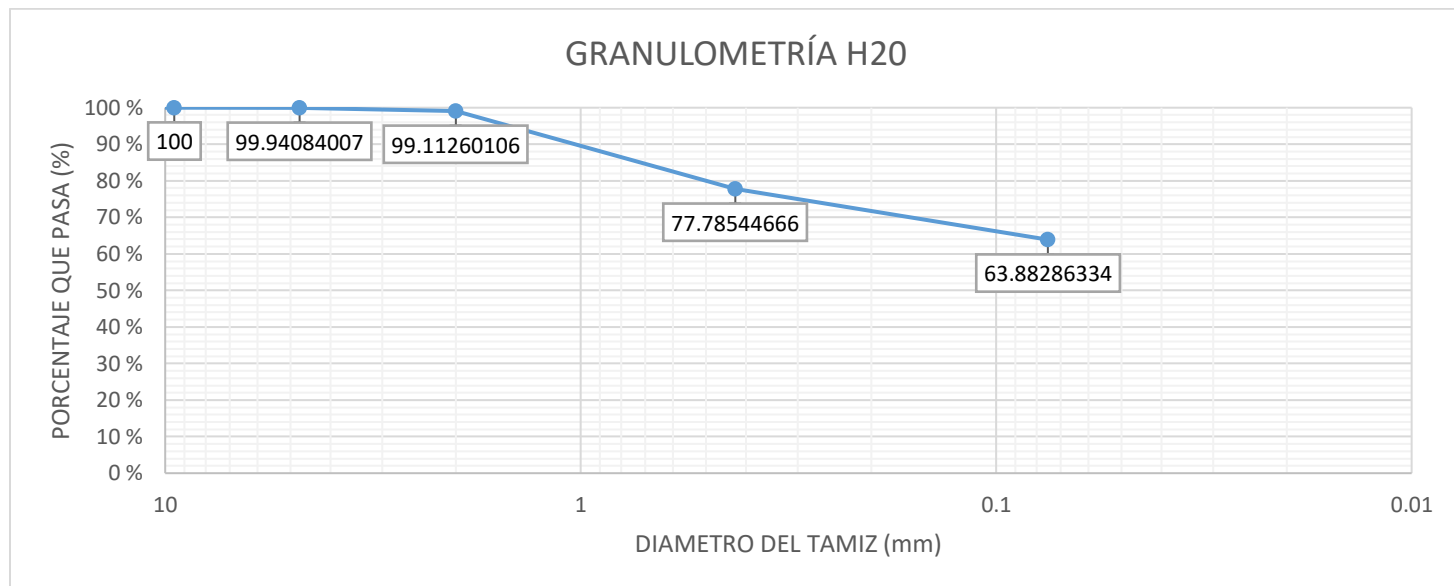
TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0.74	1.89	15.92	24.73
%RET	0	0	0	0	0	0	0.70990023	1.813123561	15.2724482	23.7240982
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.2900998	97.47697621	82.204528	58.4804298



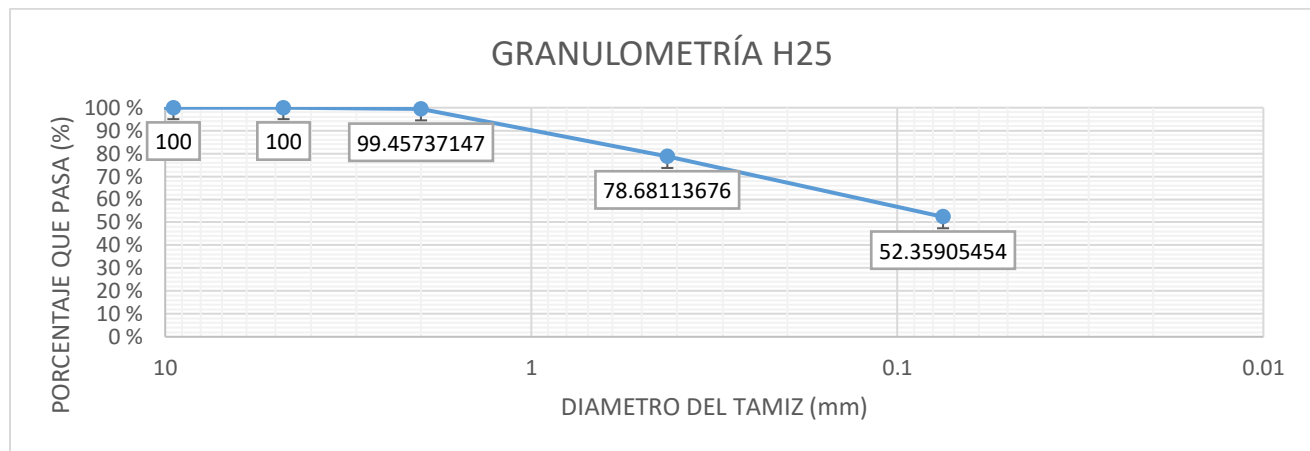
TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0.74	1.89	15.92	24.73
RET AC (GR)	0	0	0	0	0	0	0.73992601	1.88981102	15.9184082	24.7275272
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.260074	97.370263	81.4518548	56.7243276



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0.06	0.84	21.63	14.1
RET AC (GR)	0	0	0	0	0	0	0.05915993	0.828239006	21.3271544	13.9025833
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.9408401	99.11260106	77.7854467	63.8828633



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0.59	22.59	28.62
RET AC (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0.54262853	20.7762347	26.3220822
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.4573715	78.6811368	52.3590545



CLASIFICACION SUCS	OH

LIMO DE ORGANICO ALTA PLASTICIDAD CON ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO MS20		
GRAVA	1.00	%
ARENA	41.00	%
FINOS	58.00	%

ANALISIS GRANULOMETRICO H15		
GRAVA	1.00	%
ARENA	42.00	%
FINOS	57.00	%

ANALISIS GRANULOMETRICO H20		
GRAVA	0.00	%

ARENA	36.00	%
FINOS	64.00	%

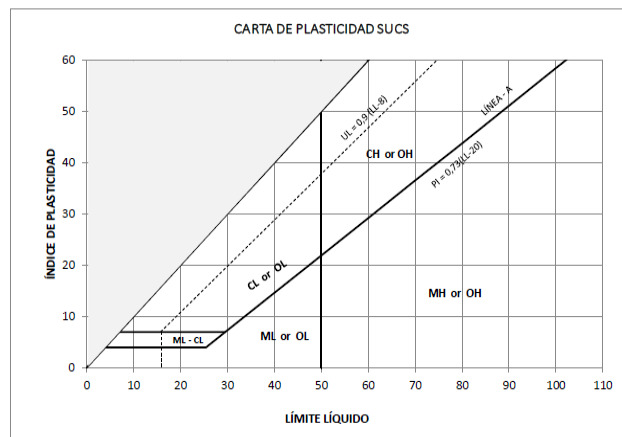
ANALISIS GRANULOMETRICO H25		
GRAVA	0.00	%
ARENA	48.00	%
FINOS	52.00	%

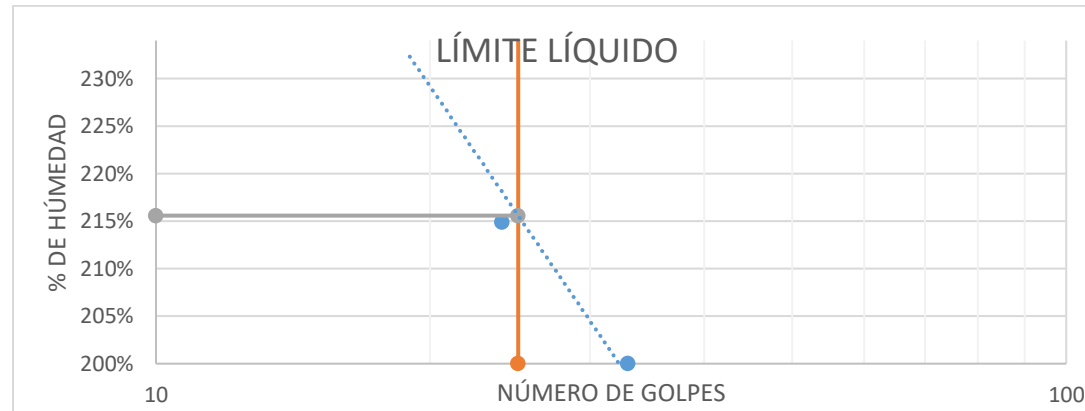
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	15.28-15.45

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	8.43	6.28	6.53		8.67	9.48
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	13.53	11.79	11.91		13.7	14.49
Peso de la capsula + M.seca (gr)	10.13	8.03	8.14		10.98	11.78
Contenido de humedad (w)%	200	214.86	234.16		117.75	117.83
# De golpes	33	24	19			
Promedio					117.79	

Límite Líquido	216
Límite Plástico	118
Índice de plasticidad	98
Contenido de humedad	55

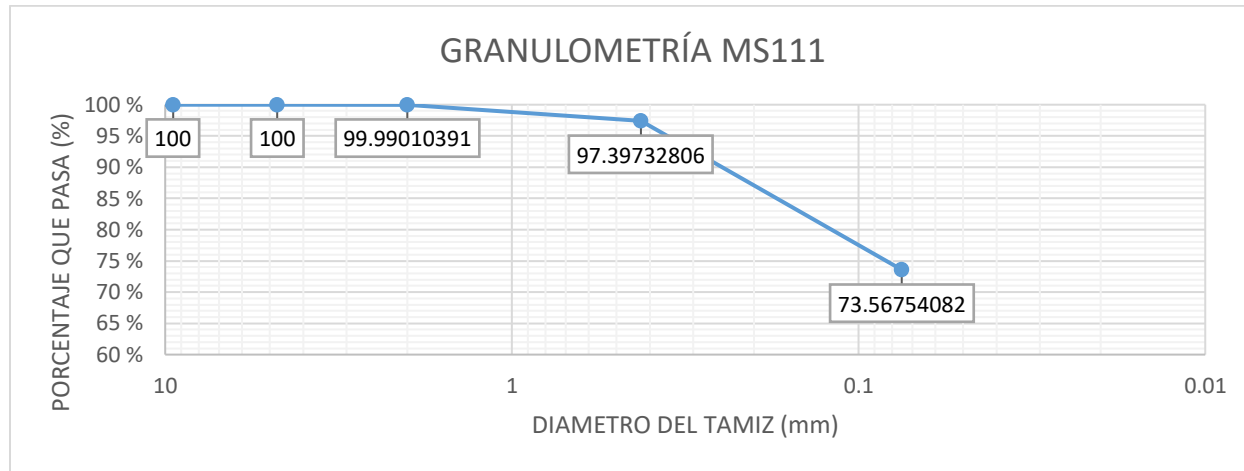
Peso de la capsula (gr)	18.27	17.92
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	45.62	45.29
Peso de la capsula + M.seca (gr)	36.58	34.98
Contenido de humedad (w)%	49.37	60.43
Promedio	54.9	



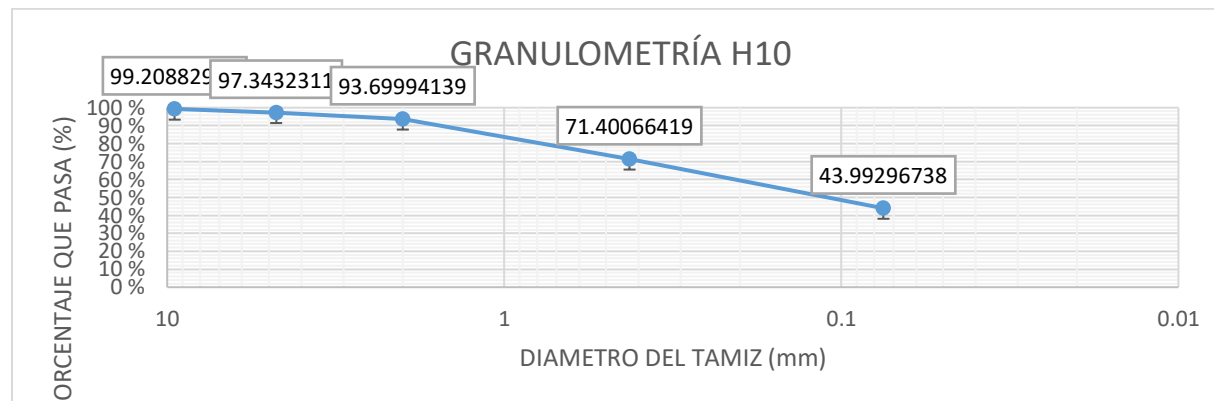


GRANULOMETRÍA

TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0.01	2.62	24.08
RET AC (GR)	0	0	0	0	0	0	0	0.009896091	2.59277585	23.8297872
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.99010391	97.3973281	73.5675408



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0.81	1.91	3.73	22.83	28.06
%RET	0	0	0	0	0	0.79117015	1.86559875	3.64328971	22.2992772	27.4076968
% PASA	100	100	100	100	100	99.2088298	97.3432311	93.6999414	71.4006642	43.9929674



CLASIFICACION SUCS	SM

ARENA LIMOSA CON GRAVA

ANALISIS GRANULOMETRICO MS111		
GRAVA	0.00	%
ARENA	26.00	%
FINOS	74.00	%

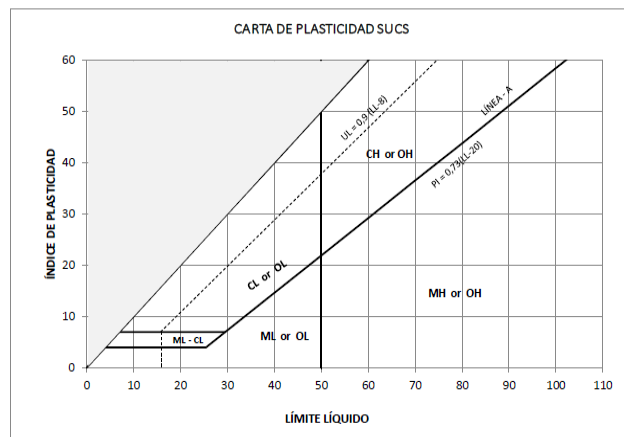
ANALISIS GRANULOMETRICO H10		
GRAVA	3.00	%
ARENA	53.00	%
FINOS	44.00	%

NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	18.15-18.30

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	28z	27z	702	740	703	705
Peso de la capsula (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	0	0	0		0	0
Peso de la capsula + M.seca (gr)	0	0	0		0	0
Contenido de humedad (w)%	0	0	0		0	0
# De golpes	33	24	16			
Promedio					0	

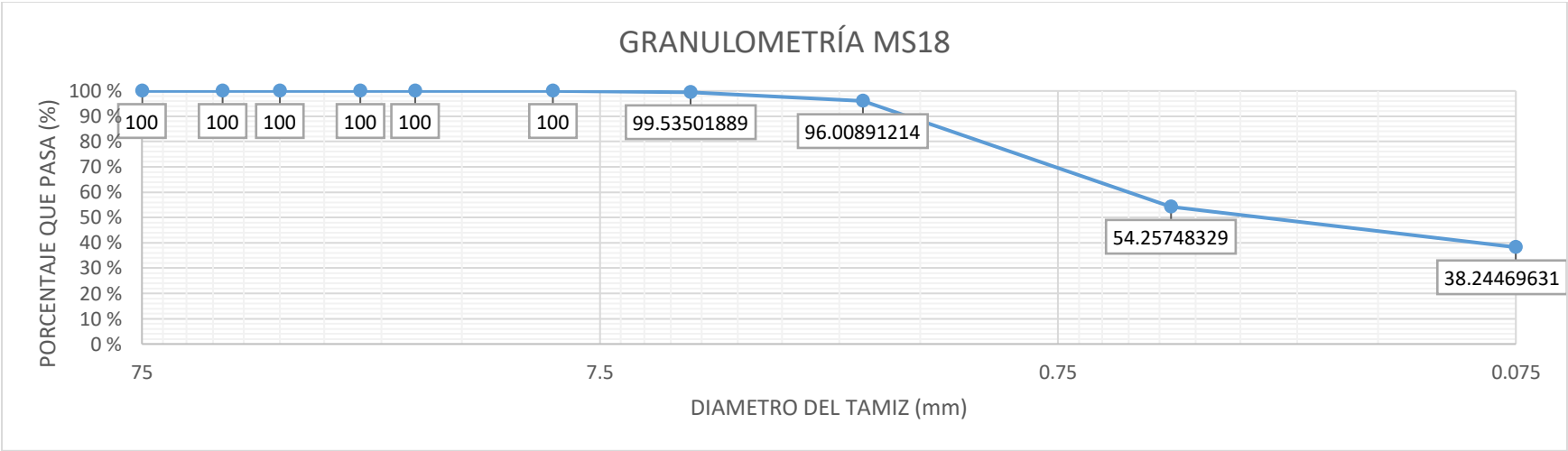
Límite Líquido	MI
Límite Plástico	MI
Índice de plasticidad	MI
Contenido de humedad	127

Peso de la capsula (gr)	17.92	18.26
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	48.23	47.86
Peso de la capsula + M.seca (gr)	31.27	31.26
Contenido de humedad (w)%	127.04	127.69
Promedio	127.37	

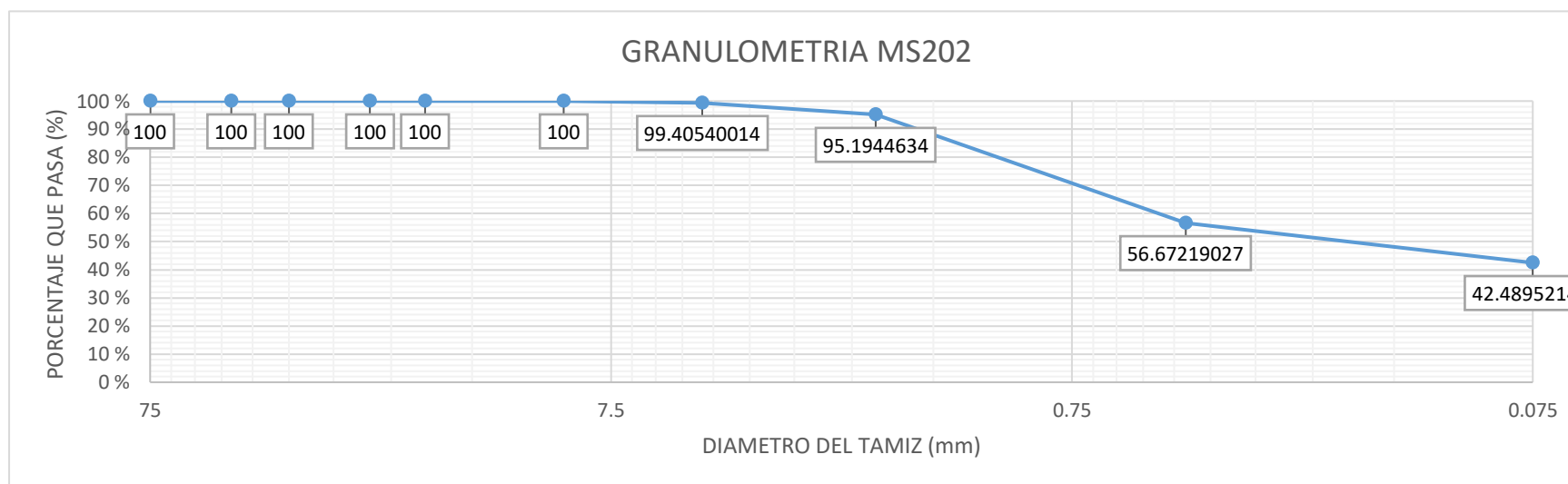


GRANULOEMTRÍA

TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0.48	3.64	43.1	16.53
%RET	0	0	0	0	0	0	0.46498111	3.526106752	41.7514288	16.012787
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.5350189	96.00891214	54.2574833	38.2446963



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0.61	4.32	39.52	14.55
%RET	0	0	0	0	0	0	0.59459986	4.21093674	38.5222731	14.1826689
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.4054001	95.1944634	56.6721903	42.4895214

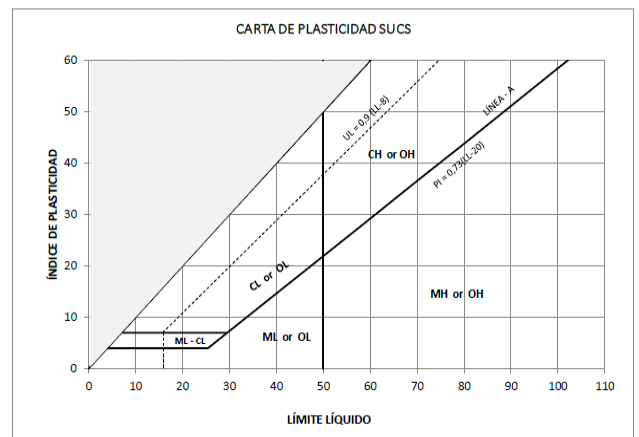


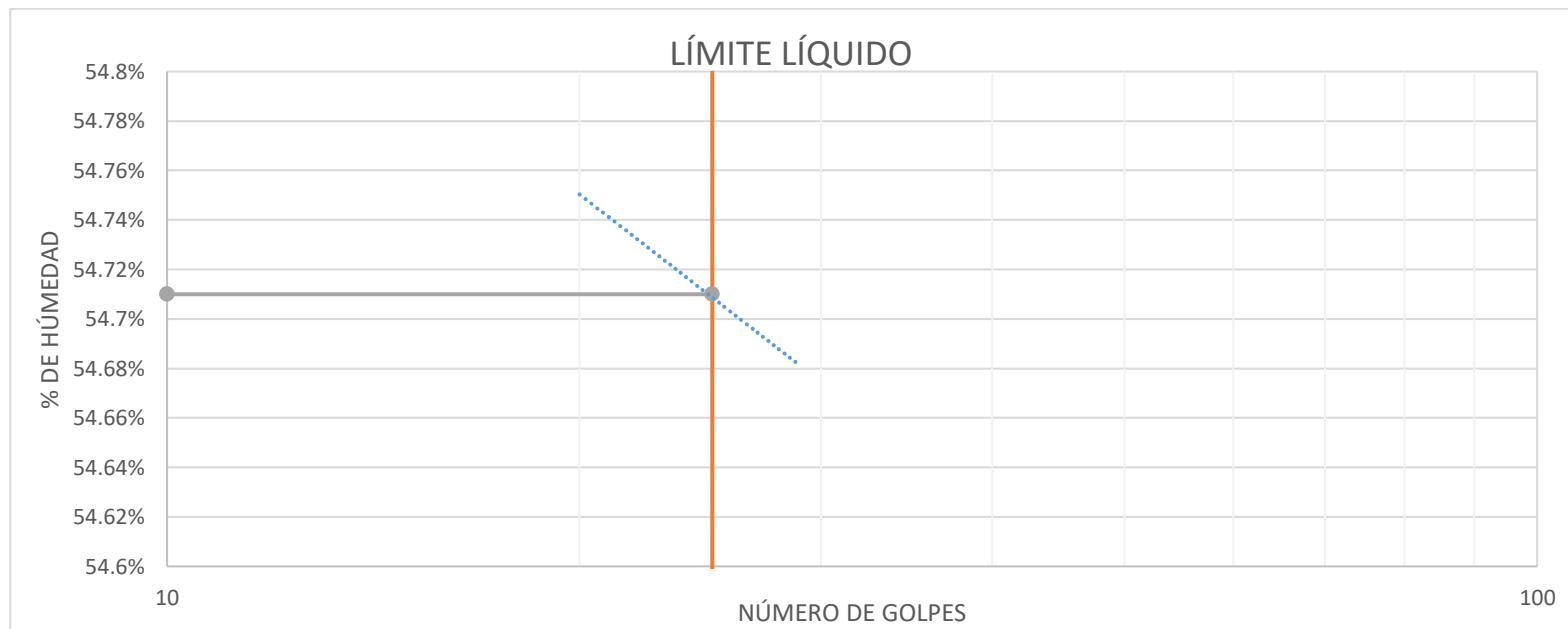
NORMA	ASTM D 2487
PROFUNDIDAD	19-19.15

POZO_0004						
	Límite Líquido				Límite Plástico	
# Ensayo	1	2	3	4	1	2
# Capsula	117	541	112	740	L5	705
Peso de la capsula (gr)	9.34	9.54	9.5		8.54	8.72
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	20.01	17.2	20.16		18.02	18.4
Peso de la capsula + M.seca (gr)	16.15	14.6	16.33		15.5	15.8
Contenido de humedad (w)%	56.68	51.38	56.08		36.21	36.72
# De golpes	29	25	20			
Promedio					36.47	

Límite Líquido	55
Límite Plástico	36
Índice de plasticidad	19
Contenido de humedad	75

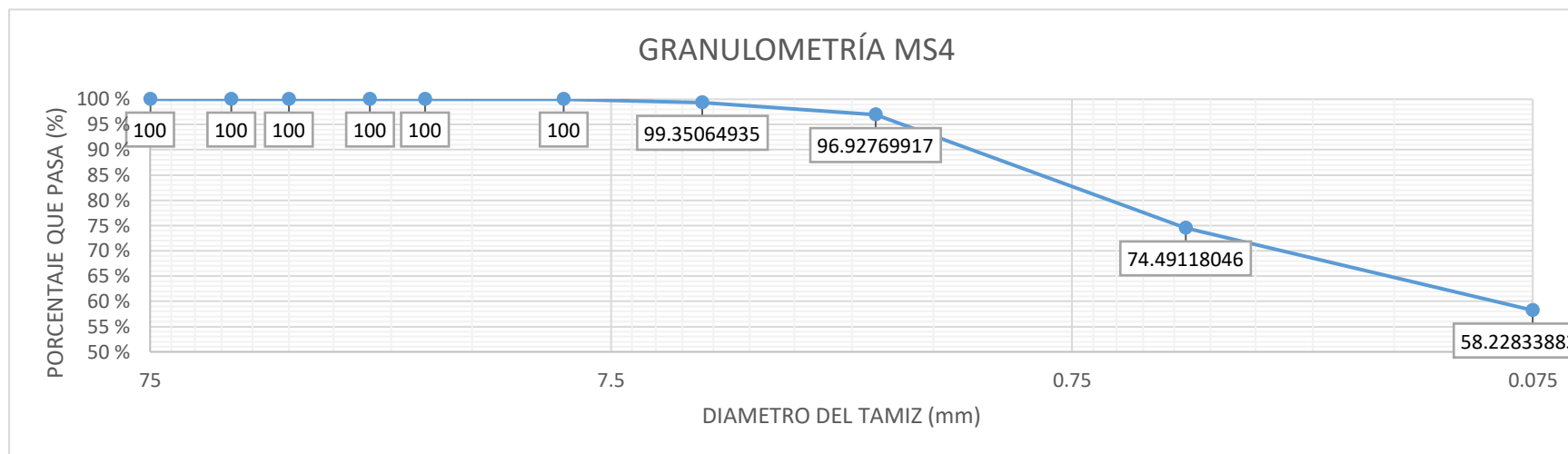
Peso de la capsula (gr)	18.5	17.76
Peso de la capsula + M.humedad (gr)	58.68	57.95
Peso de la capsula + M.seca (gr)	40.7	41.54
Contenido de humedad (w)%	80.99	69.01
Promedio	75	



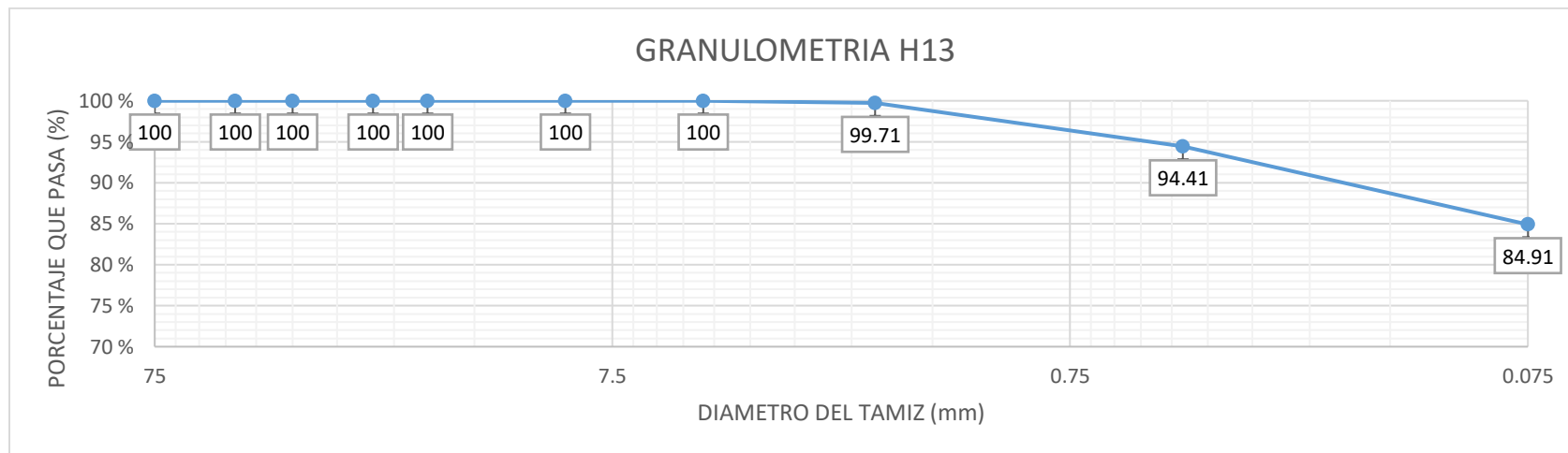


GRANULOEMETRÍA

TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (gr)	0	0	0	0	0	0	0.67	2.5	23.15	16.78
RET AC (gr)	0	0	0	0	0	0	0.64935065	2.422950184	22.4365187	16.2628416
% PASA	100	100	100	100	100	100	99.3506494	96.92769917	74.4911805	58.2283388



TAMIZ	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (MM)	75	50	37.5	25.00	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
RETENIDO (GR)	0	0	0	0	0	0	0.61	4.32	39.52	14.55
%RET	0	0	0	0	0	0	0	0.29	5.3	9.5
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	99.71	94.41	84.91



CLASIFICACION SUCS	MH

LIMO DE ALTA PLASTICIDAD

ANALISIS GRANULOMETRICO MS4		
GRAVA	1.00	%
ARENA	16.00	%
FINOS	83.00	%

ANALISIS GRANULOMETRICO H13		
GRAVA	0.00	%
ARENA	15.00	%
FINOS	85.00	%

ANEXO # 5 CALCULO DEL CONTENIDO ORGÁNICO

PROFUNDIDAD:	2,30-2,40 m
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	49.0900
Peso crisol + suelo seco (gr.)	40.4400
Peso crisol (gr.)	27.1100
Ceniza (%)	39
Contenido orgánico (%)	61

PROFUNDIDAD:	4.10-4,25
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	49.5000
Peso crisol + suelo seco (gr.)	35.2500
Peso crisol (gr.)	28.1200
Ceniza (%)	67
Contenido orgánico (%)	33

PROFUNDIDAD:	5,30-5,45
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	48.9700
Peso crisol + suelo seco (gr.)	32.9800
Peso crisol (gr.)	27.6900
Ceniza (%)	75
Contenido orgánico (%)	25

PROFUNDIDAD:	6,30-6,45
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	46.1000
Peso crisol + suelo seco (gr.)	29.3300

Peso crisol (gr.)	26.0700
Ceniza (%)	84
Contenido orgánico (%)	16

PROFUNDIDAD:	7,0-7,15
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	49.9000
Peso crisol + suelo seco (gr.)	31.4900
Peso crisol (gr.)	28.5200
Ceniza (%)	86
Contenido orgánico (%)	14

PROFUNDIDAD:	8,20-8,40
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	50.2600
Peso crisol + suelo seco (gr.)	32.8000
Peso crisol (gr.)	29.2100
Ceniza (%)	83
Contenido orgánico (%)	17

PROFUNDIDAD:	9,30-9,45
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	47.5600
Peso crisol + suelo seco (gr.)	33.5400
Peso crisol (gr.)	27.0800
Ceniza (%)	68
Contenido orgánico (%)	32

PROFUNDIDAD:	10,00-10,50
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	66.7800
Peso crisol + suelo seco (gr.)	36.3300
Peso crisol (gr.)	31.0400
Ceniza (%)	85
Contenido orgánico (%)	15

PROFUNDIDAD:	12,30-14,45
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	51.4100
Peso crisol + suelo seco (gr.)	33.1800
Peso crisol (gr.)	28.1400
Ceniza (%)	78
Contenido orgánico (%)	22

PROFUNDIDAD:	13,20-13,30
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	71.0500
Peso crisol + suelo seco (gr.)	53.7500
Peso crisol (gr.)	34.8300
Ceniza (%)	48
Contenido orgánico (%)	52

PROFUNDIDAD:	14,15-14,30
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	59.8200
Peso crisol + suelo seco (gr.)	47.0500
Peso crisol (gr.)	27.1100
Ceniza (%)	39
Contenido orgánico (%)	61

PROFUNDIDAD:	15,00-15,15
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	59.3500
Peso crisol + suelo seco (gr.)	47.6700
Peso crisol (gr.)	28.1200
Ceniza (%)	37
Contenido orgánico (%)	63

PROFUNDIDAD:	18,00-18,15
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	64.1800
Peso crisol + suelo seco (gr.)	48.2300
Peso crisol (gr.)	27.6900
Ceniza (%)	44
Contenido orgánico (%)	56

PROFUNDIDAD:	19,00-19,15
NORMA:	ASTM D2974 - 14

Peso crisol + suelo húmedo (gr.)	66.9900
Peso crisol + suelo seco (gr.)	52.6100
Peso crisol (gr.)	26.0700
Ceniza (%)	35
Contenido orgánico (%)	65

ANEXO # 6 CALCULOS DEL GS

CALCULO DE GS

2M

S2		S3		S4	
Peso cap	106.77	Peso cap	107.47	Peso cap	107.04
Peso cap + Ss	157.39	Peso cap + Ss	157.43	Peso cap + Ss	157.85
Ms (Suelo seco)	50.62	suelo seco	49.96	suelo seco	50.81
masa + masa picnómetro	648.285	masa + masa picnómetro	642.47	masa + masa picnómetro	649.15
masa pic + sh + agua	678.28	masa pic + sh + agua	672.04	masa pic + sh + agua	679.08
temperatura	21.5	temperatura	21.4	temperatura	21
k	0.99789	k	0.99791	K	0.99799
	2.454303		2.450220		2.433429
gt	03	gt	7	Gt	12
	2.449124		2.445099		2.428537
gs	45	gs	74	Gs	93

GS Prome	2.44

CALCULO DE GS

3,95-
4,15

S2		S3		S4	
Peso cap	106.25	Peso cap	105.31	Peso cap	313.9
Peso cap + Ss	191.03	Peso cap + Ss	202.05	Peso cap + Ss	397.07
Ms (Suelo seco)	84.78	suelo seco	96.74	suelo seco	83.17
masa + masa picnómetro	648.3	masa + masa picnómetro	642.41	masa + masa picnómetro	649.16
masa pic + sh + agua	698.24	masa pic + sh + agua	697.4	masa pic + sh + agua	697.39
temperatura	21.4	temperatura	22	temperatura	20.9
k	0.99791	k	0.99777	k	0.99802
	2.43340		2.31712		2.38036
gt	987	gt	575	gt	634
	2.42832		2.31195		2.37565
gs	405	gs	856	gs	322

GS Prome	2.37

CALCULO DE 5.15-
GS 5.30

S2		S3		S4	
Peso cap	105.65	Peso cap	104.33	Peso cap	107.68
Peso cap + Ss	141.72	Peso cap + Ss	140.98	Peso cap + Ss	143.68
Ms (Suelo seco)	36.07	suelo seco	36.65	MS (suelo seco)	36
masa + masa picnómetro	648.08	masa + masa picnómetro	642.48	masa + masa picnómetro	649.14
masa pic + sh + agua	668.65	masa pic + sh + agua	663.72	masa pic + sh + agua	669.11
temperatura	23.4	temperatura	21.3	temperatura	21.1
k	0.99745	k	0.99793	k	0.99797
	2.327096		2.378325		2.245789
gt	77	gt	76	gt	15
	2.321162		2.373402		2.241230
gs	68	gs	63	gs	19

GS Prome	2.31

CALCULO DE 6,30-
GS 6,52

S2		S3		S4	
Peso cap	110.93	Peso cap	106.95	Peso cap	109.69
Peso cap + Ss	235.02	Peso cap + Ss	257.3	Peso cap + Ss	236.78
Ms (Suelo seco)	124.09	suelo seco	150.35	suelo seco	127.09
masa + masa picnómetro	648.32	masa + masa picnómetro	642.52	masa + masa picnómetro	649.14
masa pic + sh + agua	661.39	masa pic + sh + agua	654.53	masa pic + sh + agua	662.09
temperatura	21.3	temperatura	20.9	temperatura	21
k	0.99793	k	0.99802	k	0.99799

gt	1.11772 654	gt	1.08681 509	gt	1.11345 716
gs	1.11541 284	gs	1.08466 32	gs	1.11121 911

S2	
Peso cap	207.71
Peso cap + Ss	247.62
Ms (Suelo seco)	39.91
masa + masa picnómetro	648.51
masa pic + sh + agua	668.4
temperatura	20
k	0.99821
gt	1.99350 649
gs	1.98993 812

GS Prome	1.33

CALCULO DE 7,15-
GS 7,30

S2		S3		S4	
Peso cap	315.03	Peso cap	104.88	Peso cap	106.75
Peso cap + Ss	397.07	Peso cap + Ss	202.05	Peso cap + Ss	235.02
Ms (Suelo seco)	82.04	suelo seco	97.17	suelo seco	128.27
masa + masa picnómetro	648.29	masa + masa picnómetro	642.52	masa + masa picnómetro	649.16

masa pic + sh + agua	668.08	masa pic + sh + agua	665.28	masa pic + sh + agua	670.69
temperatura	21.5	temperatura	20.9	temperatura	20
k	0.99789	k	0.99802	k	0.99821
gt	1.31791 165	gt	1.30587 287	gt	1.20170 508
gs	1.31513 085	gs	1.30328 724	gs	1.19955 403

S3	
Peso cap	202.4
Peso cap + Ss	225.61
suelo seco	23.21
masa + masa picnómetro	642.6025
masa pic + sh + agua	654.28
temperatura	20
k	0.99821
gt	2.012573 16
gs	2.008970 66
GS Prome	1.46

CALCULO DE 8.30-
GS 8.45

S2		S3		S4	
Peso cap	110.89	Peso cap	106.51	Peso cap	105.61
Peso cap + Ss	141.38	Peso cap + Ss	130.23	Peso cap + Ss	131.3

Ms (Suelo seco)	30.49	suelo seco	23.72	MS (suelo seco)	25.69
masa + masa picnómetro	648.2	masa + masa picnómetro	642.5	masa + masa picnómetro	649.18
masa pic + sh + agua	665.3	masa pic + sh + agua	654.56	masa pic + sh + agua	662.74
temperatura	22.1	temperatura	21.1	temperatura	20.7
k	0.99775	k	0.99797	k	0.99806
	2.277072		2.034305		2.117889
gt	44	gt	32	gt	53
	2.271949		2.030175		2.113780
gs	03	gs	68	gs	82

GS Prome	2.14

CALCULO DE 9,30-
GS 9,45

S2		S3		S4	
Peso cap	104.34	Peso cap	106.77	Peso cap	107.73
Peso cap + Ss	185.95	Peso cap + Ss	257.3	Peso cap + Ss	172.88
Ms (Suelo seco)	81.61	suelo seco	150.53	suelo seco	65.15
masa + masa picnómetro	648.36	masa + masa picnómetro	642.47	masa + masa picnómetro	649.07
masa pic + sh + agua	685.73	masa pic + sh + agua	682.62	masa pic + sh + agua	684.11
temperatura	21	temperatura	21.4	temperatura	21.8
k	0.99799	k	0.99791	k	0.99782
	1.844710		1.363743		2.163732
gt	67	gt	43	gt	98
	1.841002		1.360893		2.159016
gs	8	gs	21	gs	04

GS Prome	1.79

CALCULO DE 12,15-
GS 12,50

S2		S3		S4	
Peso cap	110.39	Peso cap	307.24	Peso cap	106.52
Peso cap + Ss	206.7	Peso cap + Ss	388.72	Peso cap + Ss	210.4
Ms (Suelo seco)	96.31	suelo seco	81.48	suelo seco	103.88
masa + masa picnómetro	648.4	masa + masa picnómetro	642.43	masa + masa picnómetro	649.25
masa pic + sh + agua	698.25	masa pic + sh + agua	690.09	masa pic + sh + agua	703
temperatura	20.8	temperatura	21.8	temperatura	20
k	0.99804	k	0.99782	k	0.99821
	2.072965		2.409225		2.072212
gt	99	gt	31	gt	25
	2.068902		2.403973		2.068502
gs	98	gs	2	gs	99

GS Prome	2.18

CALCULO DE 13,00-
GS 13,15

S2		S3		S4	
Peso cap	360.76	Peso cap	110.87	Peso cap	109.88
Peso cap + Ss	482.24	Peso cap + Ss	240.46	Peso cap + Ss	236.78
Ms (Suelo seco)	121.48	suelo seco	129.59	suelo seco	126.9
masa + masa picnómetro	648.29	masa + masa picnómetro	642.52	masa + masa picnómetro	649.06
masa pic + sh + agua	718.13	masa pic + sh + agua	722.45	masa pic + sh + agua	727.4
temperatura	21.5	temperatura	20.9	temperatura	21.9
k	0.99789	k	0.99802	k	0.9978
	2.352439		2.609544		2.613261
gt	97	gt	91	gt	94
	2.347476		2.604378		2.607512
gs	32	gs	01	gs	77

GS Prome	2.52

CALCULO DE 14,00-
GS 14,15

S2		S3		S4	
Peso cap	237.45	Peso cap	189.78	Peso cap	215
Peso cap + Ss	309.98	Peso cap + Ss	264.59	Peso cap + Ss	286.89
Ms (Suelo seco)	72.53	suelo seco	74.81	suelo seco	71.89
masa + masa picnómetro	648.26	masa + masa picnómetro	642.51	masa + masa picnómetro	649.15
masa pic + sh + agua	692.2	masa pic + sh + agua	687.35	masa pic + sh + agua	692.93
temperatura	21.7	temperatura	21	temperatura	21
k	0.99784	k	0.99791	k	0.99799
	2.536901		2.496162		2.557452
gt	01	gt	83	gt	86
	2.531421		2.490945		2.552312
gs	31	gs	85	gs	38

GS Prome	2.52

CALCULO DE 15,00-
GS 15,15

S2		S3		S4	
Peso cap	107.25	Peso cap	107.97	Peso cap	208.31
Peso cap + Ss	200.67	Peso cap + Ss	215.9	Peso cap + Ss	302.81
Ms (Suelo seco)	93.42	suelo seco	107.93	suelo seco	94.5
masa + masa picnómetro	648.47	masa + masa picnómetro	642.6	masa + masa picnómetro	649.15
masa pic + sh + agua	705.83	masa pic + sh + agua	709.34	masa pic + sh + agua	708.9
temperatura	20.3	temperatura	20	temperatura	21
k	0.99814	k	0.99821	k	0.99799
	2.590682		2.620296		2.719424
gt	2	gt	19	gt	46
	2.585863		2.615605		2.713958
gs	53	gs	86	gs	42

GS Prome	2.64

CALCULO DE GS

18,15-18,30

S2		S3		S4	
Peso cap	208.4	Peso cap	203.99	Peso cap	202.64
Peso cap + Ss	279.57	Peso cap + Ss	279.19	Peso cap + Ss	278.15
Ms (Suelo seco)	71.17	suelo seco	75.2	suelo seco	75.51
masa + masa picnómetro	648.51	masa + masa picnómetro	642.6	masa + masa picnómetro	649.25
masa pic + sh + agua	692.4	masa pic + sh + agua	688.74	masa pic + sh + agua	695.68
temperatura	20	temperatura	20	temperatura	20
k	0.99821	k	0.99821	k	0.99821
	2.60887		2.58774		2.59662
gt	097	gt	948	gt	999
	2.60420		2.58311		2.59198
gs	109	gs	741	gs	202

GS Prome	2.59

CALCULO DE GS

19,30-

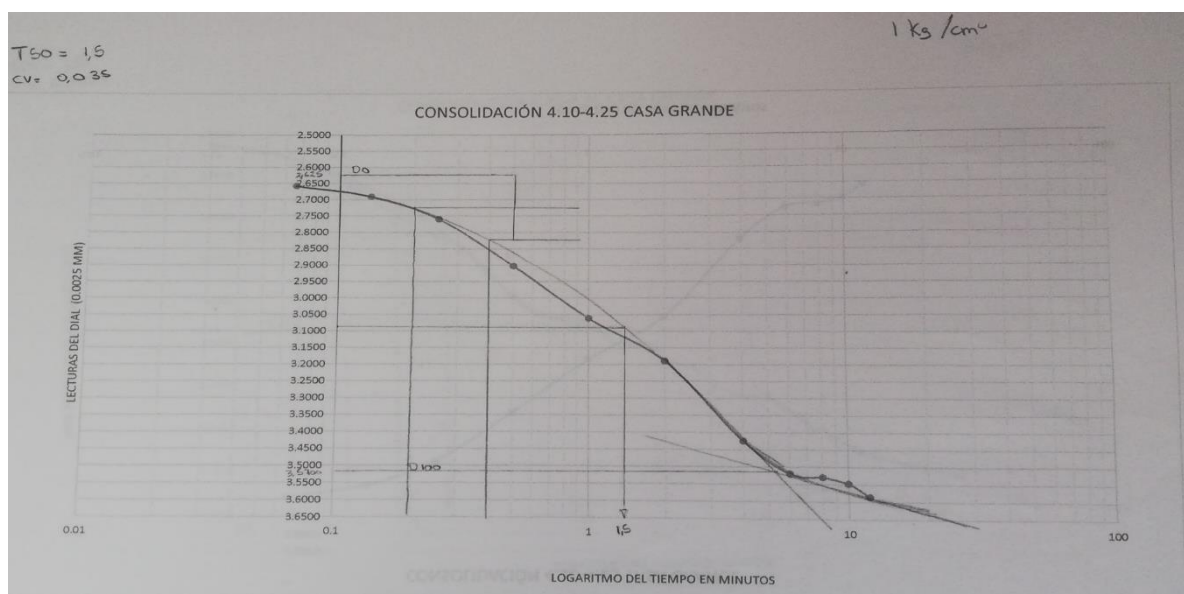
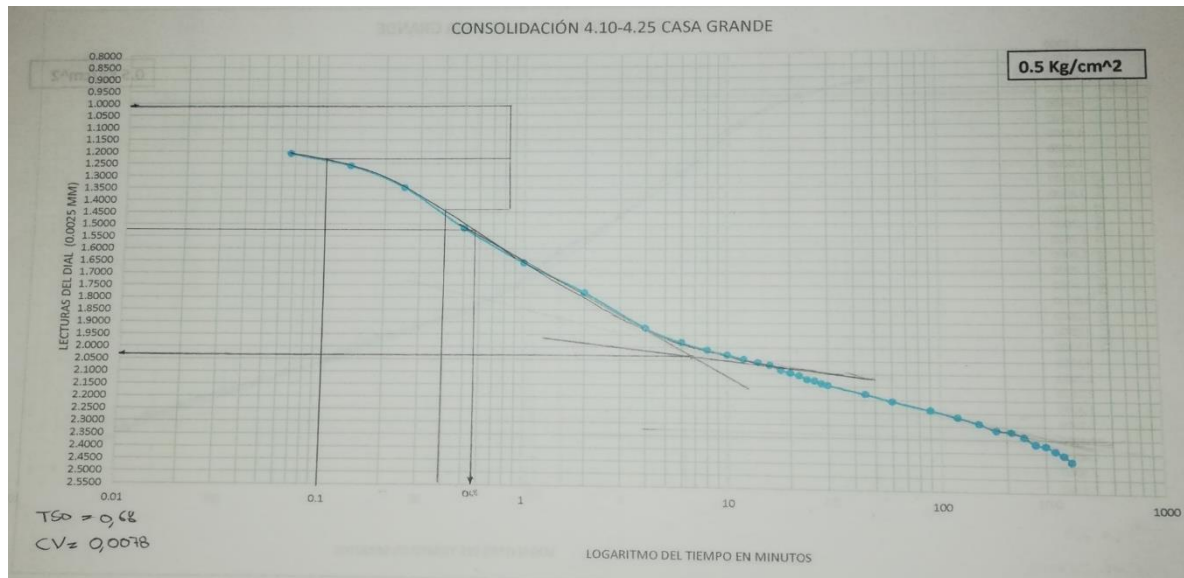
19,45

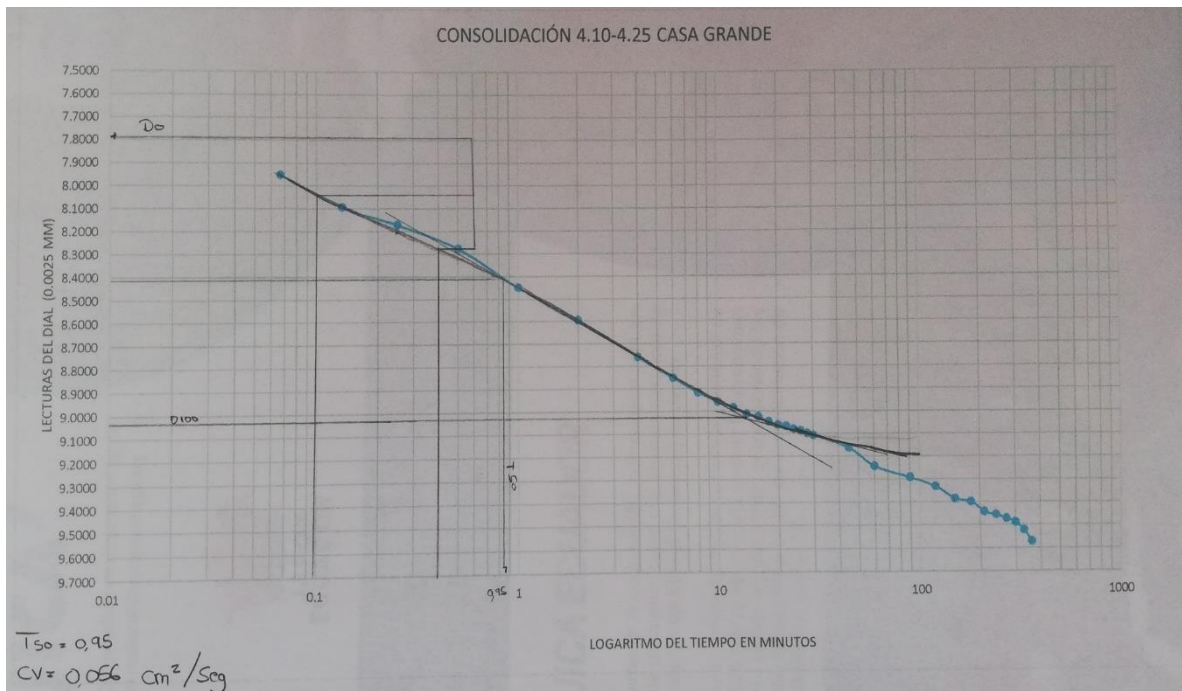
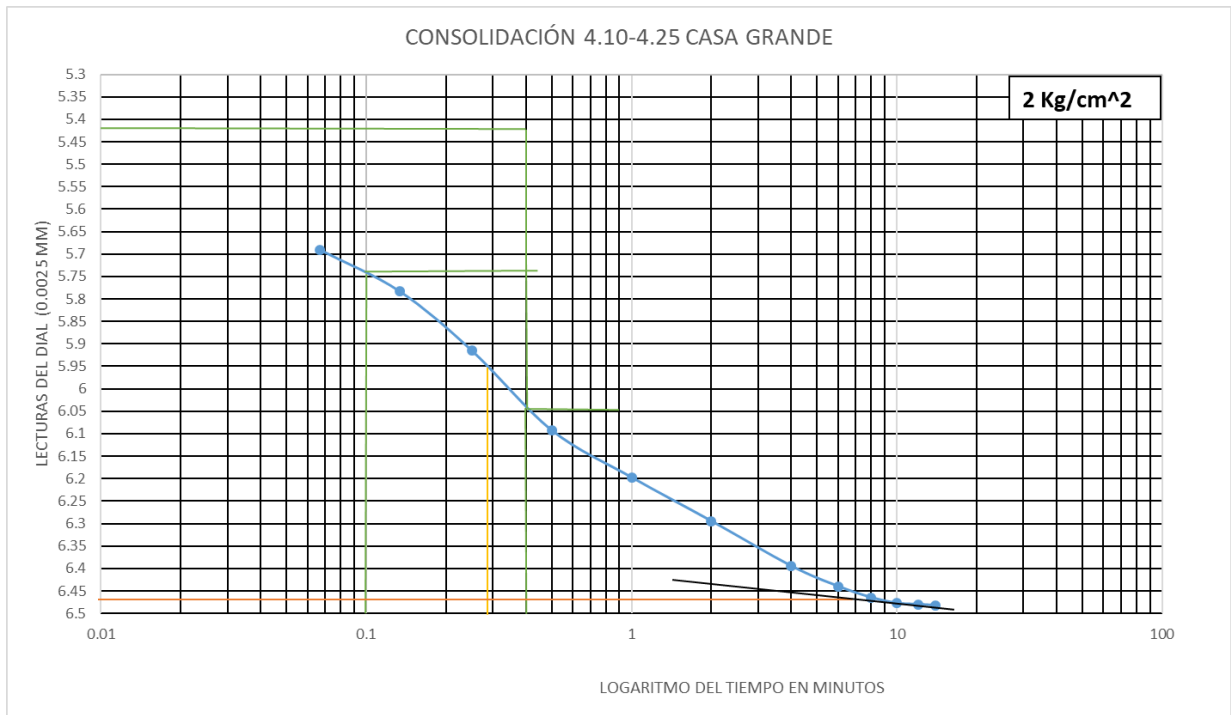
S4	
Peso cap	214.9
Peso cap + Ss	289.94
Ms (Suelo seco)	75.04
masa + masa picnómetro	649.15
masa pic + sh + agua	694.5
temperatura	21
k	0.99793
gt	2.52745032
gs	2.5222185

GS Prome	2.52

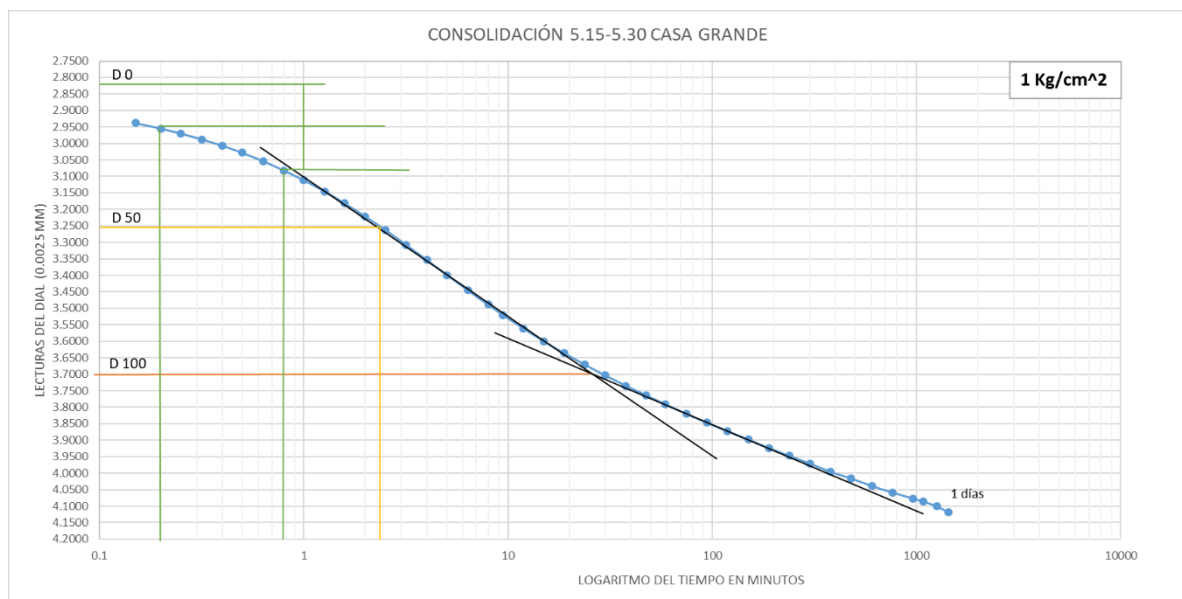
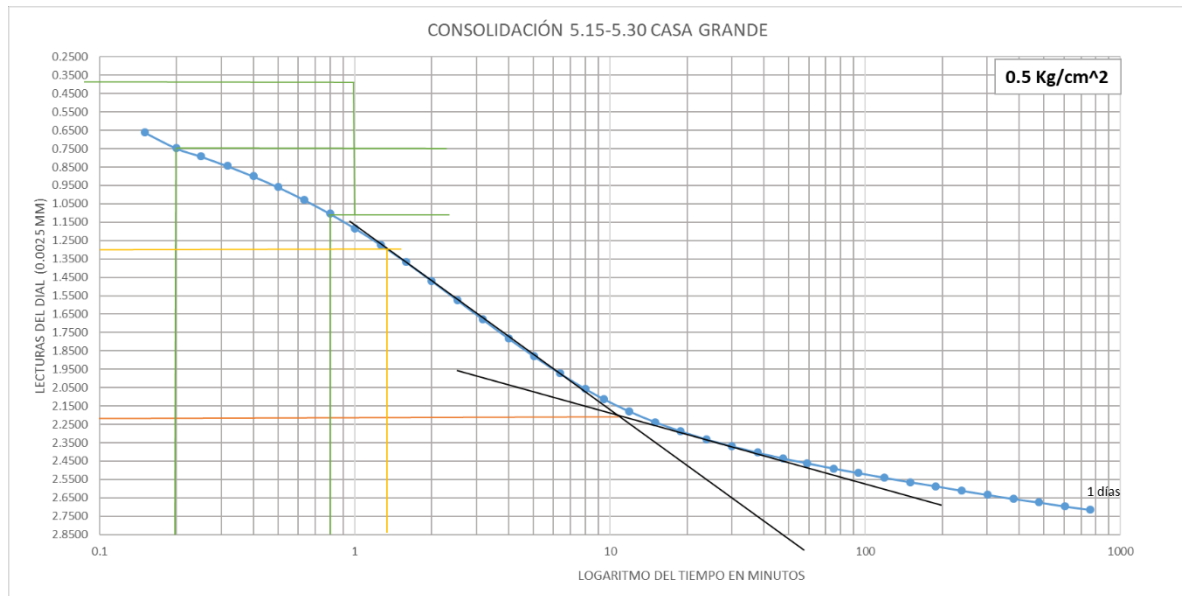
ANEXO # 7 CURVAS DE CONSOLIDACIÓN

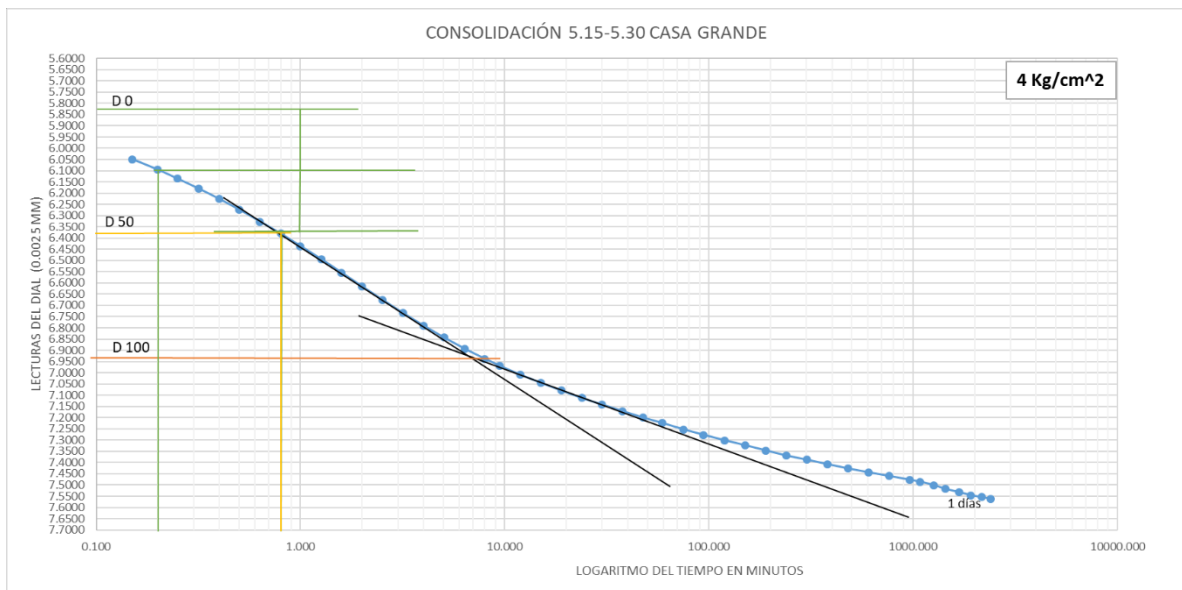
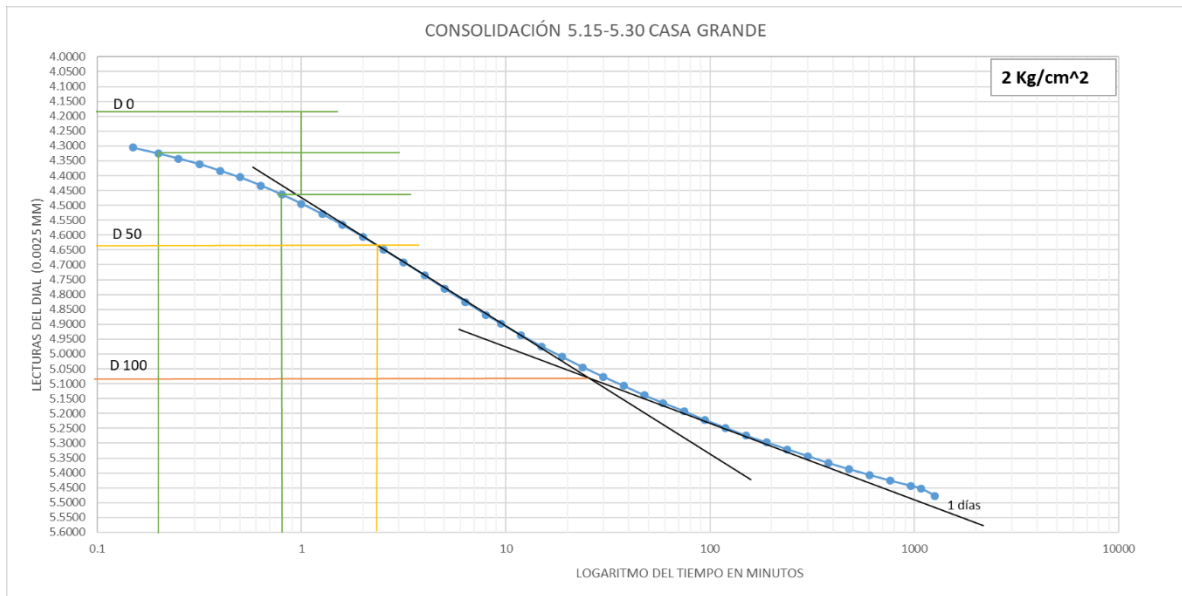
METRO 4



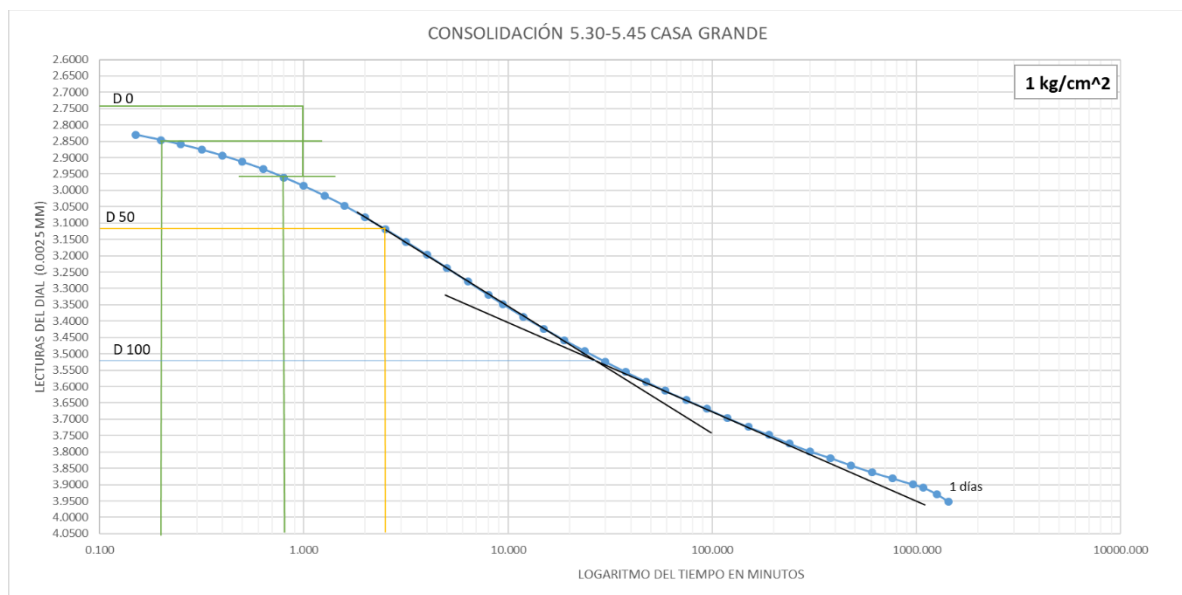
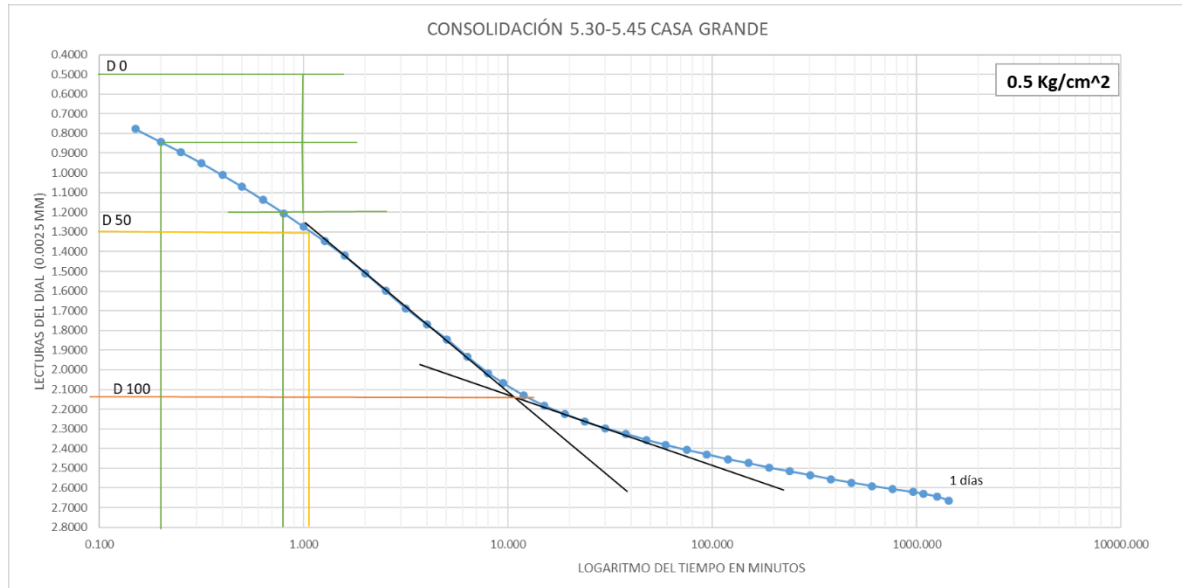


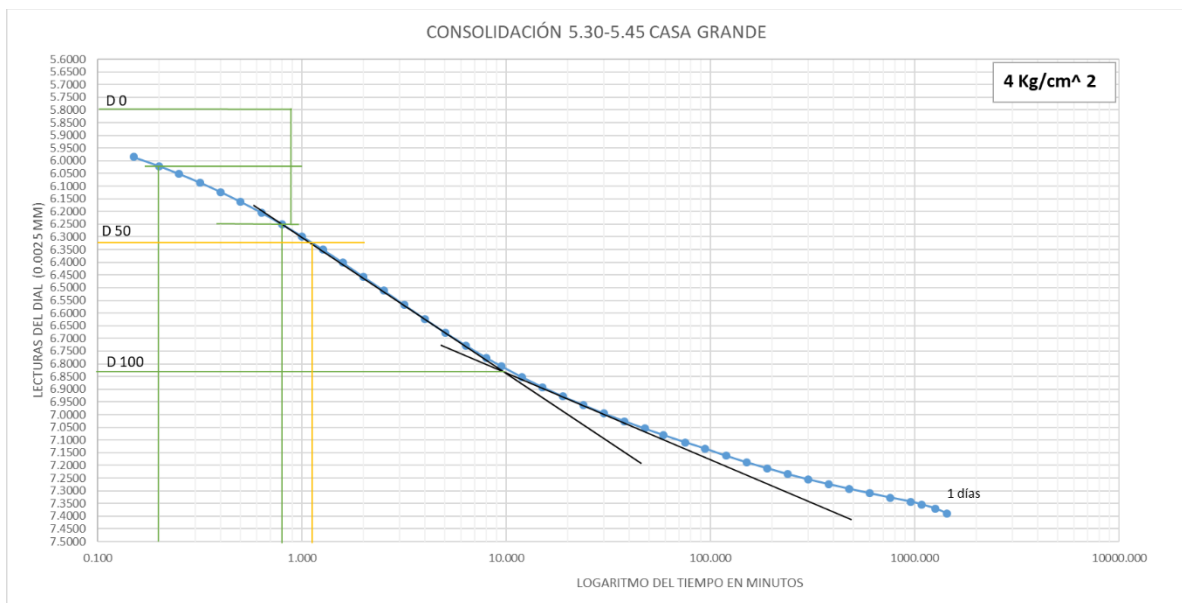
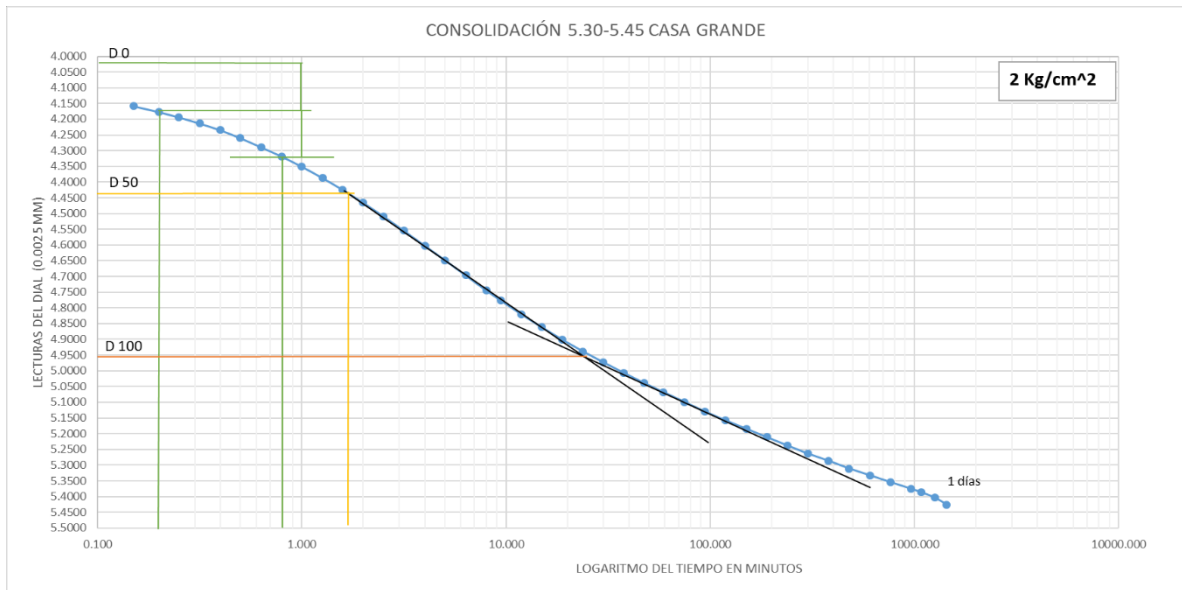
METRO 5 PROBETA 1

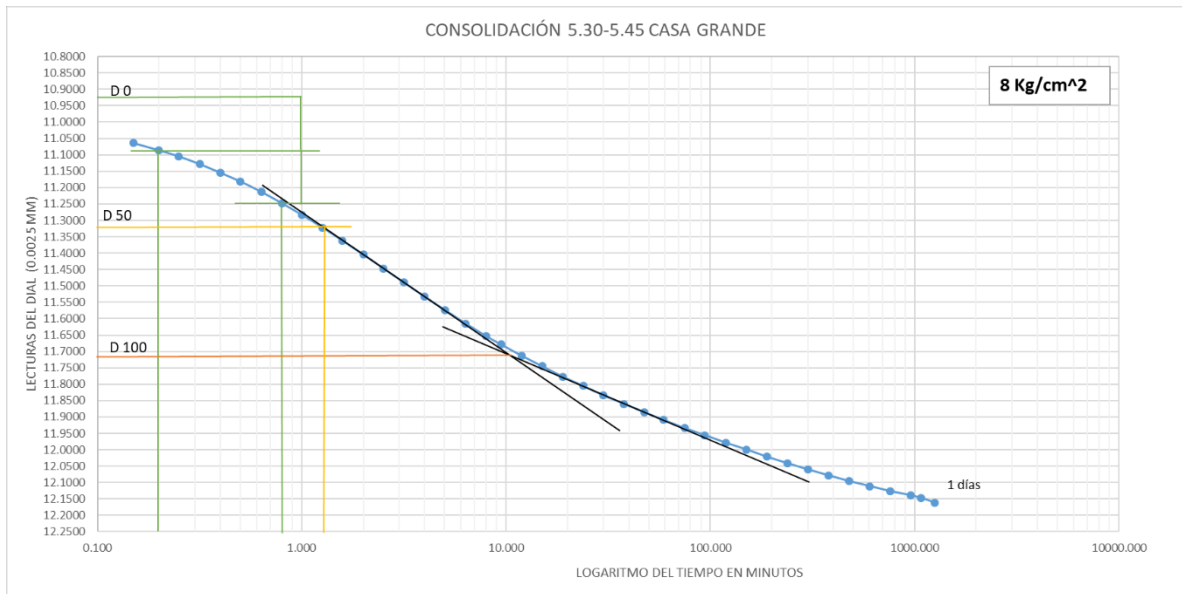




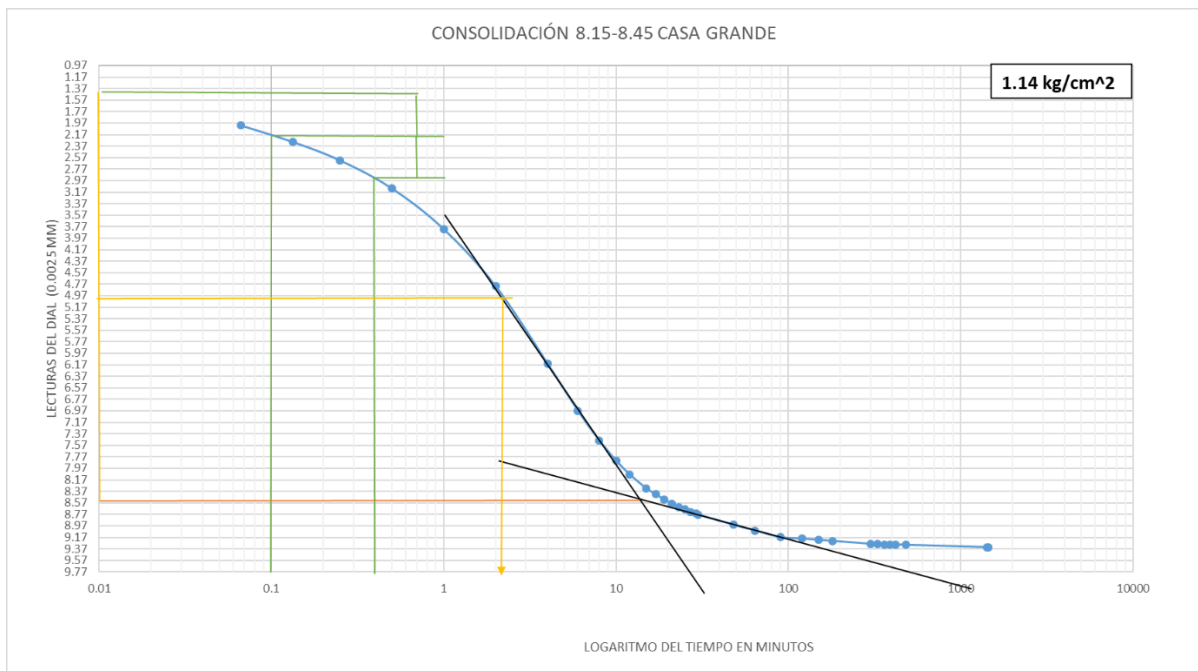
METRO 5 PROBETA 2

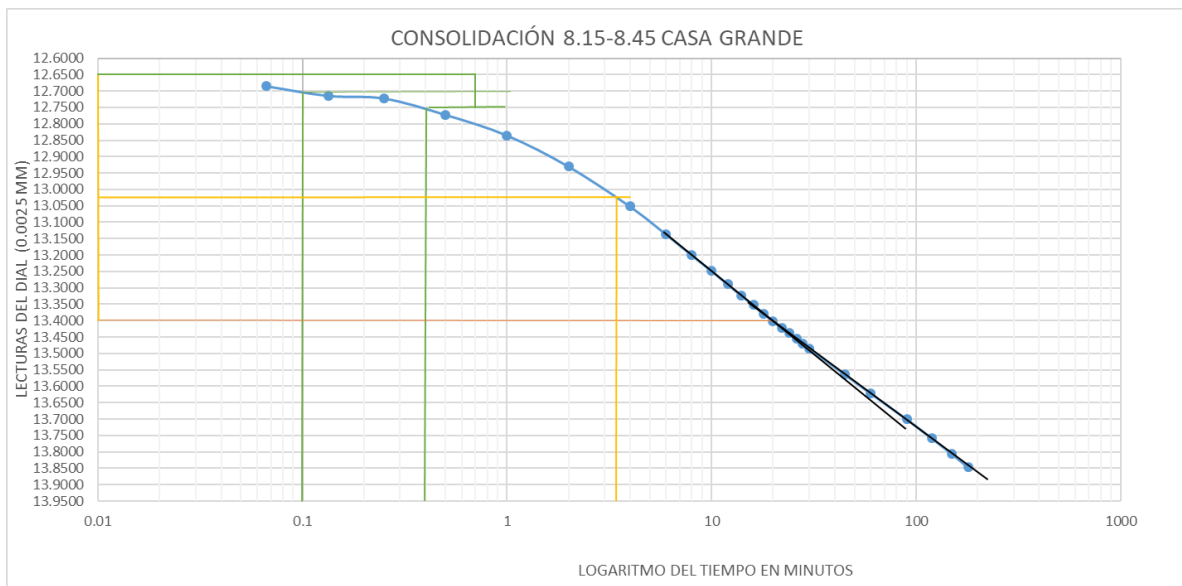


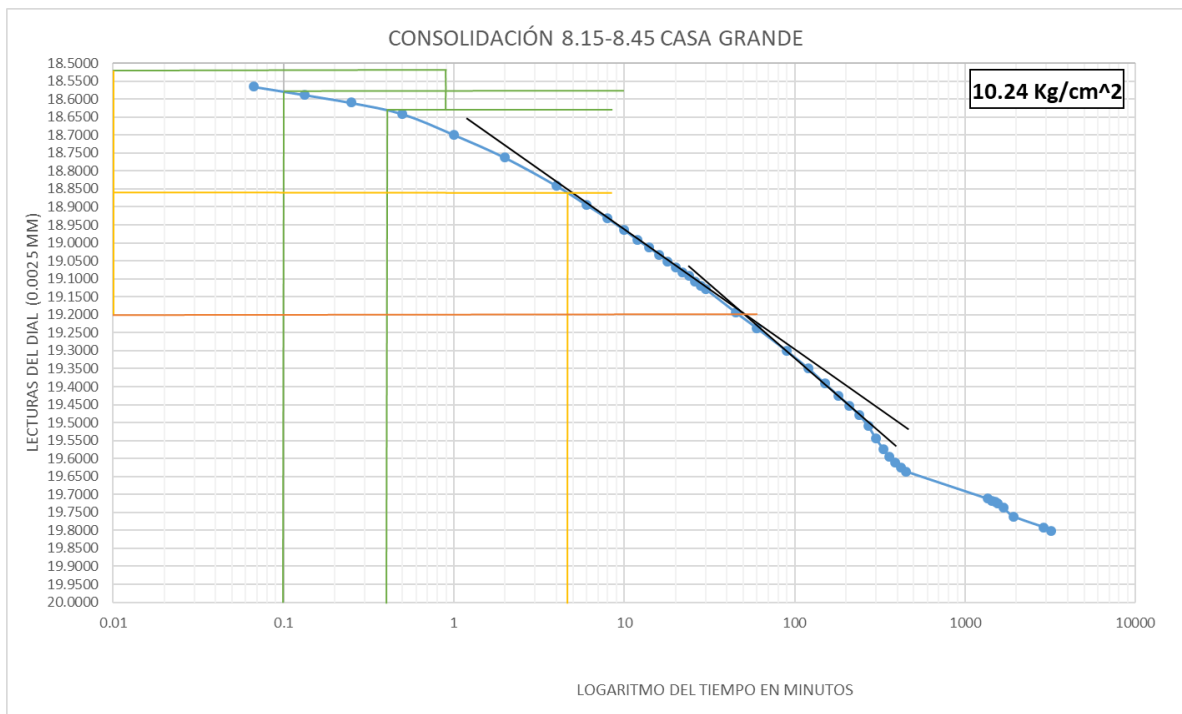
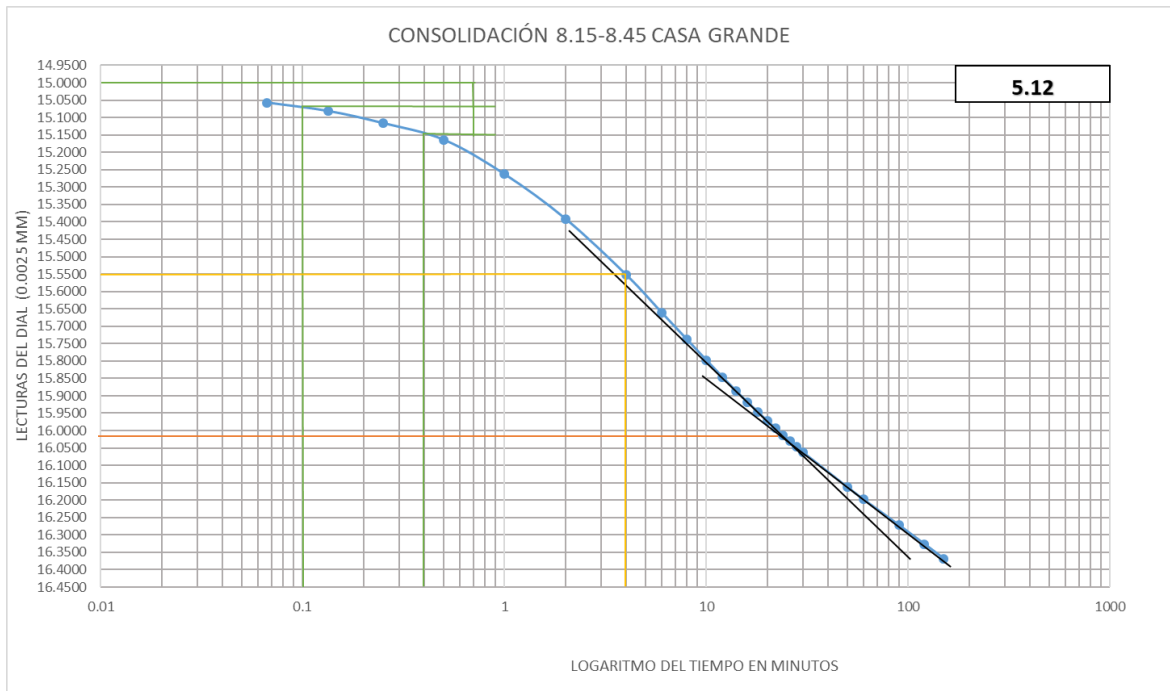




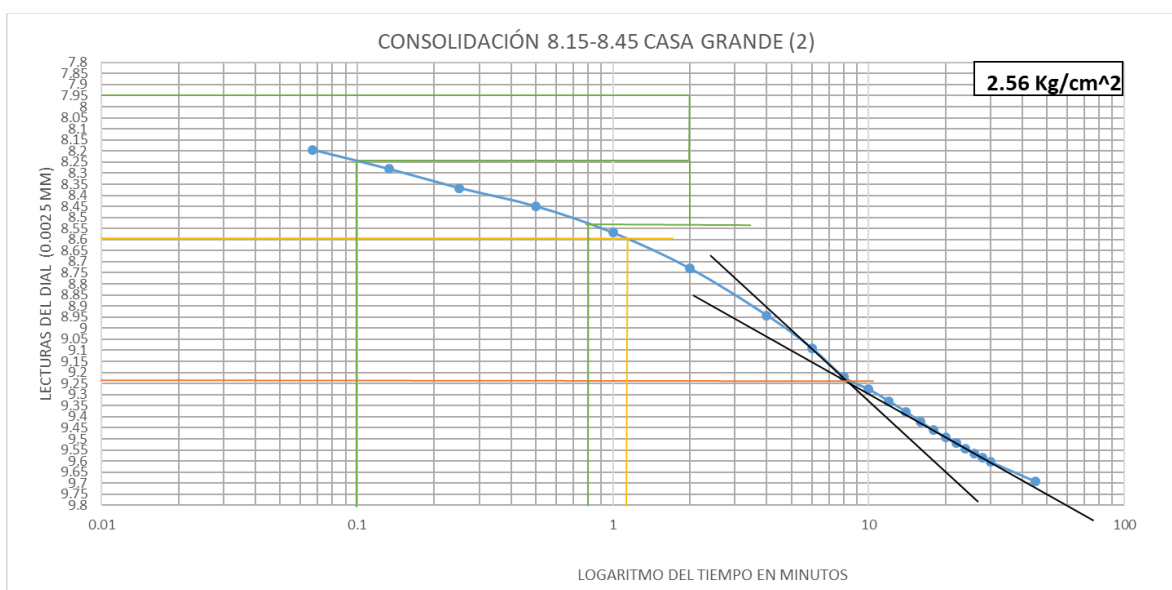
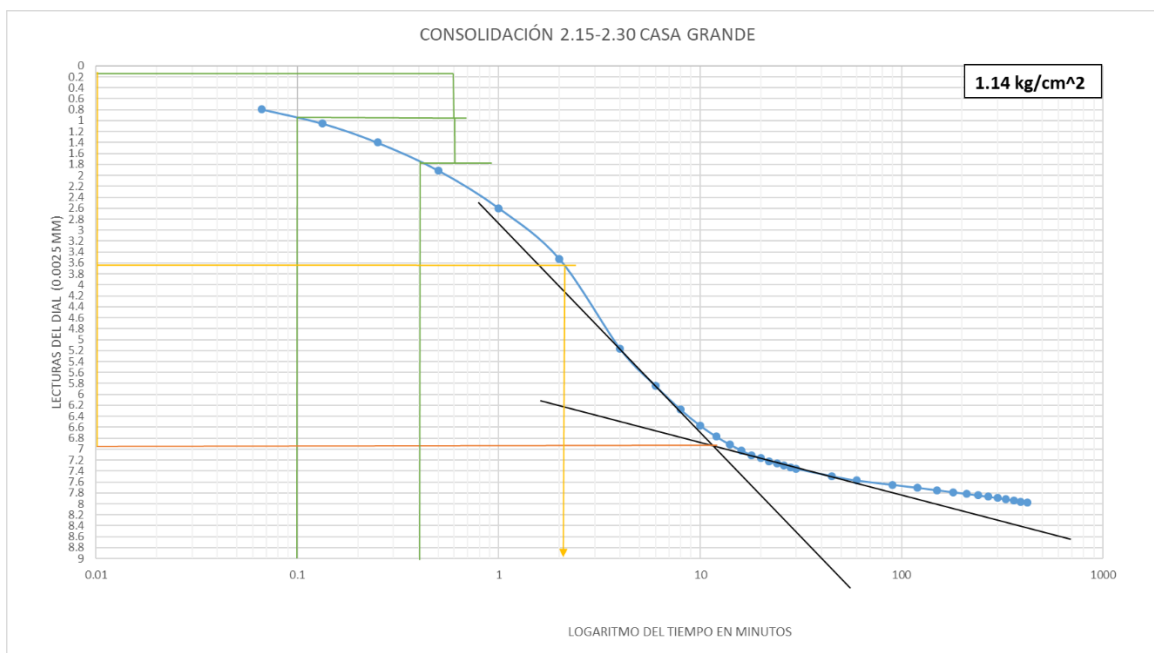
METRO 8 PROBETA 1

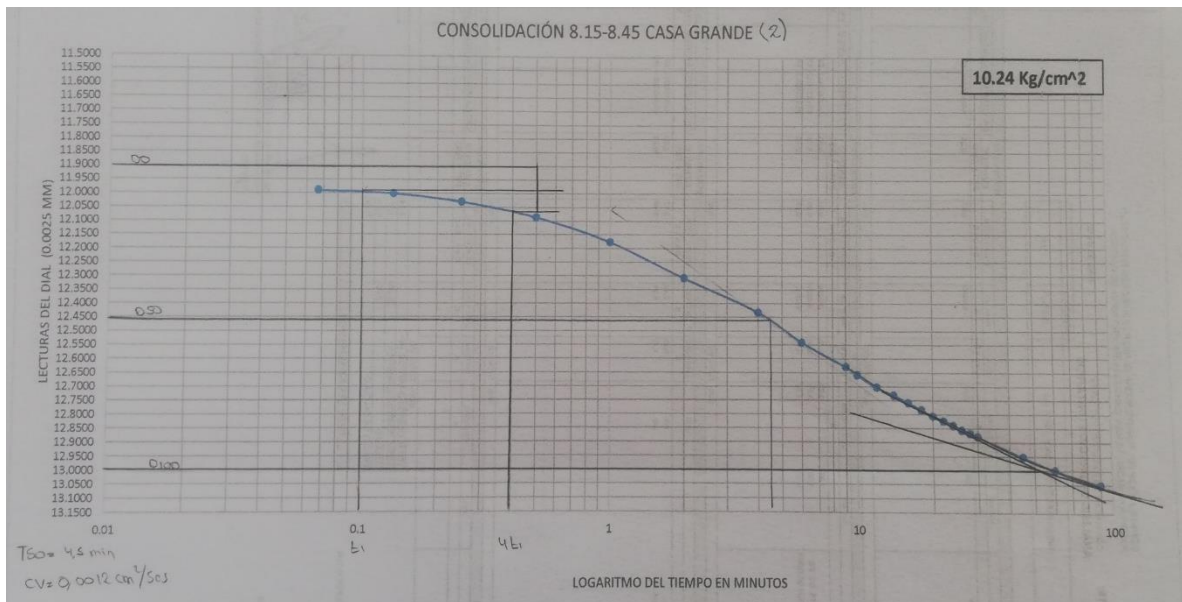
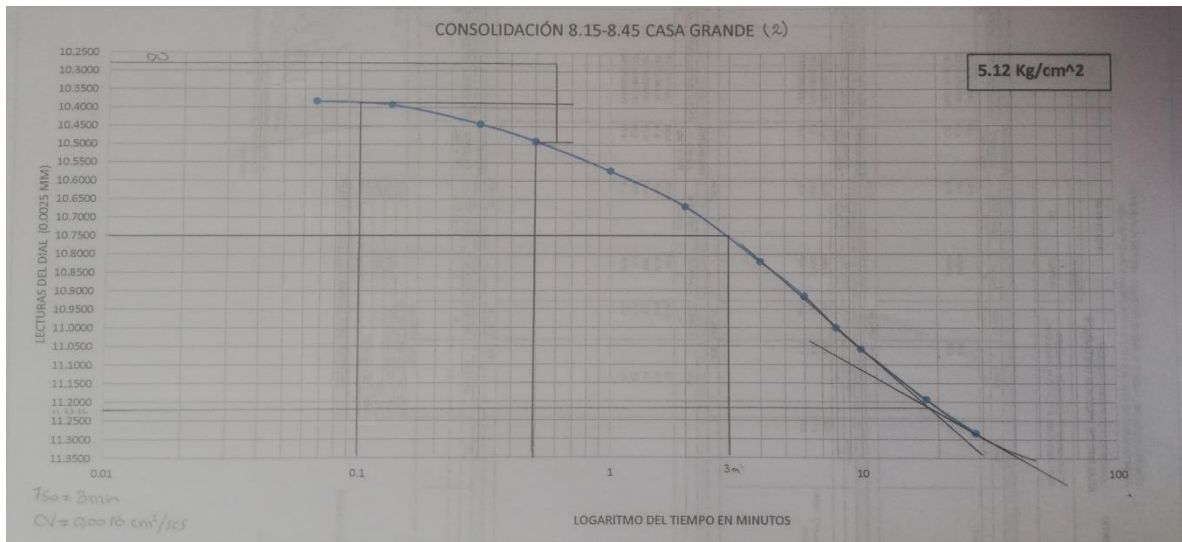


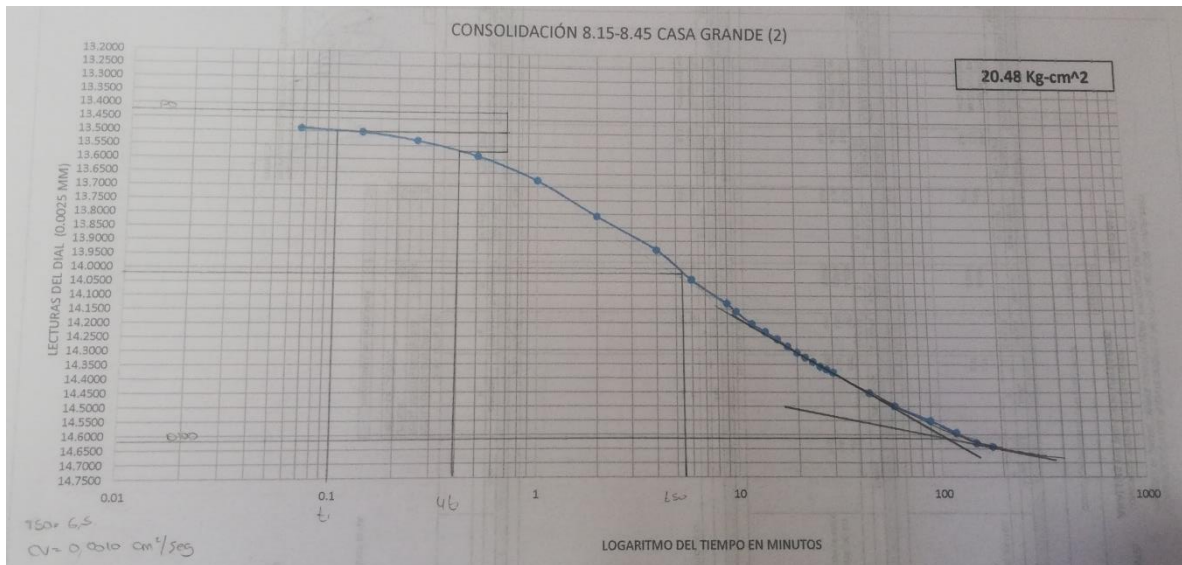




METRO 8 PROBETA 2

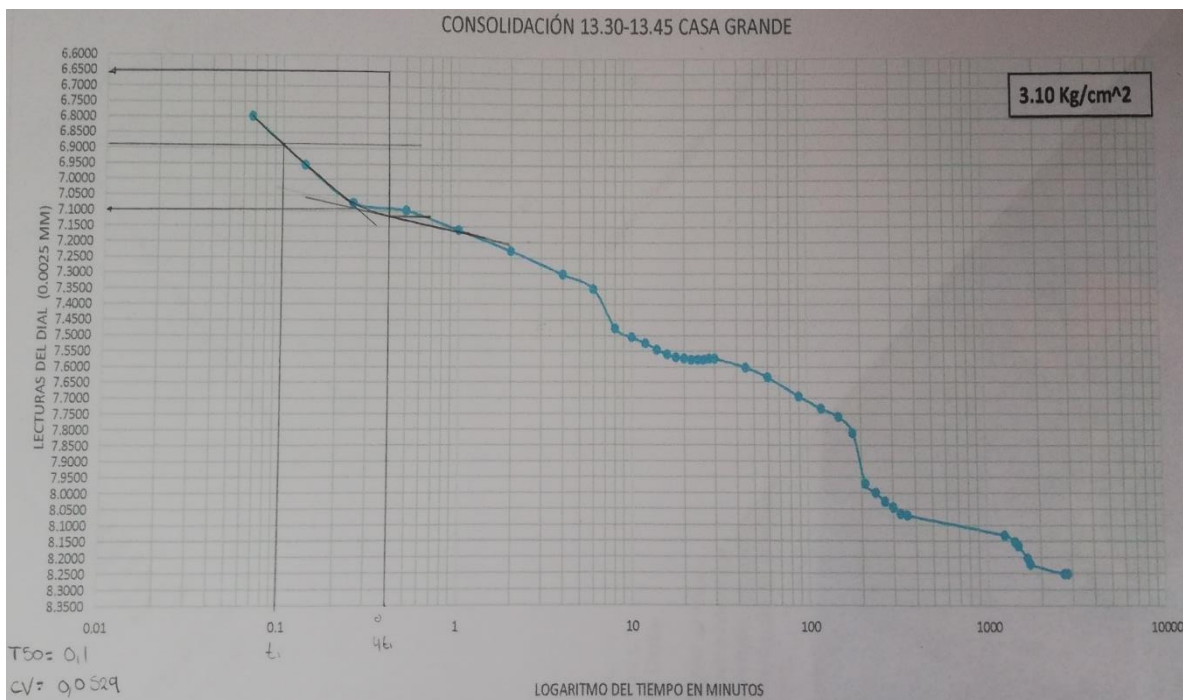
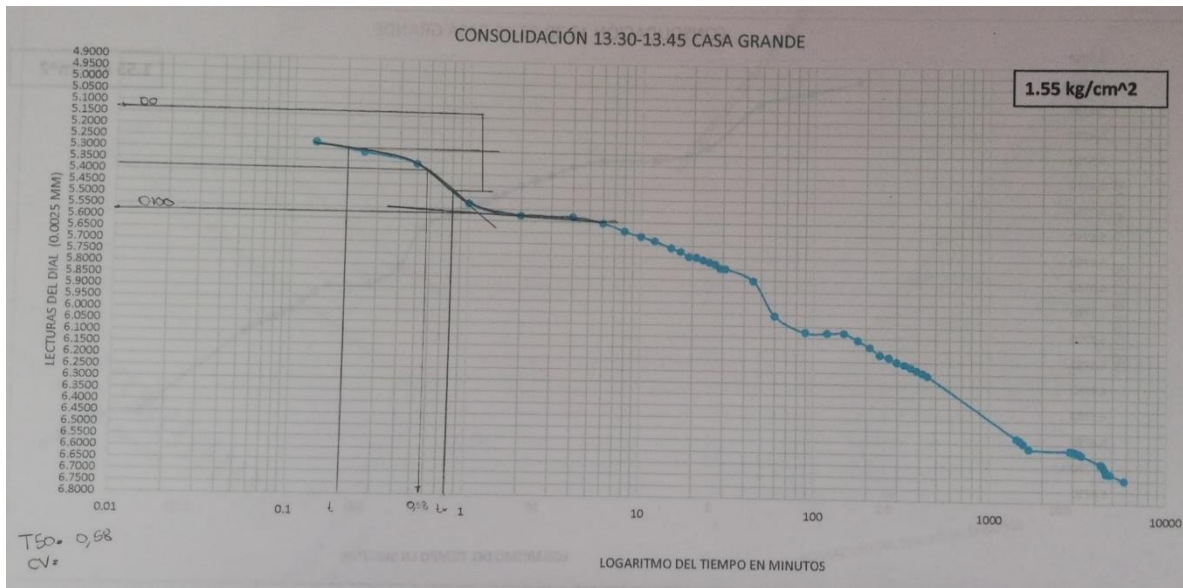


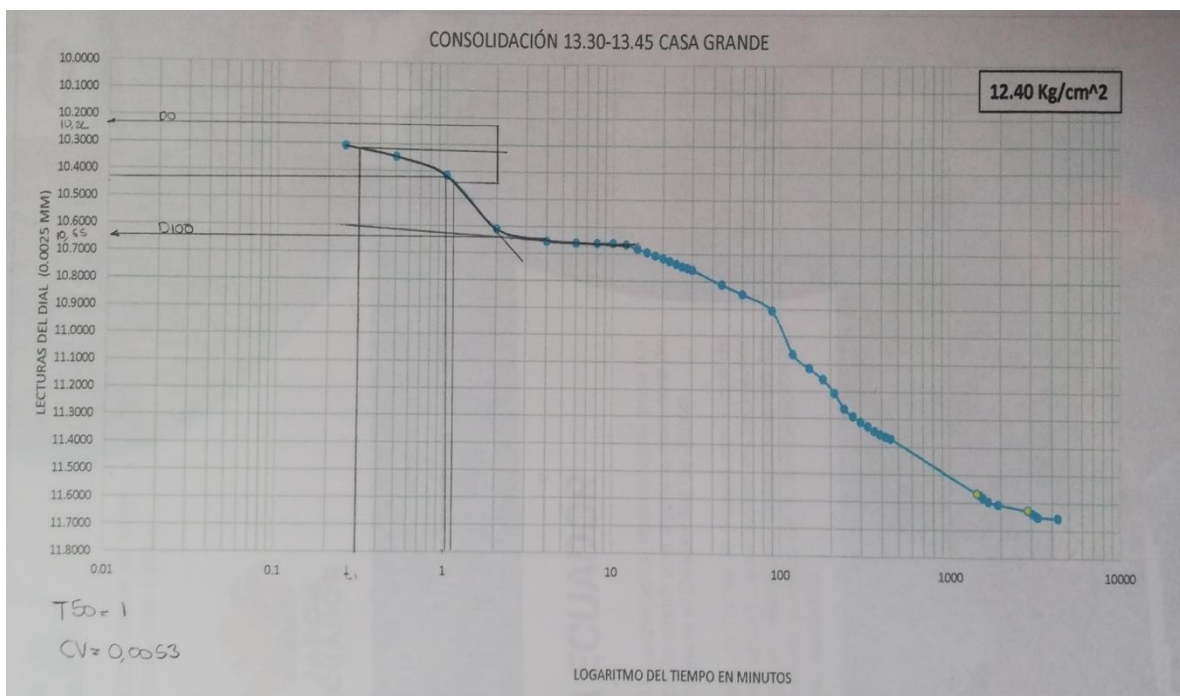
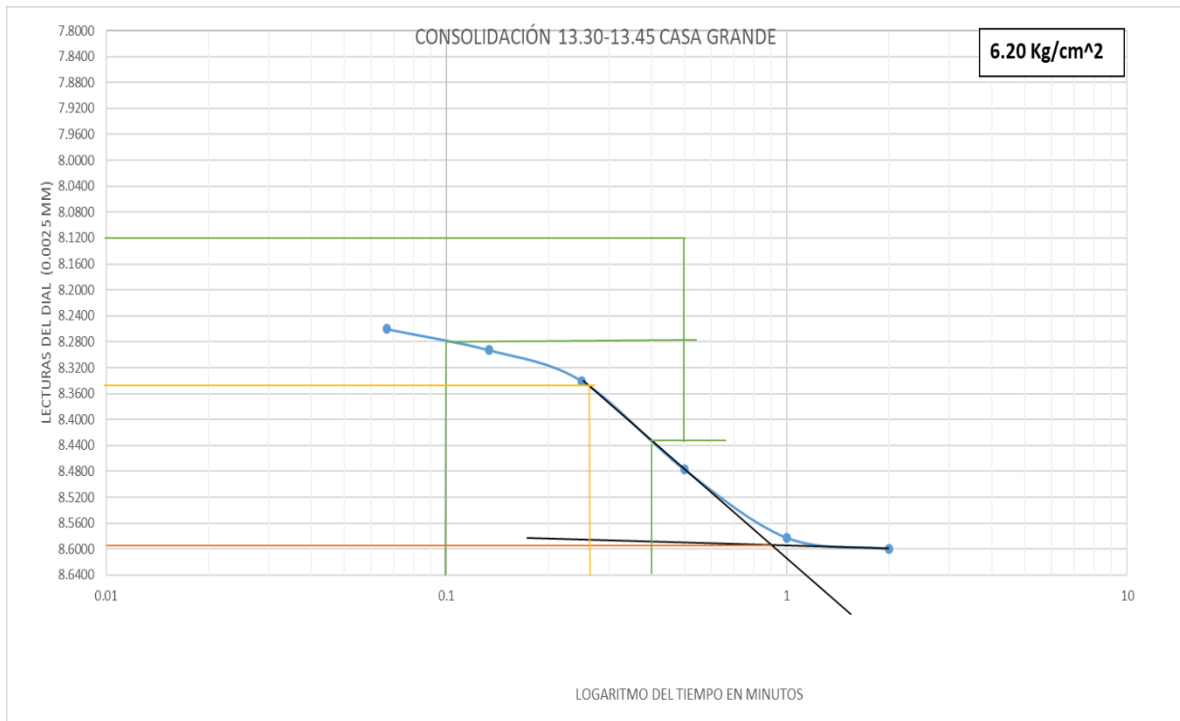




METRO 13



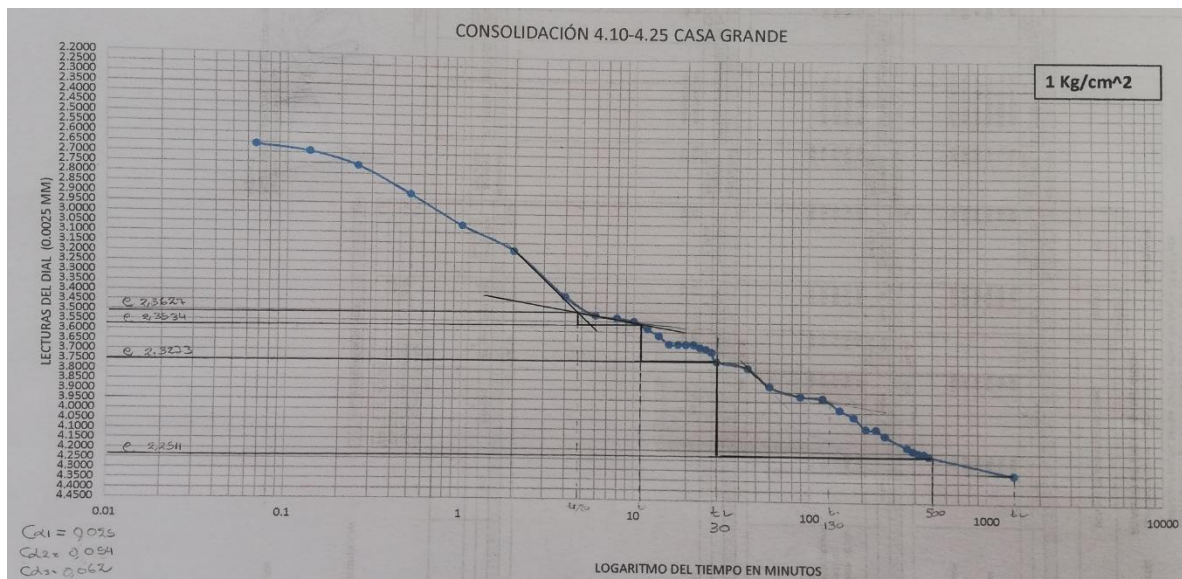
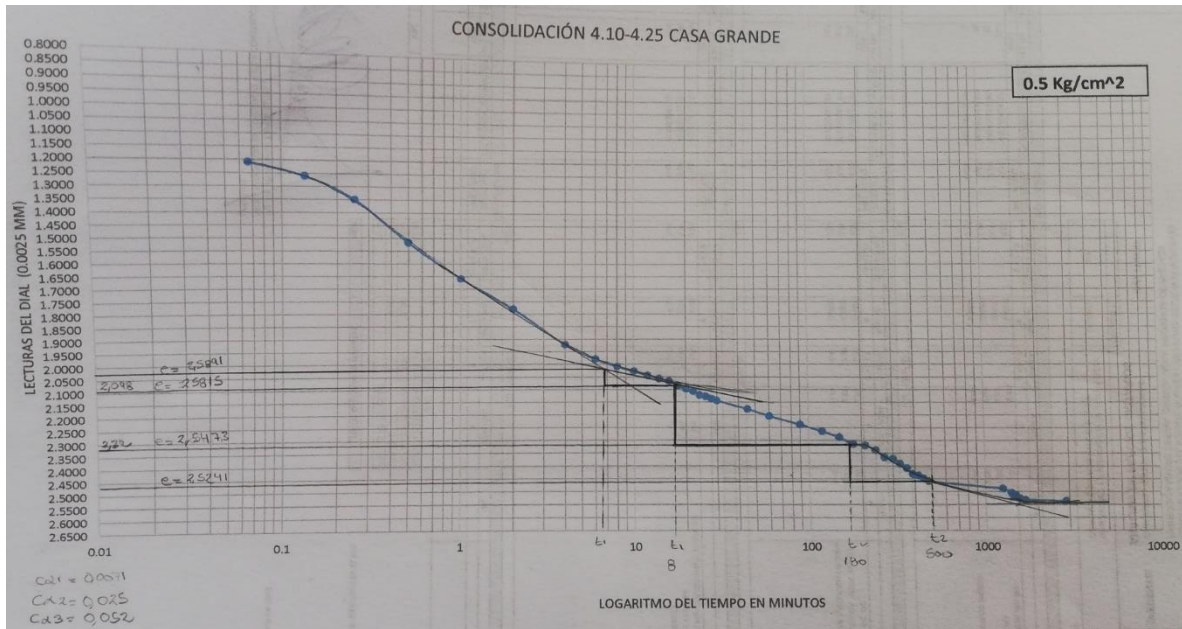


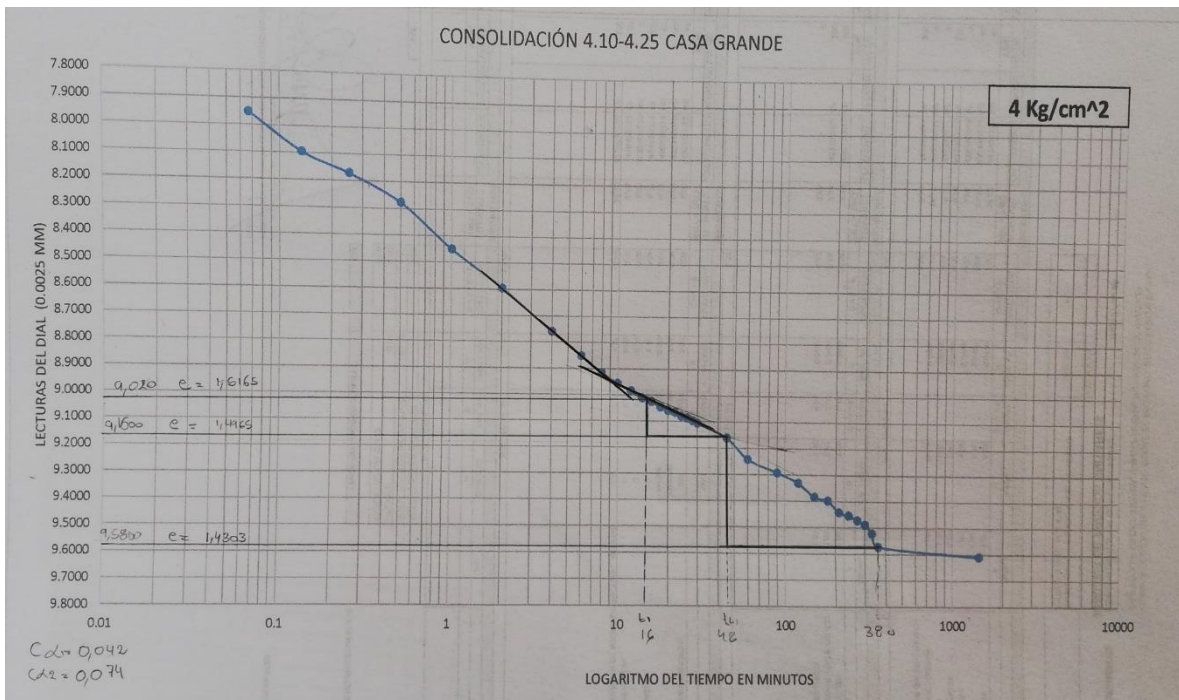
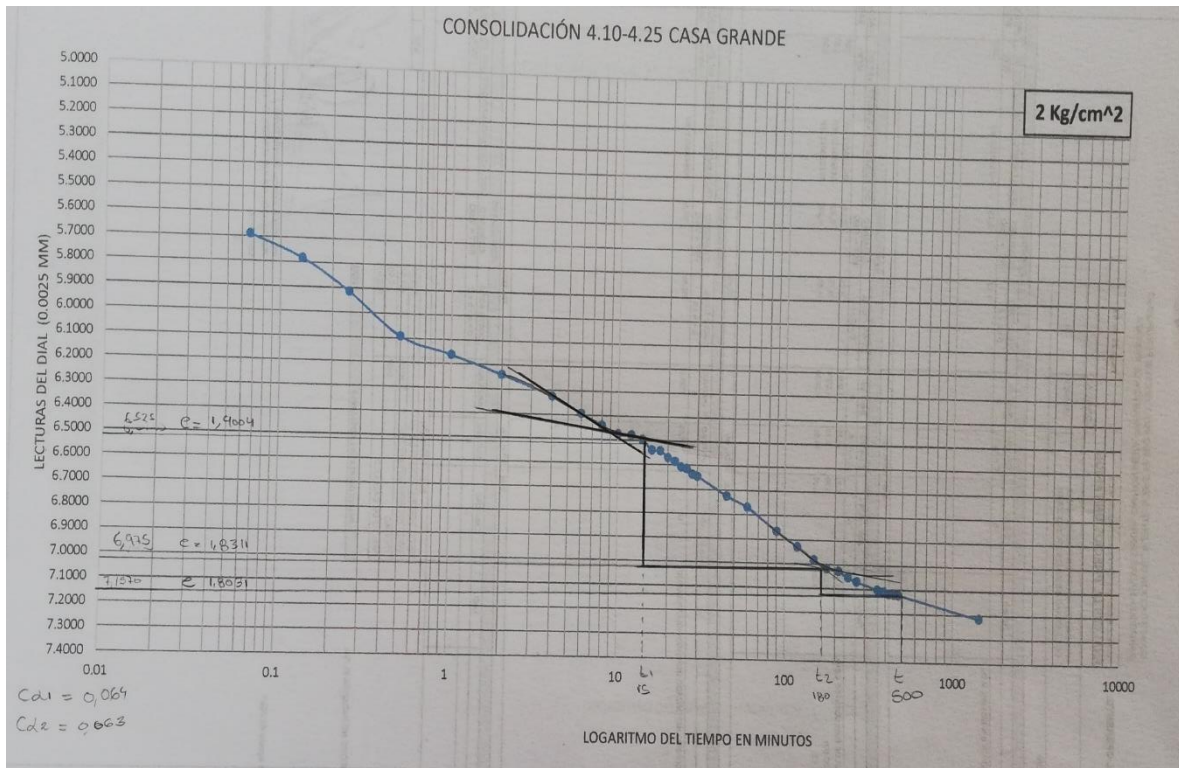


ANEXO # 8 COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA

ENSAYOS A 24 HORAS

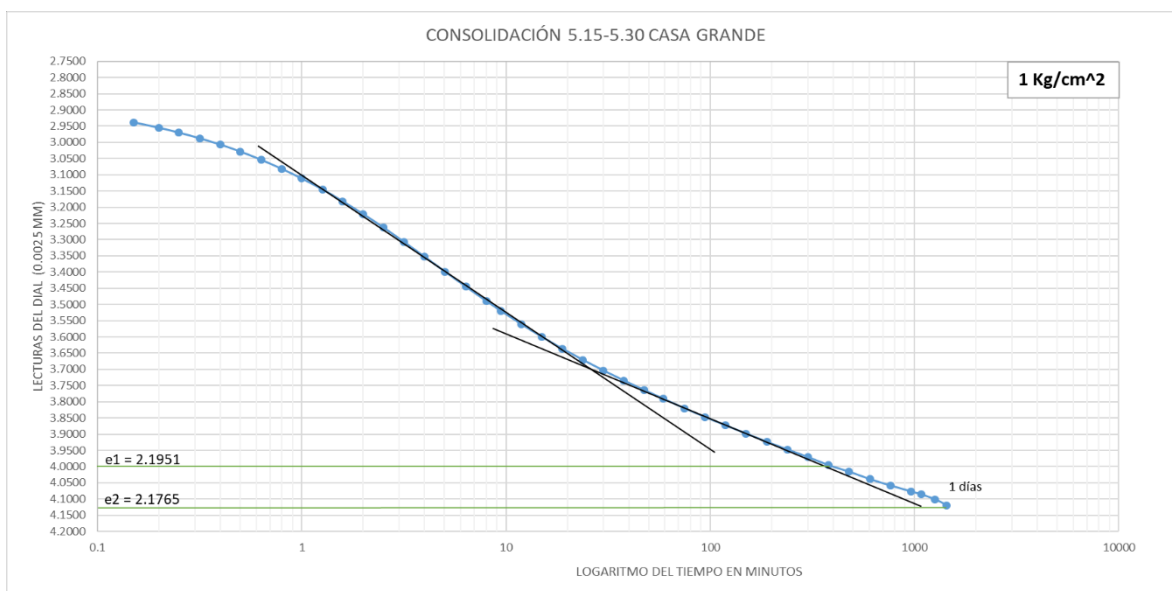
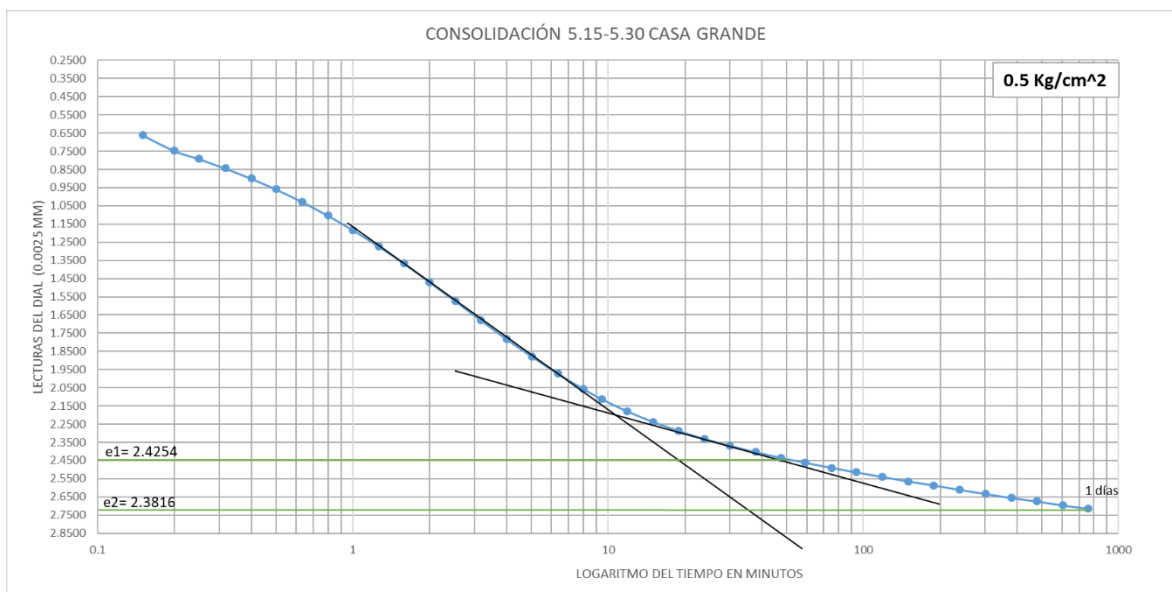
METRO 4

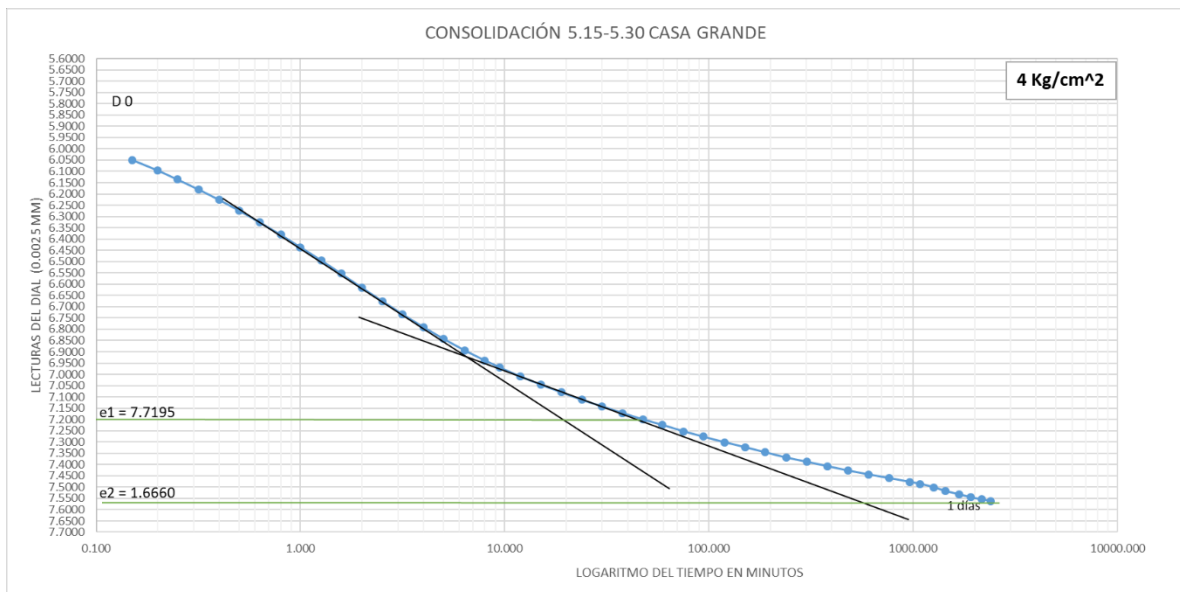
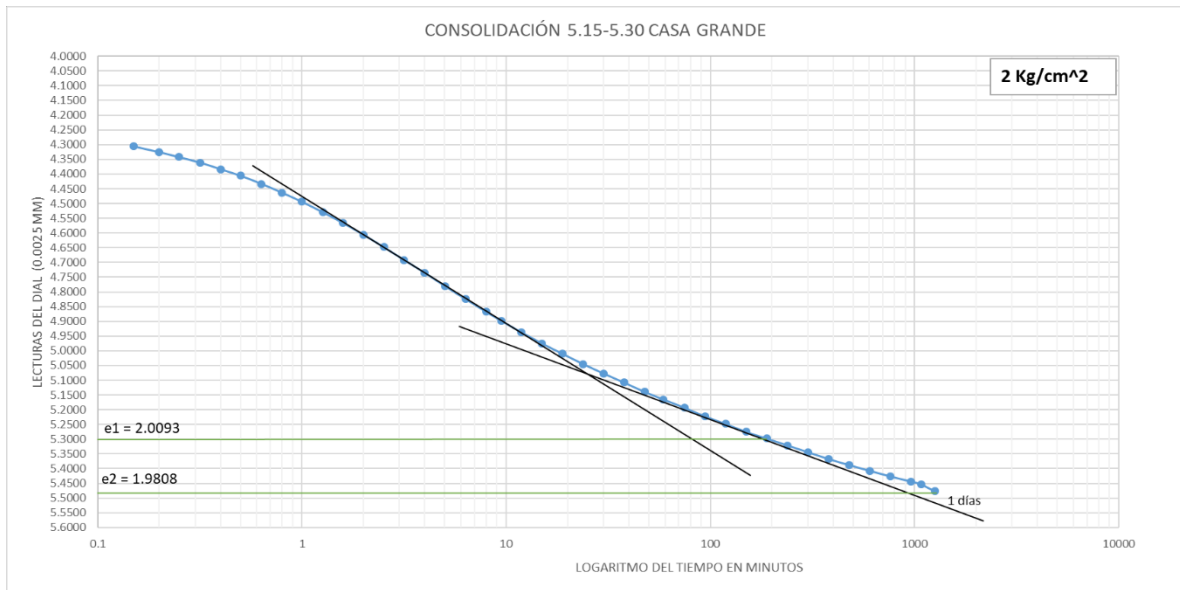




PSHEL 002 4.10-4.25 [m]								
TABLA DE RESUMENES DE C ALFA A LAS 24H DE ENSAYO								
ESTADOS DE CARGA				DATOS DEL SUELO		VALORES DE C-ALFA REFERENCIALES		
0.5 Kg/cm^2		1 Kg/cm^2				SUELOS COMUNES		
C-alfa 1	0.01	C-alfa 1	0.02	Cont. Org.	66.65%	Arena	0.00003	0.00006
C-alfa 2	0.03	C-alfa 2	0.05	W% natural	255.02	Limo	0.0004	
C-alfa 3	0.05	C-alfa 3	0.06	OCR	0.83	Arcilla	0.01	
2 Kg/cm^2		4 Kg/cm^2		CC	1.38	SUELOS ORGÁNICOS Y TURBA		
C-alfa 1	0.06	C-alfa 1	0.04	Tiem. conso.	9.15	Orgánico	0.17	0.18
C-alfa 2	0.06	C-alfa 2	0.07	primaria [min]		Orgánico	0.04	0.1
		D. Primaria promedio				Turba	0.02	0.1
		[%] 62						
		D. Secundaria promedio						
		[%] 38						

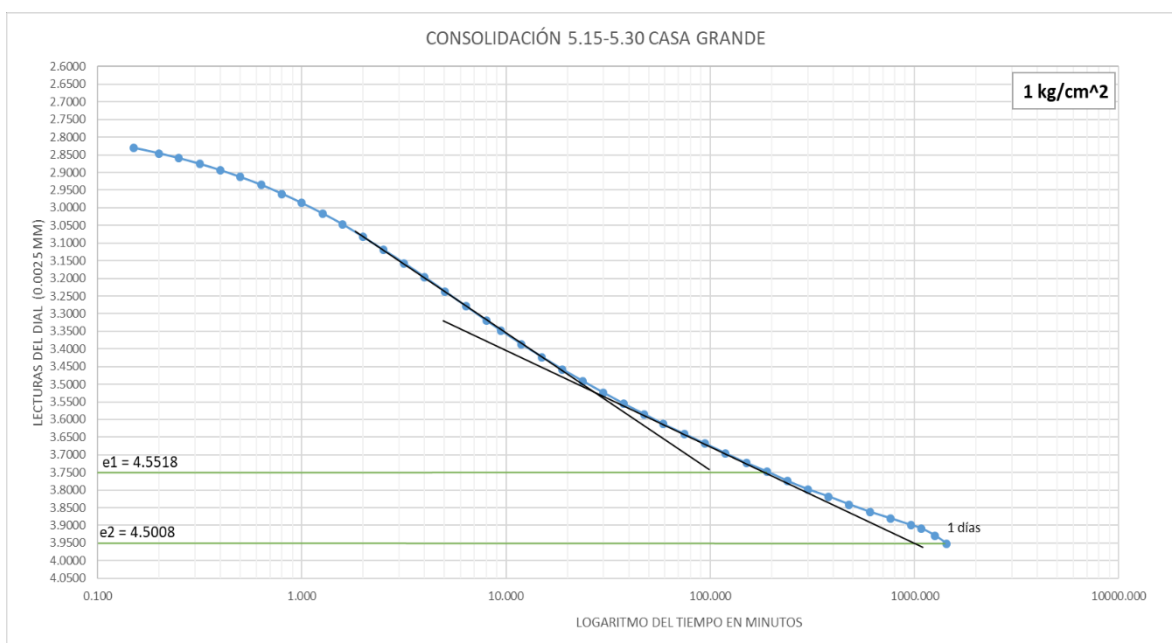
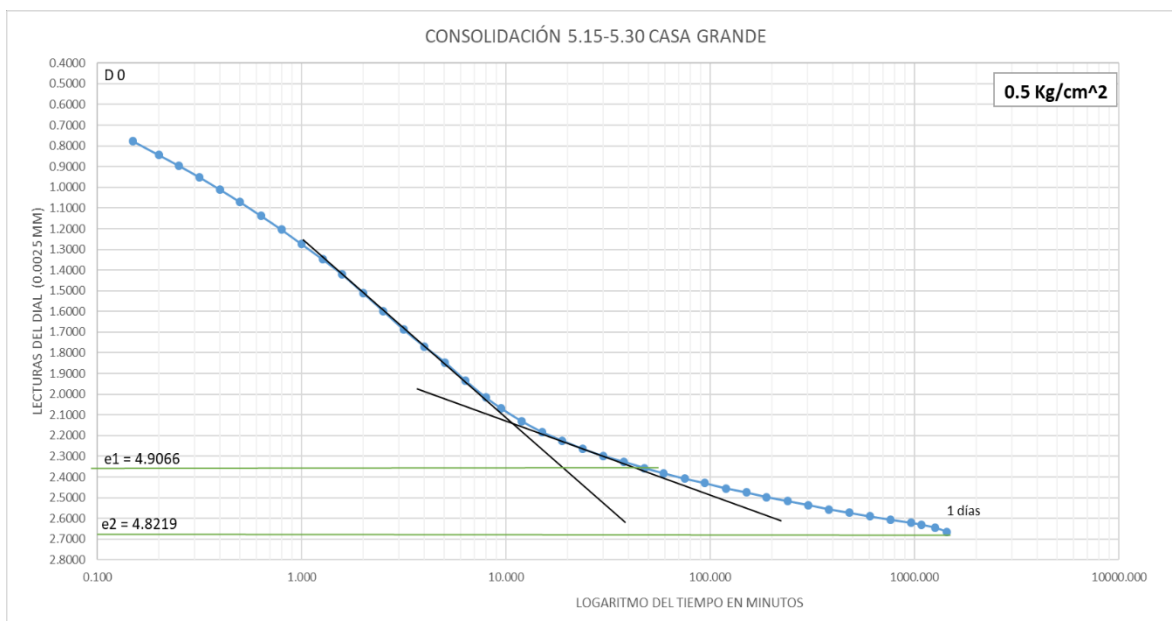
METRO 5 PROBETA 1

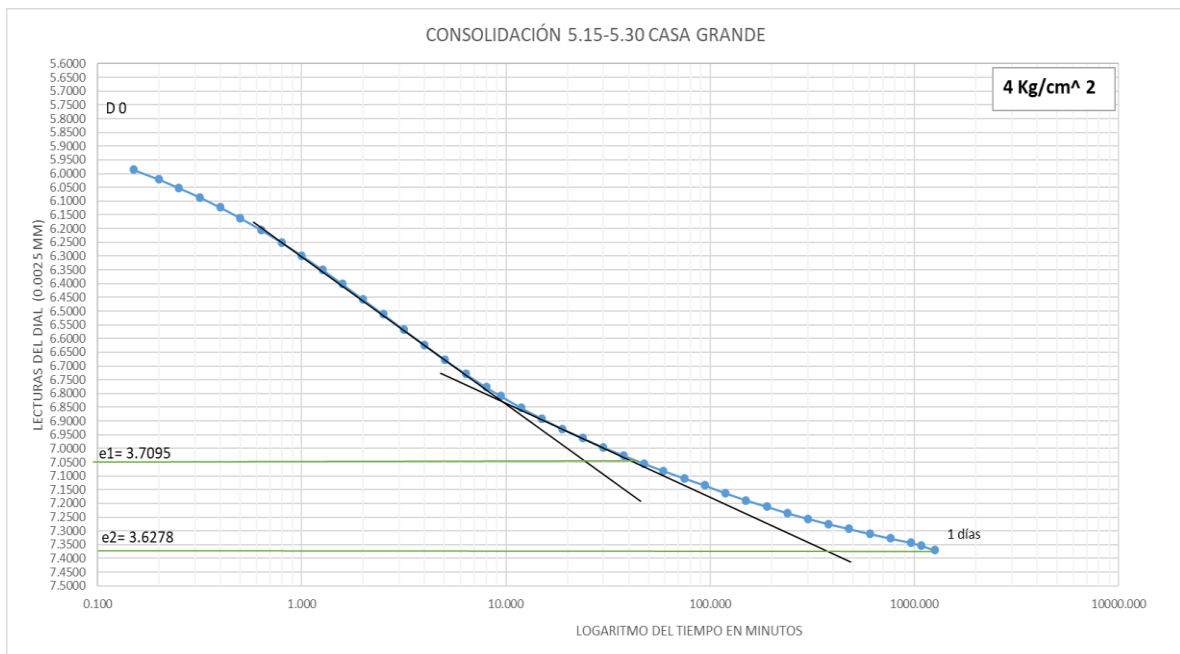
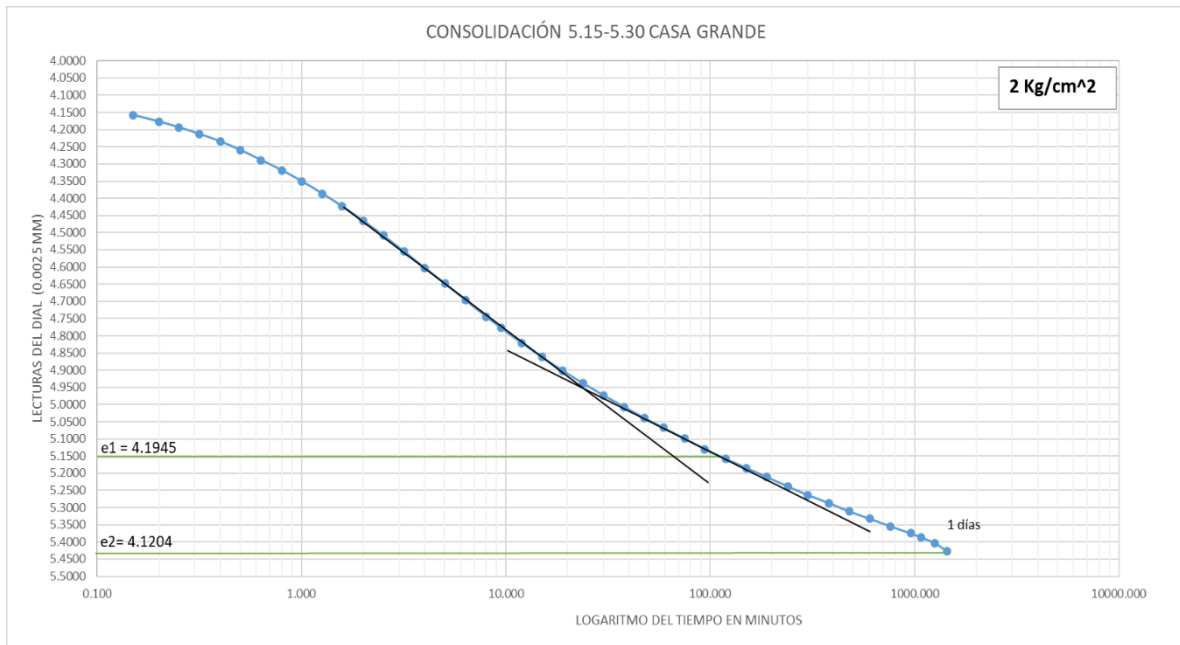


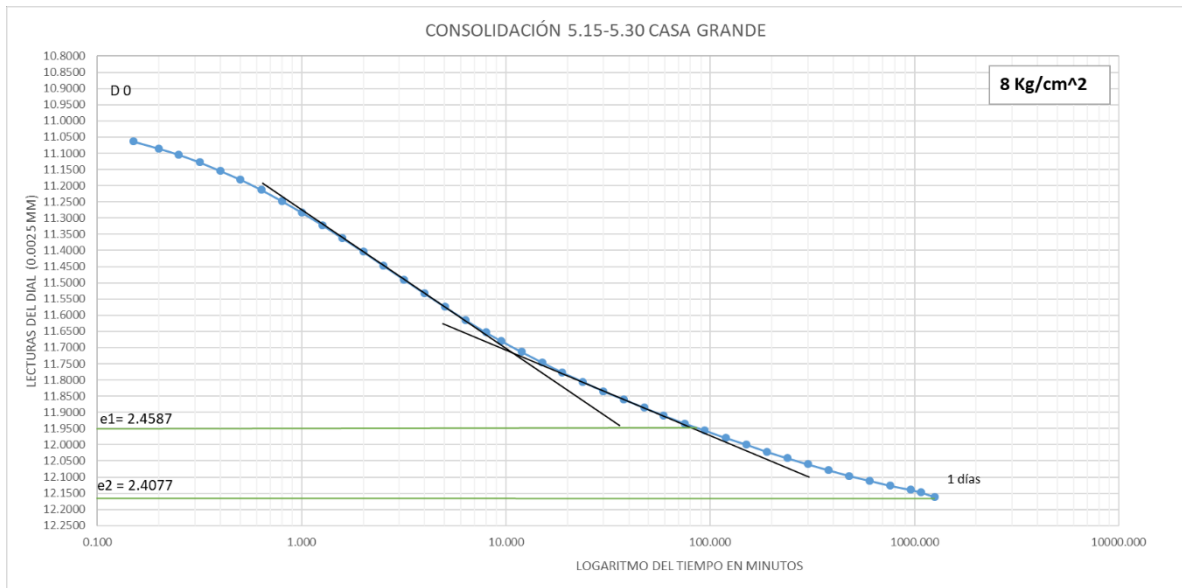


PSHEL 002 5.15-5.30 [m]						
TABLA DE RESUMENES DE C ALFA A LAS 24H DE ENSAYO						
ESTADOS DE CARGA		DATOS DEL SUELO		VALORES DE C-ALFA REFERENCIALES		
0.5 Kg/cm^2	1 Kg/cm^2			SUELOS COMUNES		
C-alfa 1 0.04	C-alfa 1 0.03	Cont. Org.	71.06%	Arena	0.00003	0.00006
2 Kg/cm^2	4 Kg/cm^2	W% natural	115.42	Limo	0.0004	
C-alfa 1 0.03	C-alfa 1 0.03	OCR	0.84	Arcilla	0.01	
		CC	0.95	SUELOS ORGÁNICOS Y TURBA		
D. Primaria promedio 74		Tiem. conso. primaria [min]	17.075	Orgánico	0.17	0.18
D. Secundaria promedio 27				Orgánico	0.04	0.1
				Turba	0.02	0.1

METRO 5 PROBETA 2

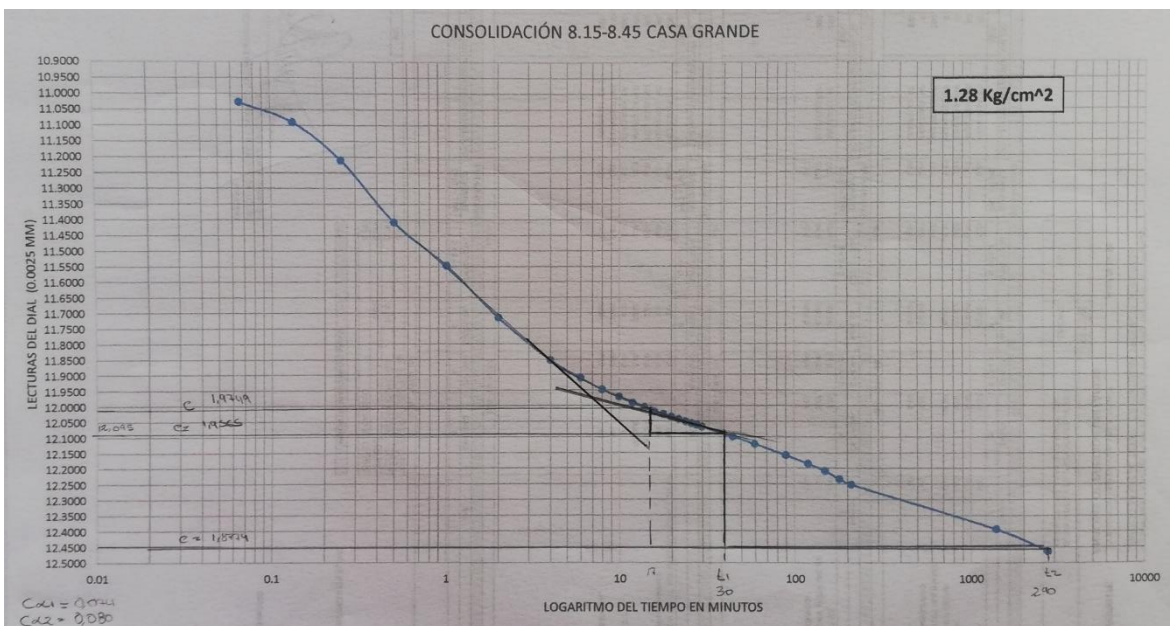
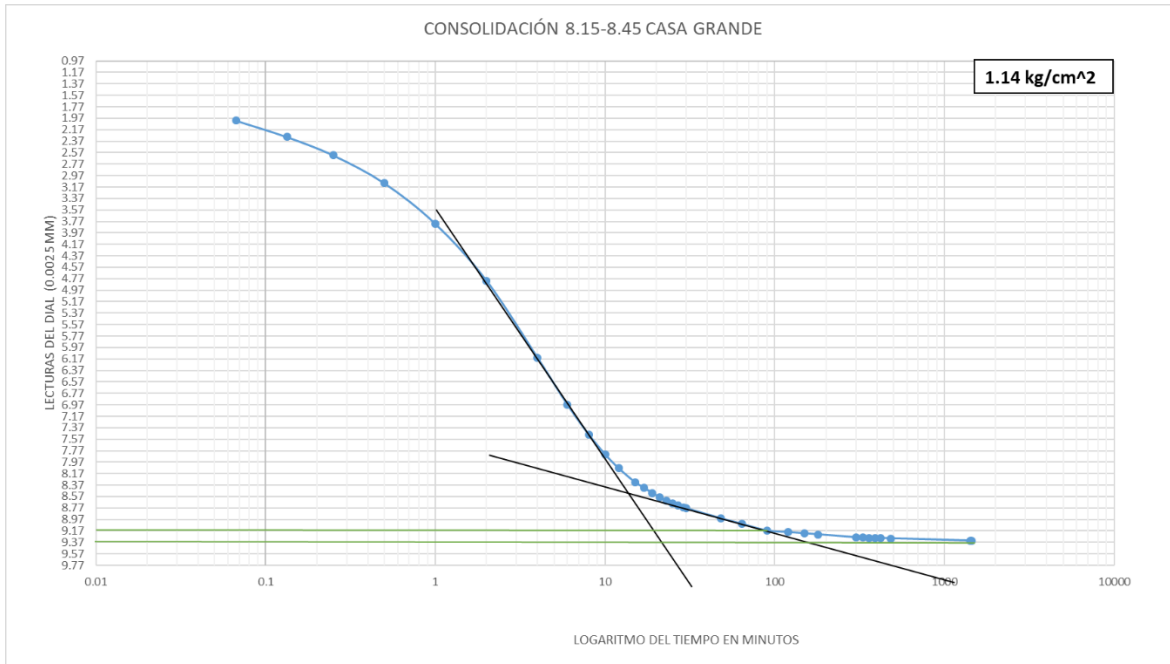


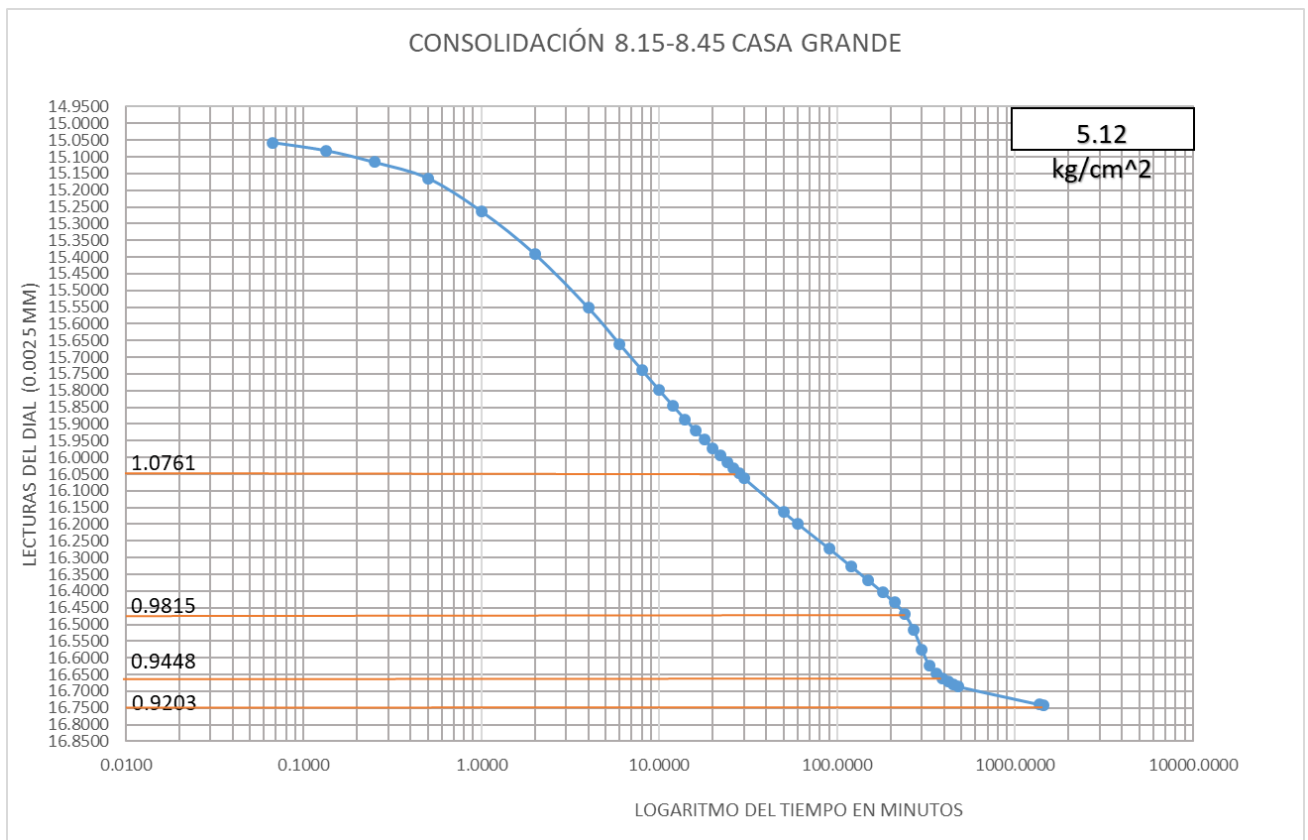
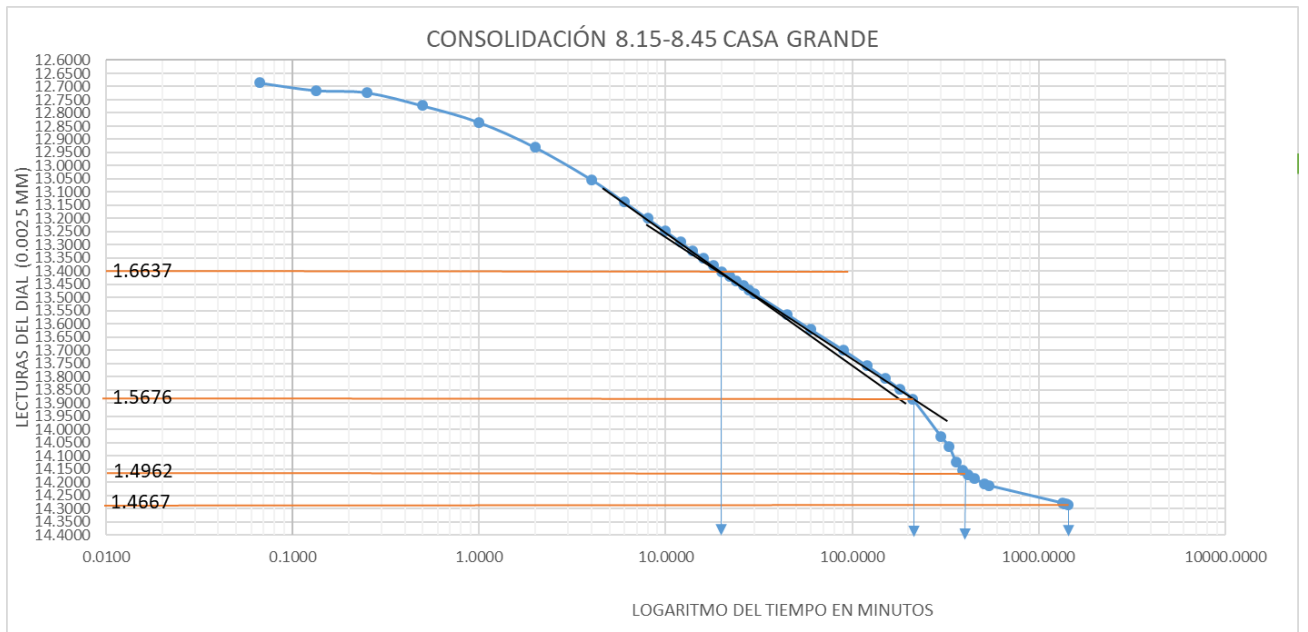


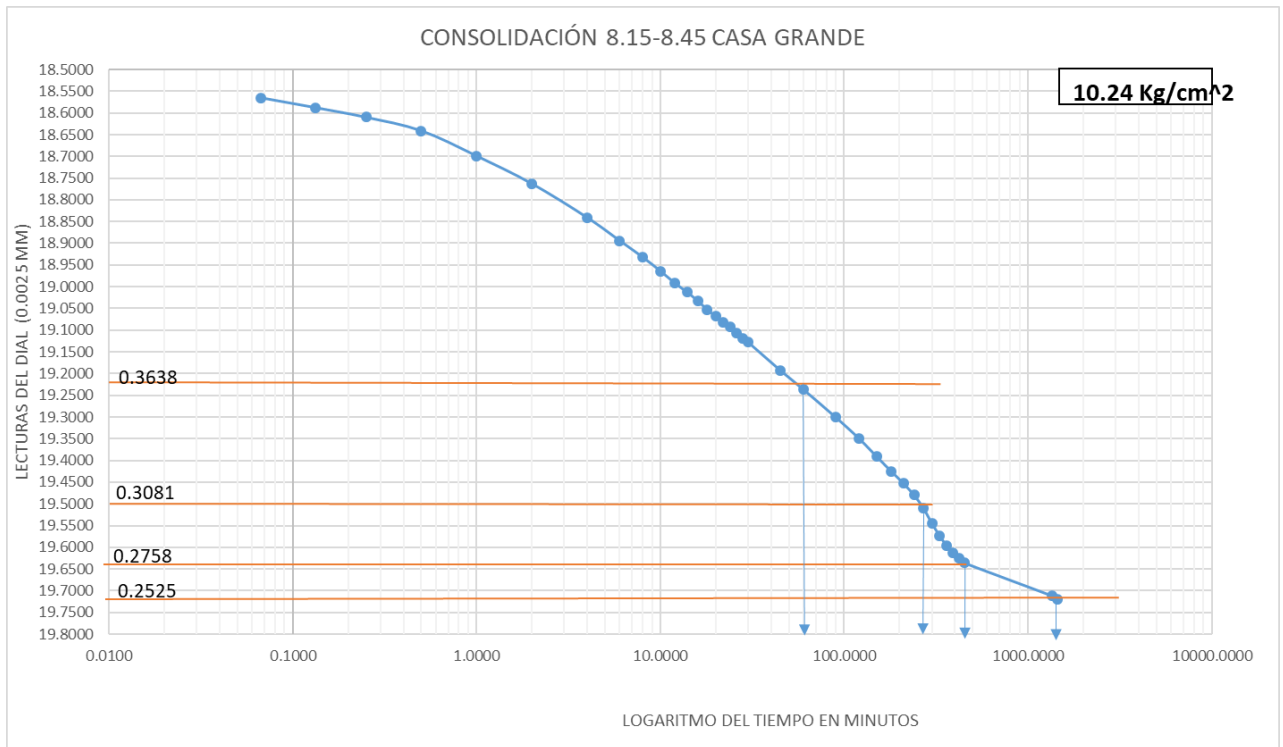


PSHEL 002 5.30-5.45 [m]								
TABLA DE RESUMENES DE C ALFA A LAS 24H DE ENSAYO								
ESTADOS DE CARGA		DATOS DEL SUELO		VALORES DE C-ALFA REFERENCIALES				
0.5 Kg/cm^2	1 Kg/cm^2			SUELOS COMUNES				
C-alfa 1	0.06	C-alfa 1	0.06	Cont. Org.	71.06%	Arena	0.00003	0.00006
2 Kg/cm^2	4 Kg/cm^2			W% natural	115.42	Limo	0.0004	
C-alfa 1	0.07	C-alfa 1	0.05	OCR	0.89	Arcilla	0.01	
8 Kg/cm^2				CC	3.16	SUELOS ORGÁNICOS Y TURBA		
C-alfa 1	0.04					Orgánico	0.17	0.18
D. Primaria promedio	75			Tiem. conso. primaria [min]	16.36	Orgánico	0.04	0.1
D. Secundaria promedio	25					Turba	0.02	0.1

METRO 8 PROBETA 1

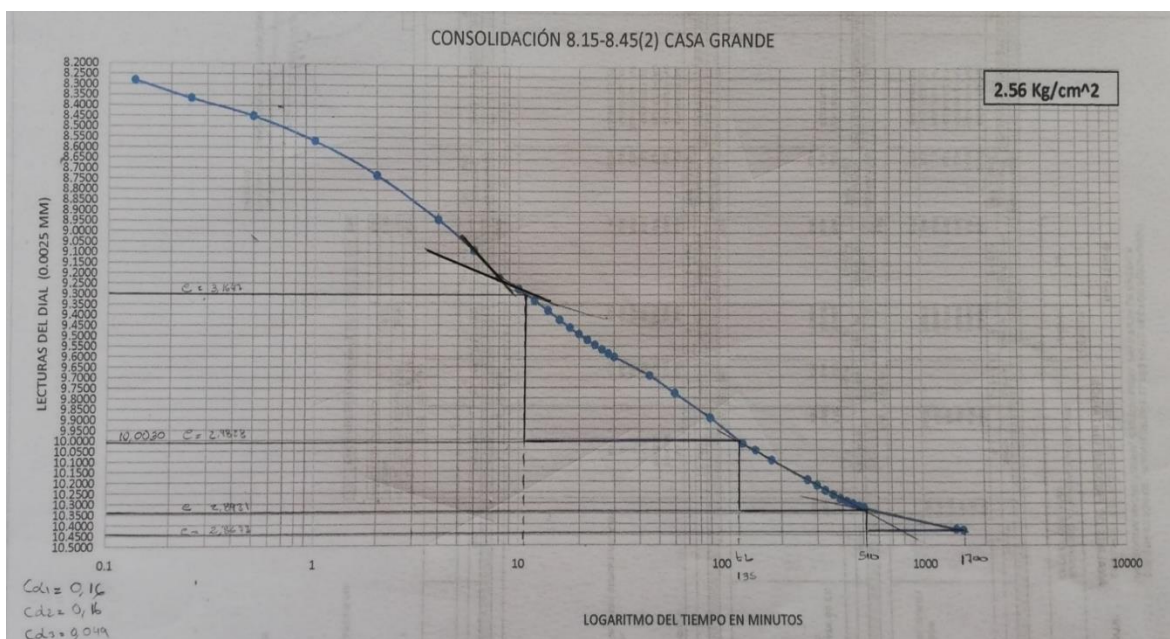
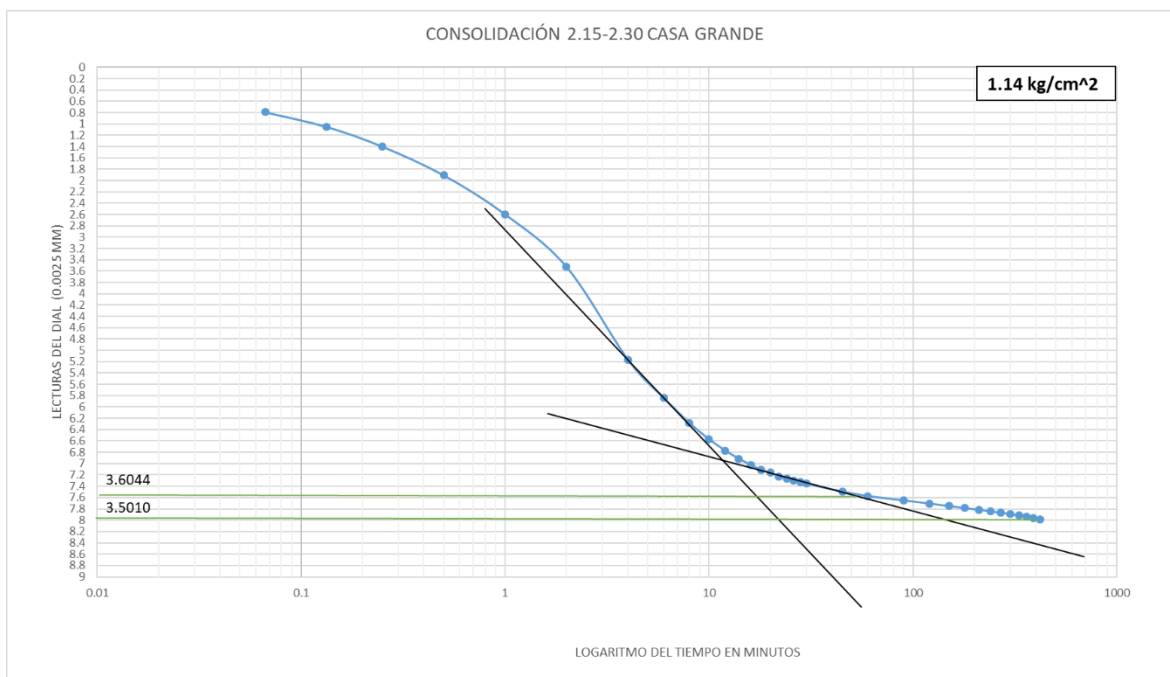


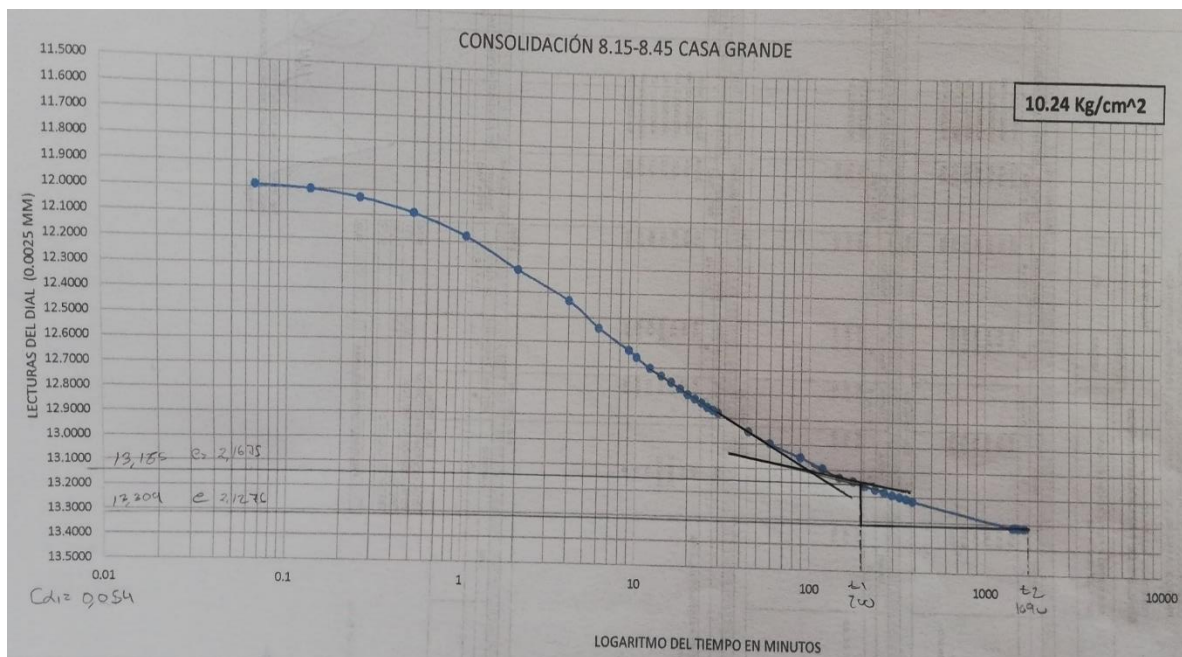
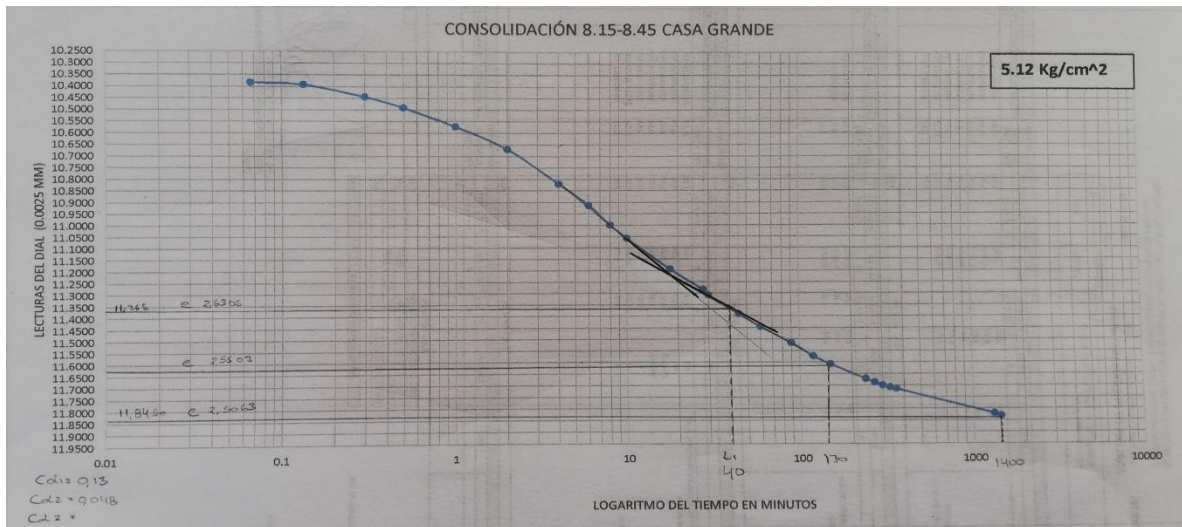


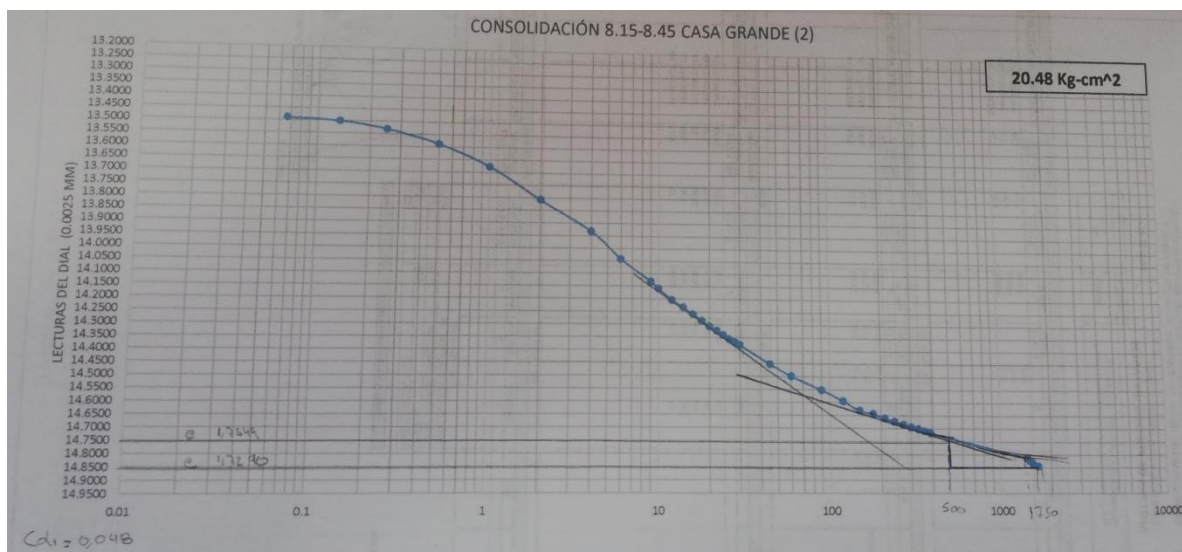


PSHEL 002 8.15-8.45 [m]									
TABLA DE RESUMENES DE C ALFA A LAS 24H DE ENSAYO									
ESTADOS DE CARGA				DATOS DEL SUELO		VALORES DE C-ALFA REFERENCIALES			
						SUELOS COMUNES			
1.14 Kg/cm^2		1.28 Kg/cm^2		Cont. Org.	82.95%	Arena	0.00003	0.00006	
C-alfa 1	0.04	C-alfa 1	0.07			W% natural	212.88	Limo	0.0004
		C-alfa 2	0.08			OCR	0.87	Arcilla	0.01
2.56 Kg/cm^2		5.12 Kg/cm^2				CC	2.43		
C-alfa 1	0.09	C-alfa 1	0.1	Tiem. conso. primaria [min]	24.1	SUELOS ORGÁNICOS			
C-alfa 2	0.27	C-alfa 2	0.17			Orgánico	0.17	0.18	
C-alfa 3	0.05139093	C-alfa 3	0.04187843						
10.24 Kg/cm^2				D. Primaria promedio					73.8
C-alfa 1				D. Secundaria promedio					26.2
C-alfa 2									
C-alfa 3									

METRO 8 PROBETA 2

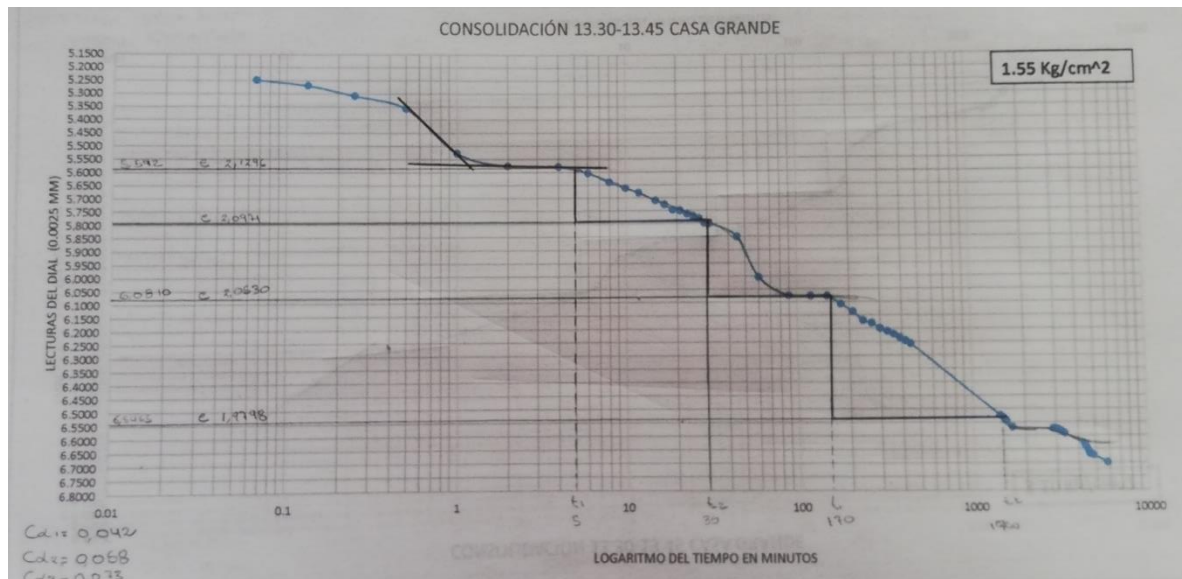
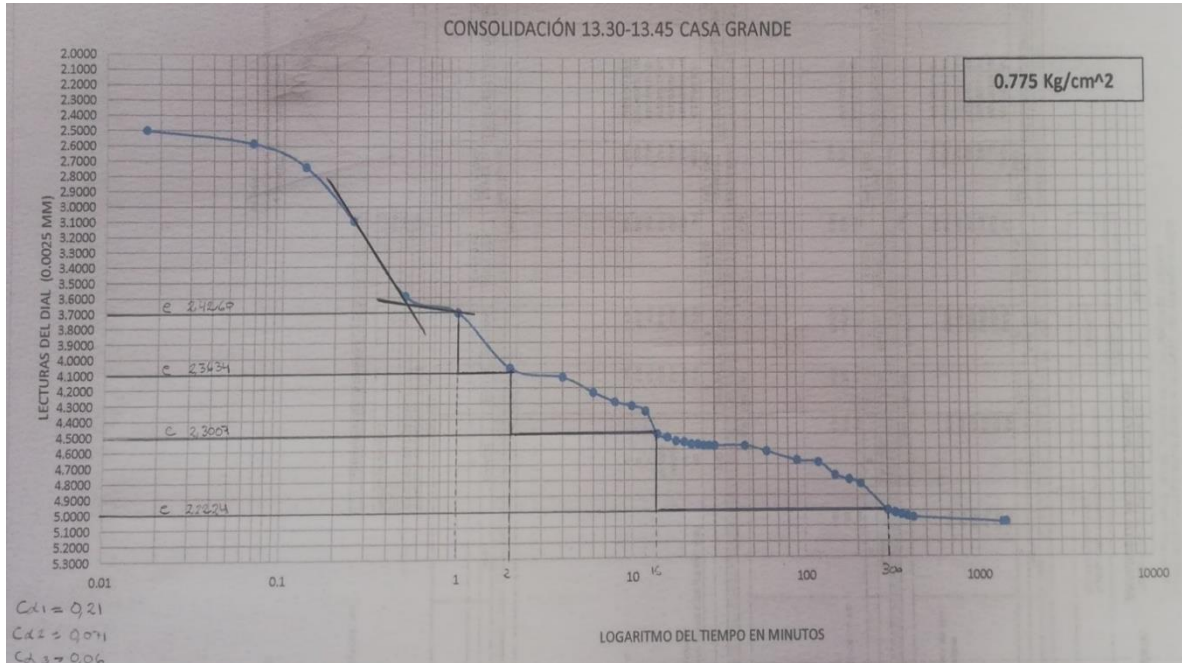


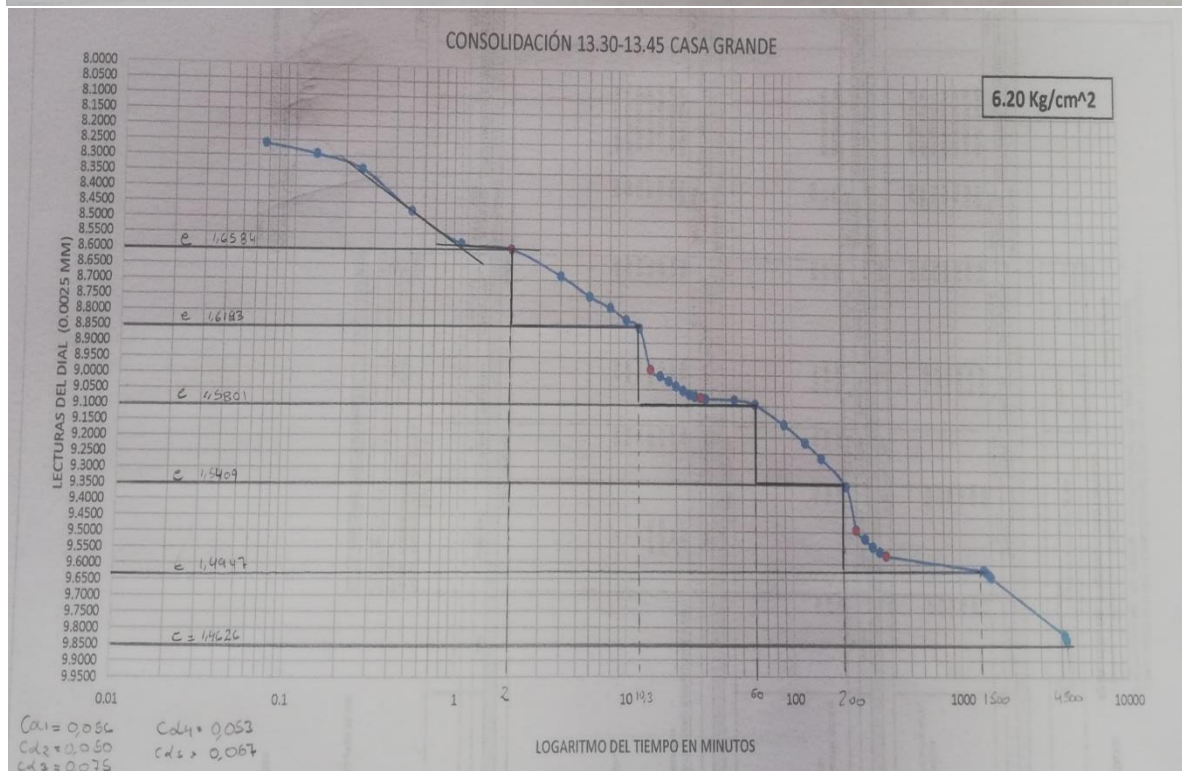
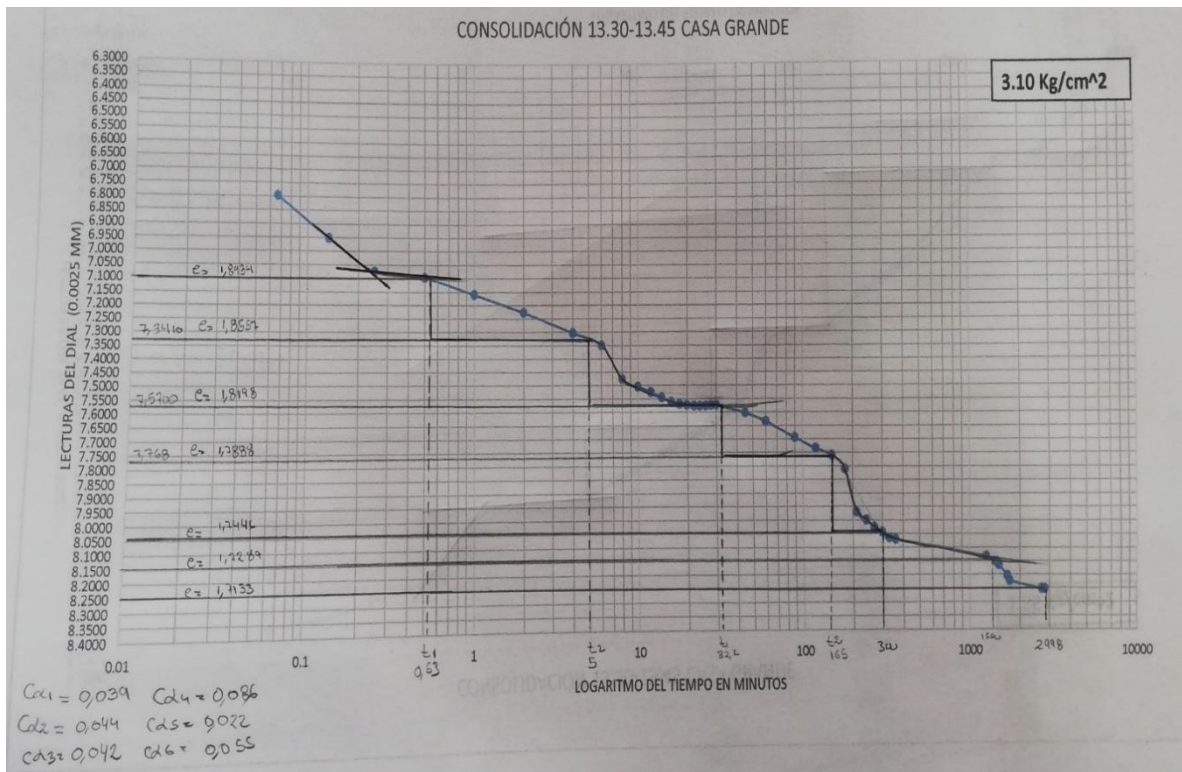


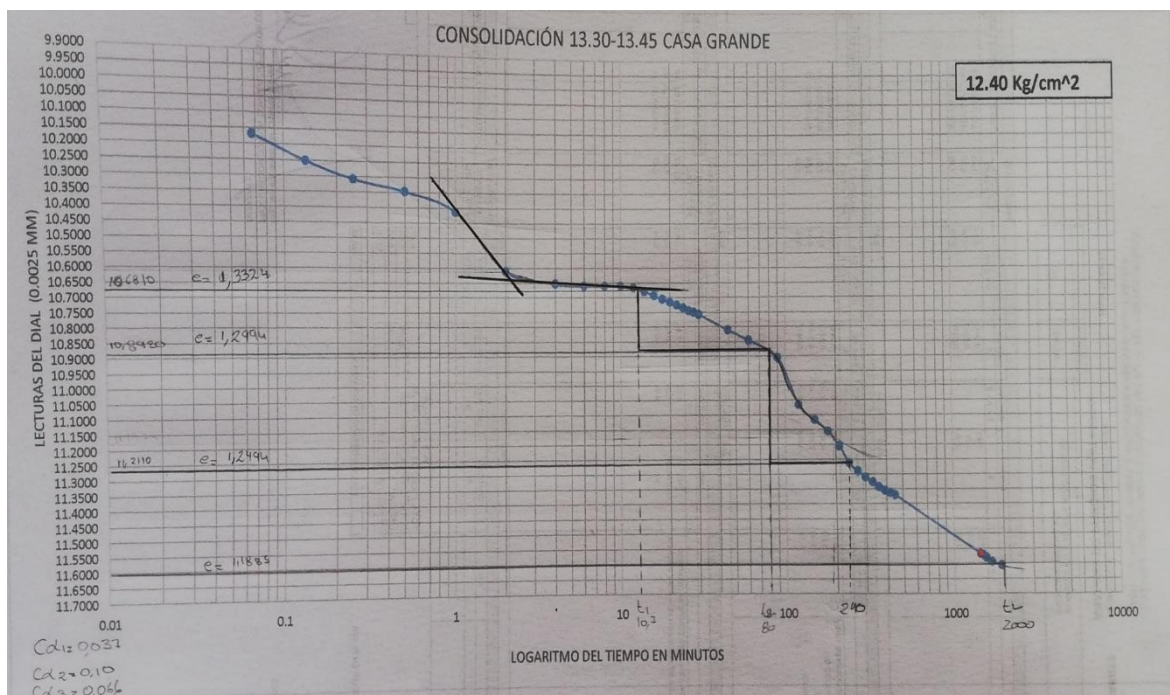


PSHEL 002 8.15-8.45 [m]						
TABLA DE RESUMENES DE C ALFA A LAS 24H DE ENSAYO						
ESTADOS DE CARGA		DATOS DEL SUELO		VALORES DE C-ALFA REFERENCIALES		
1.14 Kg/cm^2	2.56 Kg/cm^2			SUELOS COMUNES		
C-alfa 1 0.12	C-alfa 1 0.16	Cont. Org.	82.95%	Arena	0.00003	0.00006
	C-alfa 2 0.16	W% natural	212.88	Limo	0.0004	
	C-alfa 3 0.05	OCR	0	Arcilla	0.01	
5.12 Kg/cm^2	10.24 Kg/cm^2	CC	1.51	SUELOS ORGÁNICOS Y TURBA		
C-alfa 1 0.13	C-alfa 1 0.05	Tiem. conso. primaria [min]	44.48	Orgánico	0.17	0.18
C-alfa 2 0.05				Orgánico	0.04	0.1
20.48 Kg/cm^2				Turba	0.02	0.1
C-alfa 1 0.05						
D. Primaria promedio 72						
D. Secundaria promedio 28						

METRO 13



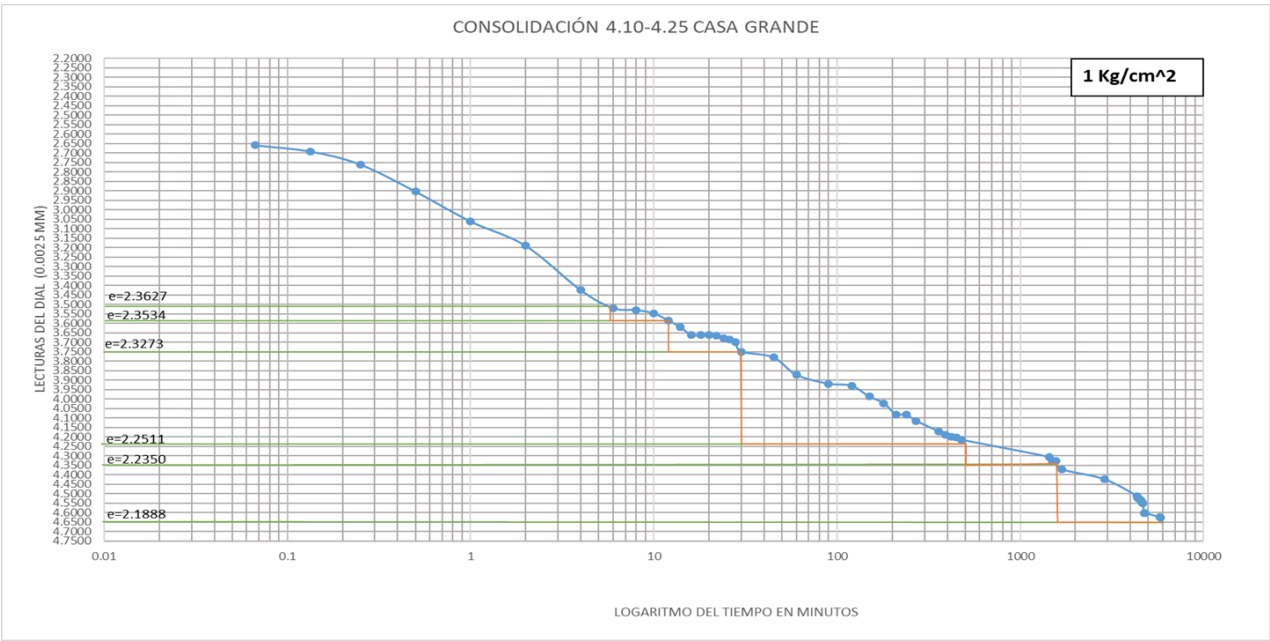
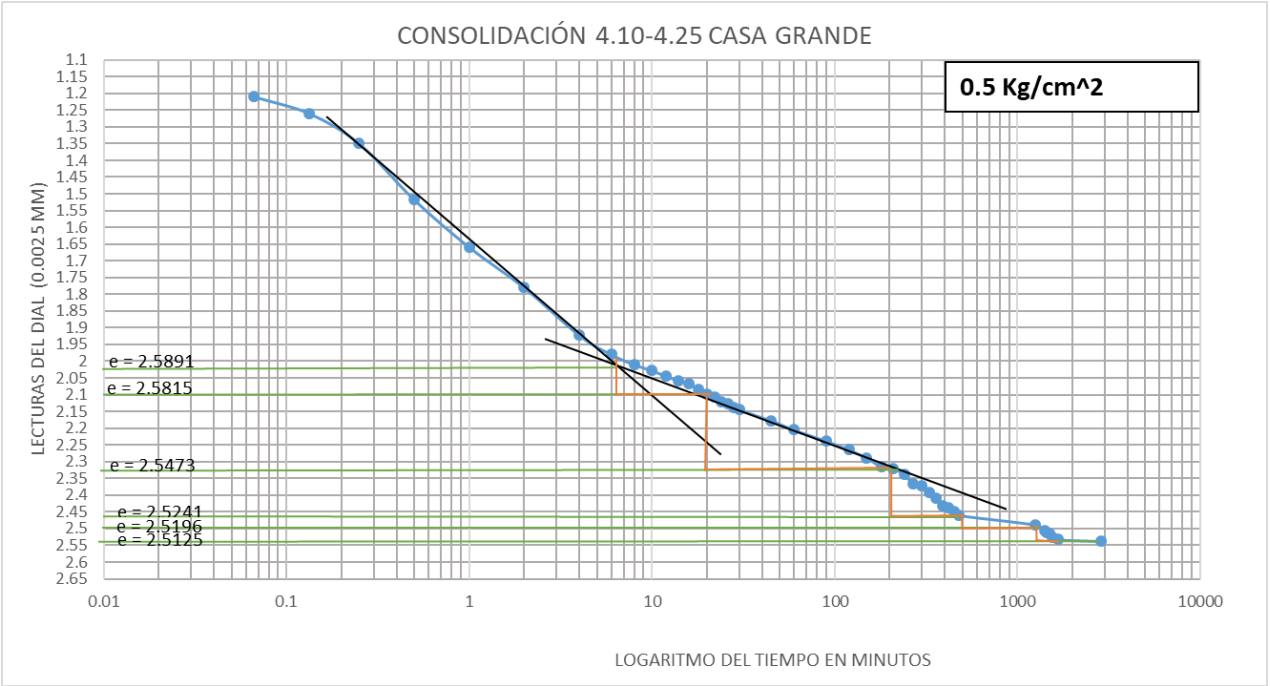


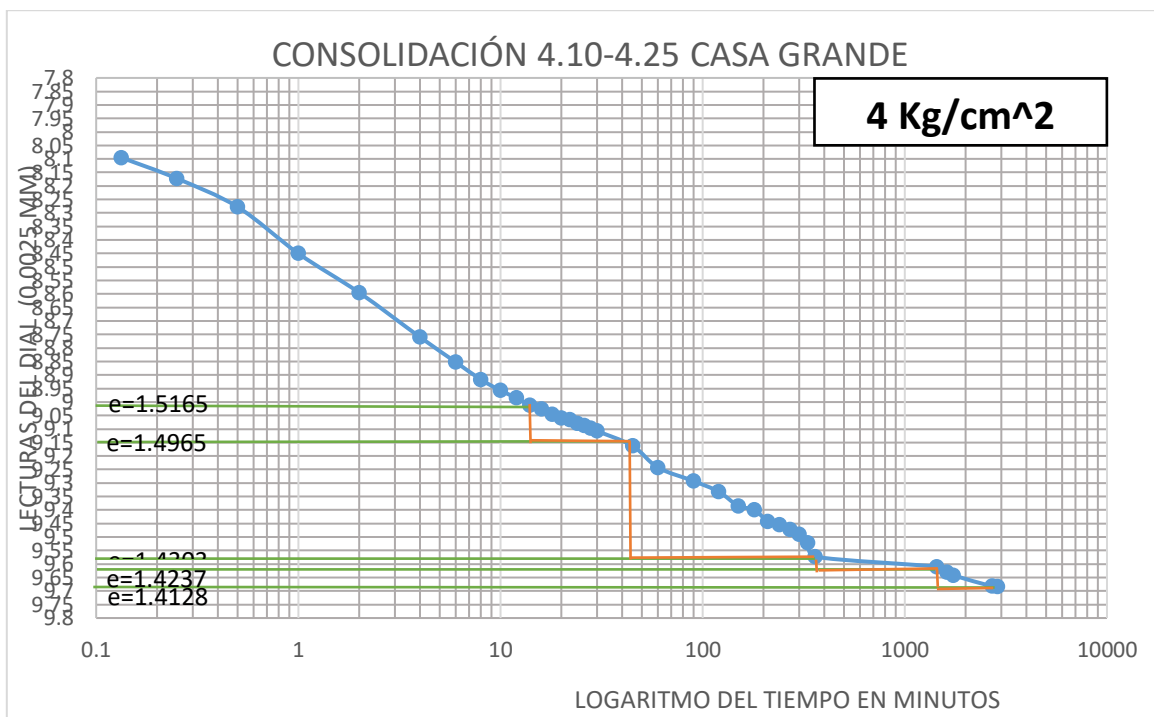
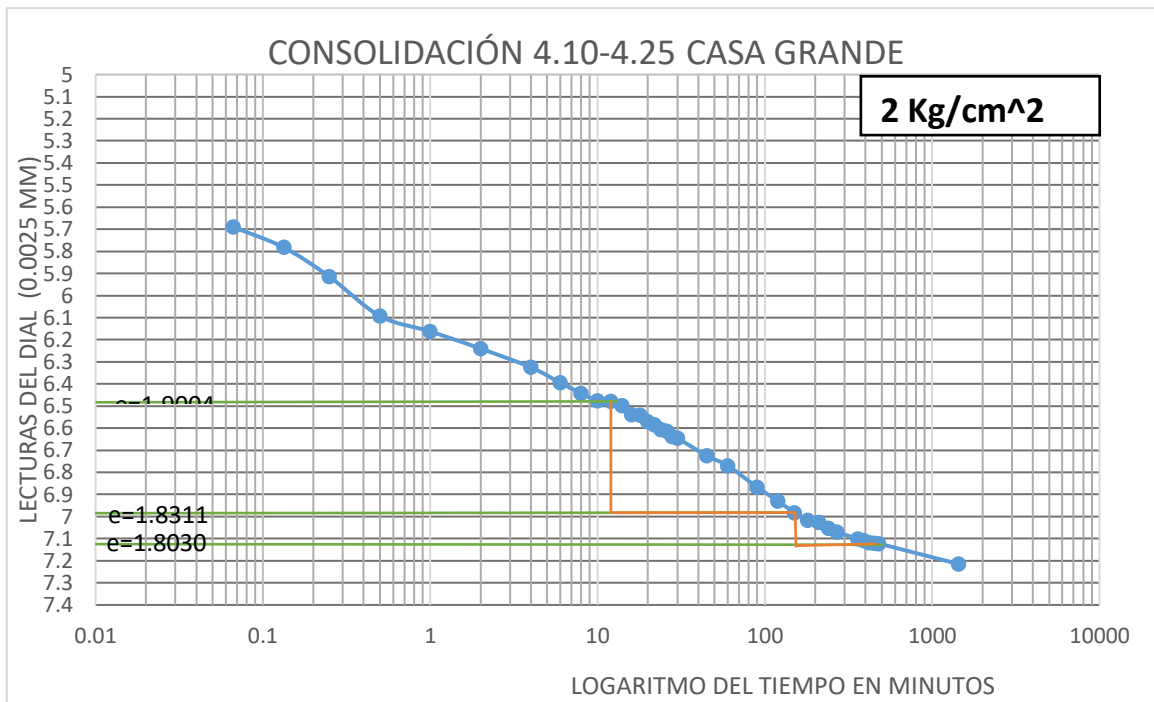


PSHEL 002 13.30-13.45 [m]										
TABLA DE RESUMENES DE C ALFA A LAS 24H DE ENSAYO										
ESTADOS DE CARGA				DATOS DEL SUELO		VALORES DE C-ALFA REFERENCIALES				
						SUELOS COMUNES				
0.775 Kg/cm^2		1.55 Kg/cm^2		Cont. Org.	47.76%	Arena	0.00003	0.00006		
C-alfa 1	0.21	C-alfa 1	0.04			W% natural	81	Limo	0.0004	
C-alfa 2	0.07	C-alfa 2	0.06			OCR	0.89	Arcilla	0.01	
C-alfa 3	0.06	C-alfa 3	0.07			CC	1.19	SUELOS ORGÁNICOS Y TURBA		
3.10 Kg/cm^2				Tiem. conso. primaria [min]	1.04	Orgánico	0.17	0.18		
C-alfa 1	0.04	C-alfa 4	0.17			Orgánico	0.04	0.1		
C-alfa 2	0.04	C-alfa 5	0.02			Turba	0.02	0.1		
C-alfa 3	0.04	C-alfa 6	0.05							
6.20 Kg/cm^2				D. Primaria promedio				33		
C-alfa 1	0.05633548	C-alfa 4	0.0527963	D. Secundaria promedio				67		
C-alfa 2	0.04991415	C-alfa 5	0.0672785							
C-alfa 3	0.07496958									
12.40 Kg/cm^2										
C-alfa 1		0.037068124								
C-alfa 2		0.104795164								
C-alfa 3		0.066136794								

ENSAYOS MAS DE 24 HOAS

METRO 4

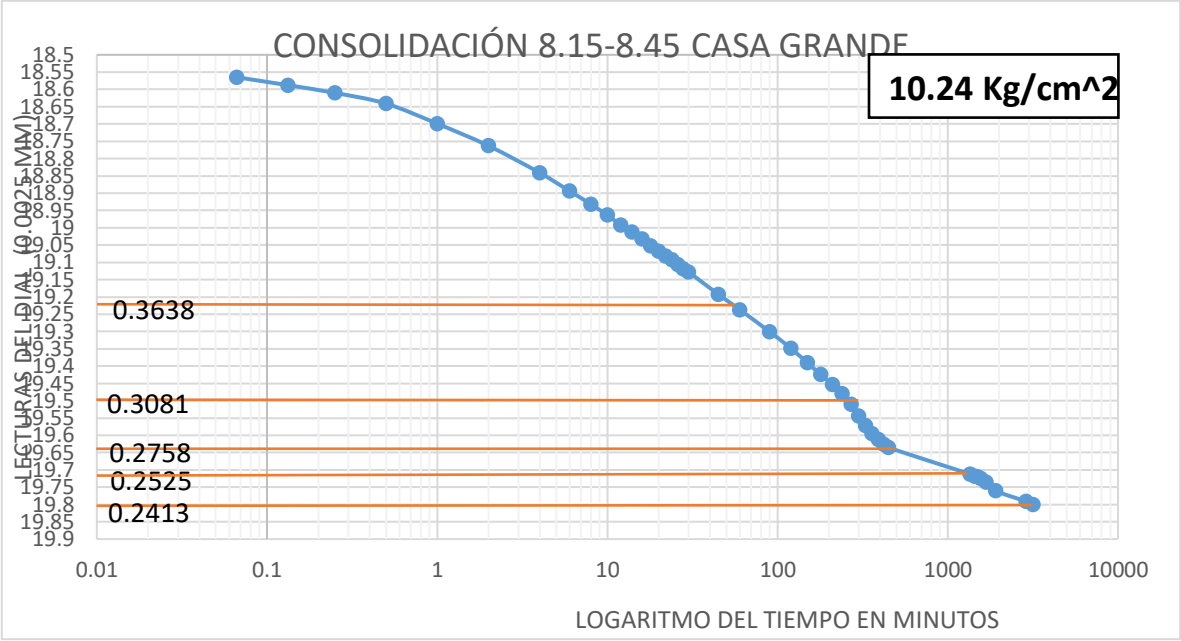




PSHEL 002 4.10-4.25 [m]										
TABLA DE RESUMENES DE C ALFA A LAS 24H DE ENSAYO										
ESTADOS DE CARGA				DATOS DEL SUELO		VALORES DE C-ALFA REFERENCIALES				
0.5 Kg/cm^2		1 Kg/cm^2				SUELOS COMUNES				
C-alfa 1	0.01	C-alfa 1	0.02	Cont.	66.65	Arena	0.00003	0.00006		
C-alfa 2	0.03	C-alfa 2	0.05	Org.	%					
C-alfa 3	0.05	C-alfa 3	0.06	W%	255.0					
C-alfa 4	0.01	C-alfa 4	0.03	natural	2	Limo	0.0004			
C-alfa 5	0.05	C-alfa 5	0.09	OCR	0.83	Arcilla	0.01			
				CC	1.38	SUELOS ORGÁNICOS Y TURBA				
				Tiem. conso. primari a [min]	9.15	Orgánico	0.17	0.18		
2 Kg/cm^2		4 Kg/cm^2				Orgánico	0.04	0.1		
C-alfa 1	0.06	C-alfa 1	0.04			Turba	0.02	0.1		
C-alfa 2	0.06	C-alfa 2	0.07							
		C-alfa 3	0.01							
		C-alfa 4	0.04							
D.Primaria promedio [%]				59						
D.Secundaria promedio [%]				41						

0.5 Kg/cm ²		2 Kg/cm ²	
PENDIENTE	0.02	PENDIEN	0.06
PROMEDIO	0.03	PROMEDI	0.06
1 Kg/cm ²		4 Kg/cm ²	
PENDIENTE	0.06	PENDIEN	0.05
PROMEDIO	0.05	PROMEDI	0.08

METRO 8

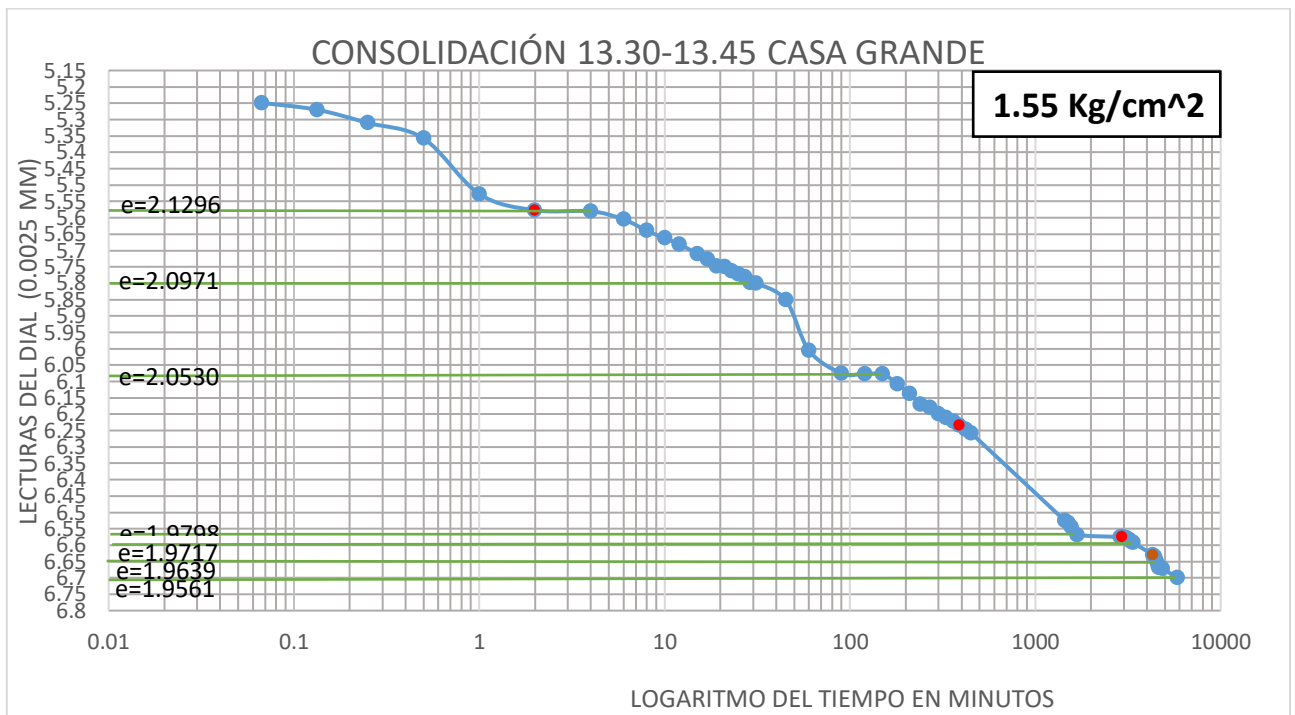


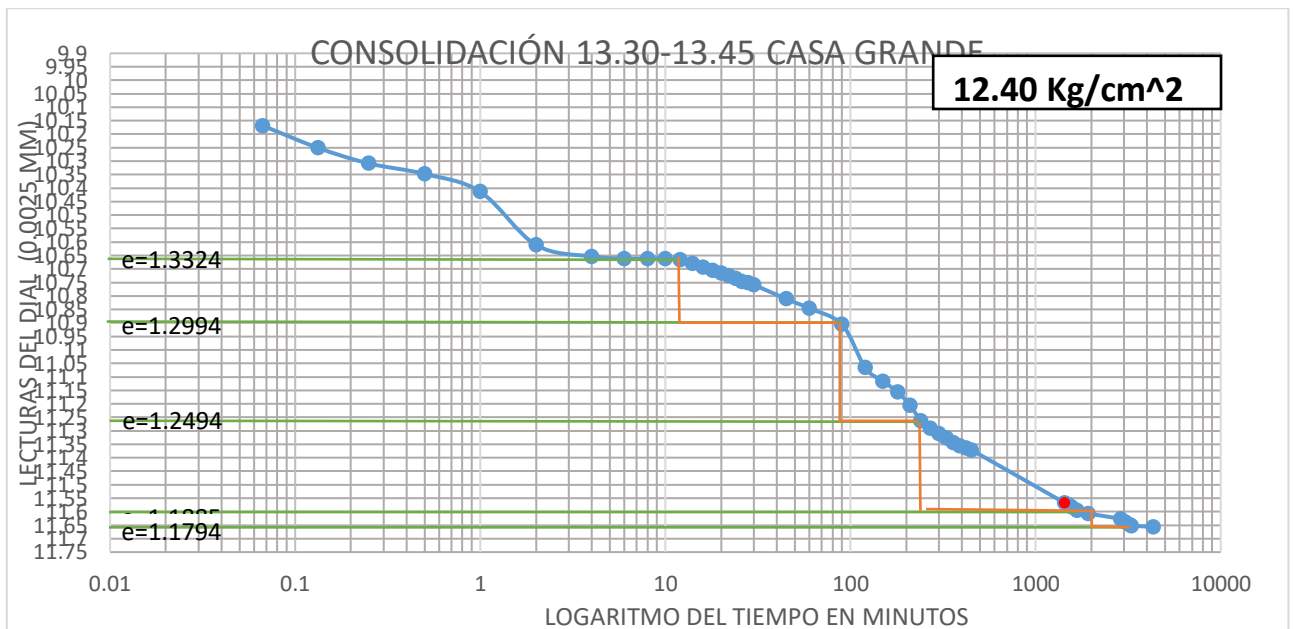
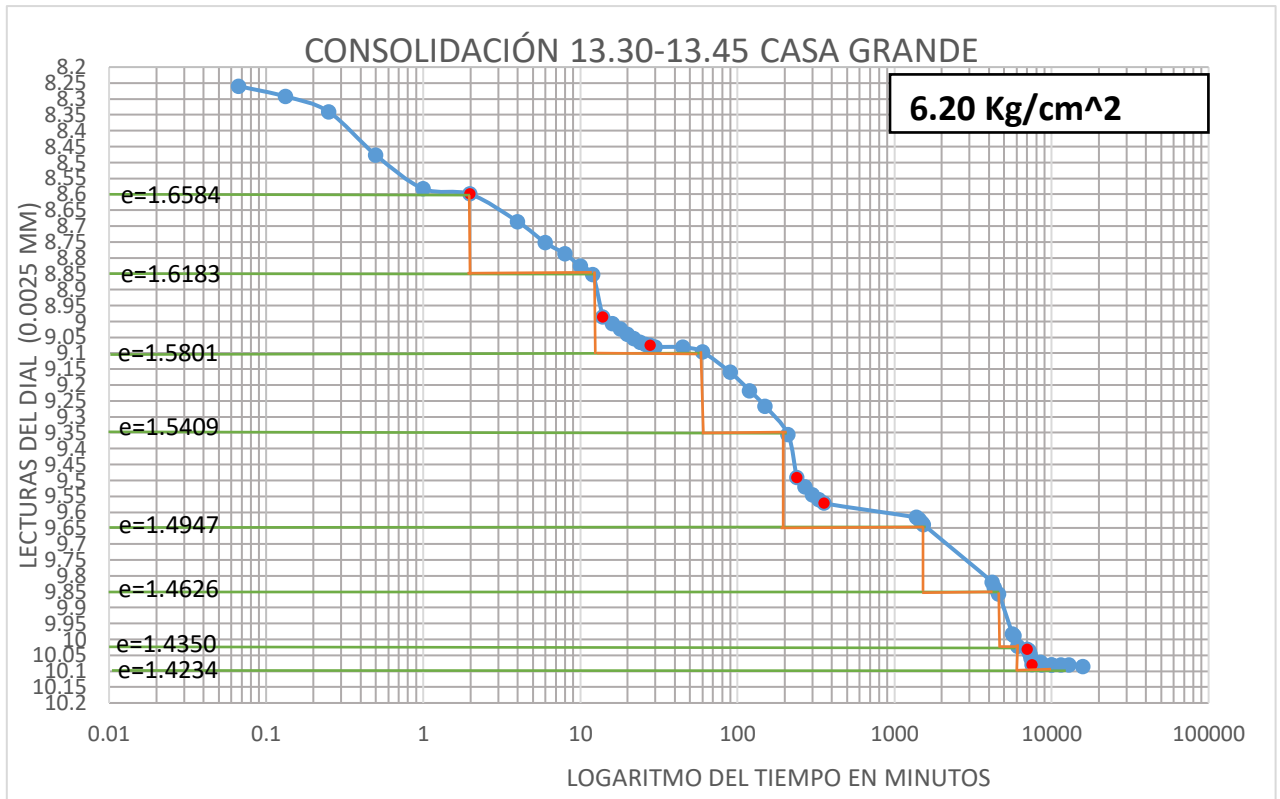
PSHEL 002 8.15-8.45 [m]							
TABLA DE RESUMENES DE C ALFA A LAS 24H DE ENSAYO							
ESTADOS DE CARGA				DATOS DEL SUELO		VALORES DE C-ALFA REFERENCIALES	
1.14 Kg/cm^2		1.28 Kg/cm^2				SUELOS COMUNES	
C-alfa 1	0.04	C-alfa 1	0.07	Cont. Org.	82.95%	Arena	0.00003 0.00006
		C-alfa 2	0.08	W% natural	212.88	Limo	0.0004
2.56 Kg/cm^2		5.12 Kg/cm^2		OCR	0.87	Arcilla	0.01
C-alfa 1	0.09	C-alfa 1	0.1	CC	2.43		
C-alfa 2	0.27	C-alfa 2	0.17	Tiem. conso. primaria	26.9	SUELOS ORGÁNICOS	
C-alfa 3	0.05	C-alfa 3	0.04	[min]		Orgánico	0.17 0.18
10.24 Kg/cm^2				D.Primaria promedio 86			
C-alfa 1 0.1				D.Secundaria promedio 14			
C-alfa 2 0.04							
C-alfa 3 0.05							
c-alfa 4 0.04							

1.14 Kg/cm ²	1.28 Kg/cm ²
PENDEINTE 0.04	PENDIENTE 0.08

PROMEDIO	0.04	PROMEDIO	0.08
2.56 Kg/cm ²		5.12 Kg/cm ²	
PENDEINTE	0.11	PENDIENTE	0.1
PROMEDIO	0.14	PROMEDIO	0.11
10.24 Kg/cm ²			
PENDEINTE	0.08		
PROMEDIO	0.06		

METRO 13





PSHEL 002 13.30-13.45 [m]									
TABLA DE RESUMENES DE C ALFA MAS DE 24H DE ENSAYO									
ESTADOS DE CARGA				DATOS DEL SUELO		VALORES DE C-ALFA REFERENCIALES			
0.775 Kg/cm^2		1.55 Kg/cm^2				SUELOS COMUNES			
C-alfa 1	0.21	C-alfa 1	0.04	Cont. Org.	47.76%	Arena	0.00003	0.00006	
C-alfa 2	0.07	C-alfa 2	0.06	W% natural	81	Limo	0.0004		
C-alfa 3	0.06	C-alfa 3	0.07	OCR	0.89	Arcilla	0.01		
		C-alfa 4	0.03	CC	1.19	SUELOS ORGÁNICOS Y TURBA			
		C-alfa 5	0.07	Tiem. conso. primaria	0	Orgánico	0.17	0.18	
		C-alfa 6	0.04	[min]		Orgánico	0.04	0.1	
3.10 Kg/cm^2						Turba	0.02	0.1	
C-alfa 1	0.04	C-alfa 4	0.17	D.Primaria promedio				30.6	
C-alfa 2	0.04	C-alfa 5	0.02	D.Secundaria promedio				69.4	
C-alfa 3	0.04	C-alfa 6	0.05						
6.20 Kg/cm^2									
C-alfa 1	0.06	C-alfa 4	0.05						
C-alfa 2	0.05	C-alfa 5	0.07						
C-alfa 3	0.07	C-alfa 6	0.04						
		C-alfa 7	0.06						
12.40 Kg/cm^2									
C-alfa 1	0.04								
C-alfa 2	0.1								
C-alfa 3	0.07								
C-alfa 4	0.04								

0.775 Kg/cm^2		1.55 Kg/cm^2	
PENDIENTE	0.08	PENDIENTE	0.06
PROMEDIO	0.11	PROMEDIO	0.05
3.10 Kg/cm^2		6.20 Kg/cm^2	
PENDIENTE	0.05	PENDIENTE	0.06
PROMEDIO	0.06	PROMEDIO	0.06
12.40 Kg/cm^2			
PENDIENTE	0.06		
PROMEDIO	0.08		

ANEXO # 9 CURVAS DE COMPRESIÓN Y OCR

ENSAYO DE+B99:Q133 CONSOLIDACIÓN 4.10-4.25 (2V)

PROYECTO:	POZO 04
SOLICITANTE:	TESIS
DESCRIPCIÓN:	CORRELACION LL VS CC

SONDEO: PESHEL002
MUESTRA: 2V
PROF.(m): 4.10-4.25

DIMENSIONES DEL ANILLO			B
ALTURA	2.538	cm	1.00 plg.
DIÁMETRO	6.347	cm	2.50 plg.
ÁREA	31.64	cm ²	
Peso Unitario inicial			1.301 g/cm3

GRADO DE SATURACIÓN %	
Inicial	100
Final	100

Gs : 2.14

$$\text{Altura de sólidos, } 2H_o = \frac{W_s}{G_s \cdot D_w \cdot A} = 0.6500 \text{ cm}; \quad 0.2559 \text{ plg.}$$

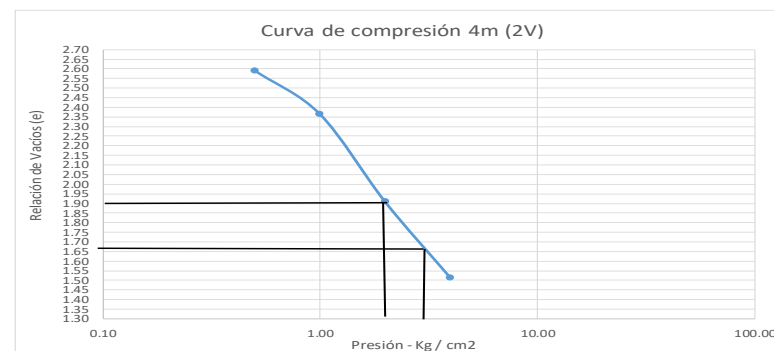
$$e = \frac{2H - 2H_0}{2H_0}$$

CONTENIDO DE HUMEDAD			
	Inicial	Final	
PESO DE LA MUESTRA			
Peso anillo-muestra hum.	613.97	607.23	g
Peso anillo-muestra seca.	553.49	550.19	g
Peso anillo	509.48	509.48	g
Peso del agua	60.48	57.04	WS
Peso suelo seco	44.01	40.71	%
Humedad	137.405	140.1	%

Carga Aplicada (kg/cm²)	Lectura Final (mm)	2H (cm)	Altura vacíos (cm.) 2H - 2H ₀	Relación de Vacíos e
0.00	0.0000	2.5377	1.8877	2.9042
0.50	2.0480	2.3329	1.6829	2.5891
1.00	3.5200	2.1857	1.5357	2.3627
2.00	6.4750	1.8902	1.2402	1.9080
4.00	9.0300	1.6347	0.9847	1.5150
8.00	23.7500	0.1627	-0.4873	-0.7497
4.00	0.0000	2.5377	1.8877	2.9042
2.00	0.0000	2.5377	1.8877	2.9042
1.00	0.0000	2.5377	1.8877	2.9042
4.00	9.5800	1.5797	0.9297	1.4303
	0.0000	2.5377	1.8877	2.9042
	0.0000	2.5377	1.8877	2.9042
	0.0000	2.5377	1.8877	2.9042
	0.0000	2.5377	1.8877	2.9042

Relación de vacíos inicial	2.9042	
Relación de vacíos final	1.9080	
Presión de preconsolidación - P_c	0.23	kg / cm ²

observaciones



CALCULO DEL OCR			CALCULO DE CC		
ysaturada	0.00145218	KG/CM3	e	$\sigma\{kg/cm^2\}$	
yseca	0.00077288	KG/CM3	1.908	2	
Profun. (cm)	400		1.665	3	
σ_c (kg/cm ²)	0.23		Δe	0.243	
σ' (kg/cm ²)	0.27708151		$\log(\Delta\sigma)$	-0.17609126	0.47712125
OCR	0.83008065	NC	cc	1.38	1.37996628
$OCR = \frac{\sigma_c}{\sigma'}$					

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN 5.15-5.30 (1V)

PROYECTO: POZO 04

SOLICITANTE TESIS

DESCRIPCIÓN CORRELACION LL VS CC

SONDEO: PSHEL002

MUESTRA: 1V

PROF.(m): 5.15-5.30

DIMENSIONES DEL ANILLO		B	
ALTURA	2.55	cm	1.00 plg.
DIÁMETRO	6.341	cm	2.50 plg.
ÁREA	31.58	cm²	
Peso Unitario inicial	1.331	g/cm³	

GRADO DE SATURACIÓN %	
Inicial	100
Final	100

Gs : 2.35

$$\text{Altura de sólidos, } 2H_o = \frac{W_s}{G_s \cdot D_w \cdot A} = 0.6615 \text{ cm}; \quad 0.2604 \text{ plg.}$$

CONTENIDO DE HUMEDAD

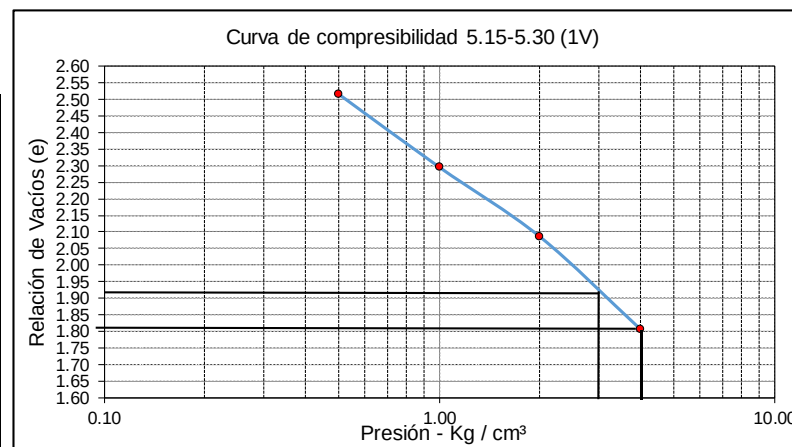
PESO DE LA	Inicial	Final		
Peso anillo+m	616.64	697.85	g	
Peso anillo+m	558.53	621.36	g	
Peso anillo	509.44	509.44	g	
Peso del agua	58.11	76.49	Ws	
Peso suelo s	49.09	111.92	%	
Humedad	118.385	68.35	%	

$$e = \frac{2H - 2H_o}{2H_o}$$

Carga Aplicada (kg/cm²)	Lectura Final (mm)	2H (cm)	Altura vacíos (cm.) 2H - 2H _o	Relación de Vacíos e
0.00	0.0000	2.5500	1.8885	2.8552
0.50	2.2400	2.3260	1.6645	2.5165
1.00	3.7000	2.1800	1.5185	2.2958
2.00	5.0900	2.0410	1.3795	2.0856
4.00	6.9400	1.8560	1.1945	1.8059
4.00	17.1200	0.8380	0.1765	0.2669
2.00	17.0100	0.8490	0.1875	0.2835
1.00	16.5800	0.8920	0.2305	0.3485
0.80	0.0000	2.5500	1.8885	2.8552
0.80	0.0000	2.5500	1.8885	2.8552
0.80	0.0000	2.5500	1.8885	2.8552
0.80	5.2500	2.0250	1.3635	2.0614
0.80	0.0000	2.5500	1.8885	2.8552

Relación de vacíos inicial	2.8552
Relación de vacíos final	1.8059
Presión de preconsolidación - Pc	0.34 kg / cm²

observaciones



22

CALCULO DEL OCR			CALCULO DE CC	
ysaturada	0.00154597	KG/CM3	e	σ(kg/cm²2)
yseca	0.00096275	KG/CM3	1.925	3
Profun. (cm)	500		1.8059	4
cc (kg/cm²2)	0.3352		Δe	0.1191
σ' (kg/cm²2)	0.39801945		log(Δσ)	-0.12493874
OCR	0.84	SC	cc	0.95
$OCR = \frac{\sigma_c}{\sigma'}$				

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN 5.15-5.30 (1V)

PROYECTO: POZO 04
SOLICITANTE TESIS
DESCRIPCIÓN: CORRELACION LL VS CC

SONDEO: PSHEL002
MUESTRA: 1V
PROF.(m): 5.15-5.30

DIMENSIONES DEL ANILLO B			
ALTURA	2.55	cm	1.00 plg.
DIÁMETRO	6.341	cm	2.50 plg.
ÁREA	31.58	cm²	
Peso Unitario inicial	1.321	g/cm³	

GRADO DE SATURACIÓN %	
Inicial	100
Final	100

Gs : 2.35

Altura de sólidos, 2H_o = $\frac{Ws}{Gs \cdot Dw \cdot A}$ = 0.5256 cm; 0.2069 plg.

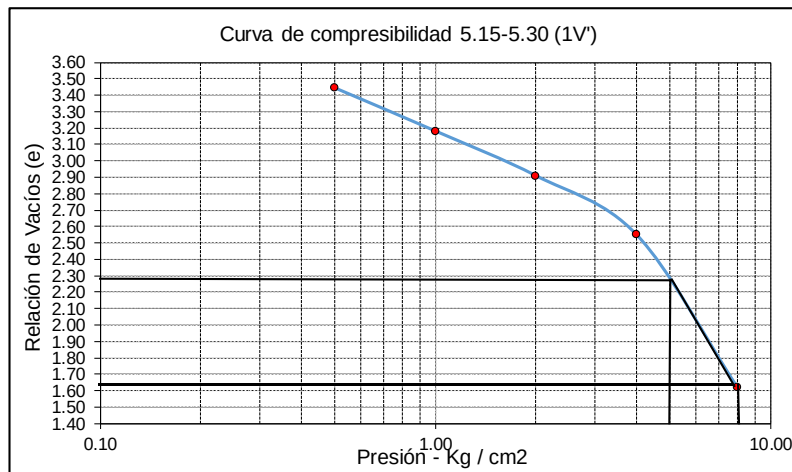
$$e = \frac{2H - 2H_o}{2H_o}$$

CONTENIDO DE HUMEDAD				
PESO DE LA	Inicial	Final		
Peso anillo+m	615.83	697.85	g	
Peso anillo+m	548.45	619.93	g	
Peso anillo	509.44	509.44	g	
Peso del agua	67.38	77.92	Ws	
Peso suelo s	39.01	110.49	%	
Humedad	172.73	70.52	%	

Carga Aplicada (kg/cm²)	Lectura Final (mm)	2H (cm)	Altura vacíos (cm.) 2H - 2H _o	Relación de Vacíos e
0.00	0.0000	2.5500	2.0244	3.8512
0.50	2.1400	2.3360	1.8104	3.4440
1.00	3.5200	2.1980	1.6724	3.1815
2.00	4.9505	2.0550	1.5293	2.9094
4.00	6.8400	1.8660	1.3404	2.5499
8.00	11.7150	1.3785	0.8529	1.6225
4.00	11.7150	1.3785	0.8529	1.6225
2.00	11.7150	1.3785	0.8529	1.6225
1.00	11.7150	1.3785	0.8529	1.6225
0.50	11.7150	1.3785	0.8529	1.6225
0.00	0.0000	2.5500	2.0244	3.8512
0.00	0.0000	2.5500	2.0244	3.8512
0.00	12.1500	1.3350	0.8094	1.5397
0.00	0.0000	2.5500	2.0244	3.8512

Relación de vacíos inicial	3.8512
Relación de vacíos final	1.6225
Presión de preconsolidación - Pc	0.50 kg / cm²

observaciones



424

CALCULO DEL OCR			CALCULO DE CC	
ysaturada	0.00155307	KG/CM3	e	σ'(kg/cm²)
yseca	0.00149777	KG/CM3	2.2685	5
Profun. (cm)	500		1.6225	8
σ _c (kg/cm²)	0.5		Δe	0.646
σ' (kg/cm²)	0.5599458		log(Δσ)	-0.20411998
OCR	0.89	SC	cc	3.16
$OCR = \frac{\sigma_c}{\sigma'}$				

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN 8.15-8.30 (S70)

PROYECTO: POZO 04
SOLICITANTE: TESIS
DESCRIPCIÓN: CORRELACION LL VS CC

SONDEO: PSHEL002
MUESTRA: S70
PROF.(m): 8.30-8.45

DIMENSIONES DEL ANILLO			B
ALTURA	2.538	cm	1.00 plg.
DIÁMETRO	6.347	cm	2.50 plg.
ÁREA	31.64	cm²	
Peso Unitario inicial			1.185 g/cm3

GRADO DE SATURACIÓN %	
Inicial	100
Final	100

Gs : 2.14

Altura de sólidos, 2Ho= $\frac{Ws}{Gs \cdot Dw \cdot A}$ = 0.4492 cm; 0.1769 plg.

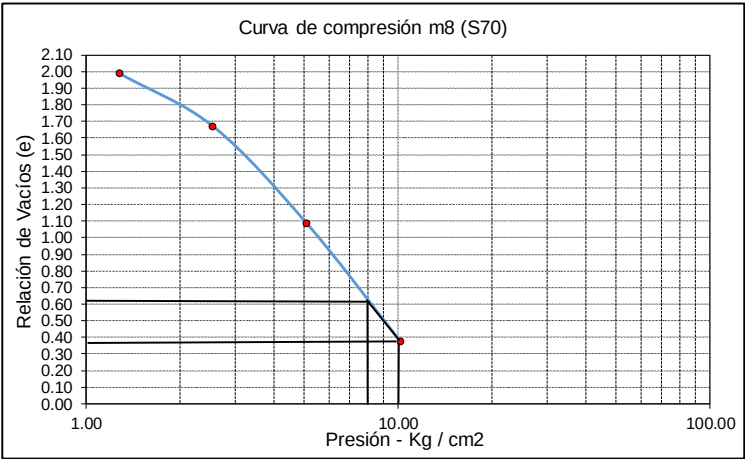
$$e = \frac{2H - 2Ho}{2Ho}$$

CONTENIDO DE HUMEDAD			
PESO DE LA MUESTRA	Inicial	Final	
Peso anillo+muestra hum.	621.44	580.87	g
Peso anillo+muestra seca.	556.68	554.77	g
Peso anillo	526.26	526.26	g
Peso del agua	64.76	26.10	Ws
Peso suelo seco	30.42	28.51	%
Humedad	212.88	91.53	%

Carga Aplicada (kg/cm²)	Lectura Final (mm)	2H (cm)	Altura vacíos (cm.) 2H - 2Ho	Relación de Vacíos e
0.00	0.0000	2.5377	2.0884	4.6488
1.14	8.5700	1.6807	1.2314	2.7411
1.28	11.9700	1.3407	0.8914	1.9843
2.56	13.4000	1.1977	0.7484	1.6660
5.12	16.0200	0.9357	0.4864	1.0828
10.24	19.2000	0.6177	0.1684	0.3749
5.12	0.0000	2.5377	2.0884	4.6488
2.56	0.0000	2.5377	2.0884	4.6488
1.28	0.0000	2.5377	2.0884	4.6488
1.14	19.8150	0.5562	0.1069	0.2380
	0.0000	2.5377	2.0884	4.6488
	0.0000	2.5377	2.0884	4.6488
	0.0000	2.5377	2.0884	4.6488
	0.0000	2.5377	2.0884	4.6488

Relación de vacíos inicial	4.6488
Relación de vacíos final	1.6660
Presión de preconsolidación - Pc	0.48 kg / cm²

425



CALCULO DEL OCR			CALCULO DE CC		
ysaturada	0.00152314	KG/CM3	e	$\sigma\{kg/cm^2\}$	
yseca	0.00096275	KG/CM3	0.635	8	
Profun. (cm)	800		0.3749	10.24	
σ_c (kg/cm²)	0.48		Δe	0.2601	
σ' (kg/cm²)	0.55039327		$\log(\Delta \sigma)$	-0.10720997	1.01029996
OCR	0.87	NC	cc	2.43	2.42608034
$OCR = \frac{\sigma_c}{\sigma'}$					

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN 8.30-8.45 (AE137)

PROYECTO: POZO 04 SONDEO: PSHEL002
SOLICITANTE: TESIS MUESTRA: AE137
DESCRIPCIÓN: CORRELACION LL VS CC PROF.(m): 8.30-8.45

DIMENSIONES DEL ANILLO		B	
ALTURA	2.540	cm	1.00 plg.
DIÁMETRO	6.310	cm	2.48 plg.
ÁREA	31.27	cm²	
Peso Unitario inicial	1.173	g/cm3	

GRADO DE SATURACIÓN %	
Inicial	100
Final	100

Gs : 2.14

Altura de sólidos, 2H_o = $\frac{W_s}{G_s \cdot D_w \cdot A}$ = 0.3866 cm; 0.1522 plg.

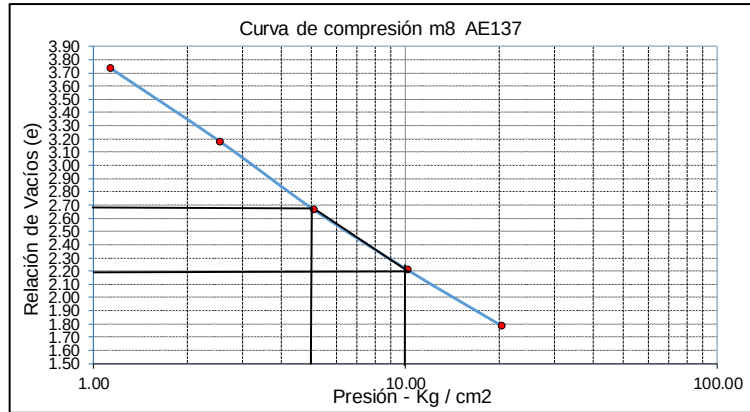
$$e = \frac{2H - 2H_o}{2H_o}$$

CONTENIDO DE HUMEDAD			
PESO DE LA MUESTRA	Inicial	Final	
Peso anillo+muestra hum.	606.02	563.22	g
Peso anillo+muestra seca.	538.71	539.18	g
Peso anillo	512.84	512.84	g
Peso del agua	67.31	24.04	Ws
Peso suelo seco	25.87	26.34	%
Humedad	260.215	91.245	%

Carga Aplicada (kg/cm²)	Lectura Final (mm)	2H (cm)	Altura vacíos (cm.) 2H - 2H _o	Relación de Vacíos e
0.00	0.0000	2.5400	2.1534	5.5704
1.14	7.1000	1.8300	1.4434	3.7338
2.56	9.2450	1.6155	1.2289	3.1789
5.12	11.2375	1.4163	1.0297	2.6635
10.24	13.0000	1.2400	0.8534	2.2076
20.48	14.6280	1.0772	0.6906	1.7865
2.56	0.0000	2.5400	2.1534	5.5704
1.14	0.0000	2.5400	2.1534	5.5704
0.00	0.0000	2.5400	2.1534	5.5704
0.00	0.0000	2.5400	2.1534	5.5704
0.00	0.0000	2.5400	2.1534	5.5704
0.00	0.0000	2.5400	2.1534	5.5704
2.56	8.0000	1.7400	1.3534	3.5010
0.00	0.0000	2.5400	2.1534	5.5704
0.00	0.0000	2.5400	2.1534	5.5704

Relación de vacíos inicial	5.5704
Relación de vacíos final	1.7865
Presión de preconsolidación - P _c	0.48 kg / cm²

observaciones



CALCULO DEL OCR			CALCULO DE CC		
ysaturada	0.00152314	KG/CM3	e	$\sigma\{kg/cm^2\}$	
yseca	0.00096275	KG/CM3	2.6635	5.12	
Profun. (cm)	800		2.2076	10.24	
σ_c (kg/cm²)	0.48		Δe	0.4559	
σ' (kg/cm²)	0.55039327		$\log(\Delta\sigma)$	-0.30103	1.01029996
OCR	0.87	NC	cc	1.51	1.51446702
$OCR = \frac{\sigma_c}{\sigma'}$					

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN 13.15-13.50 (S70)

PROYECTO: POZO 04
SOLICITANTE: TESIS
DESCRIPCIÓN: CORRELACION LL VS CC

SONDEO: PSHEL002
MUESTRA: S70
PROF.(m): 13.30-13.45

DIMENSIONES DEL ANILLO				B
ALTURA	2.557	cm	1.01	plg.
DIÁMETRO	6.309	cm	2.48	plg.
ÁREA	31.26	cm²		
Peso Unitario inicial	1.395	g/cm3		

GRADO DE SATURACIÓN %	
Inicial	100
Final	100

Gs : 2.52

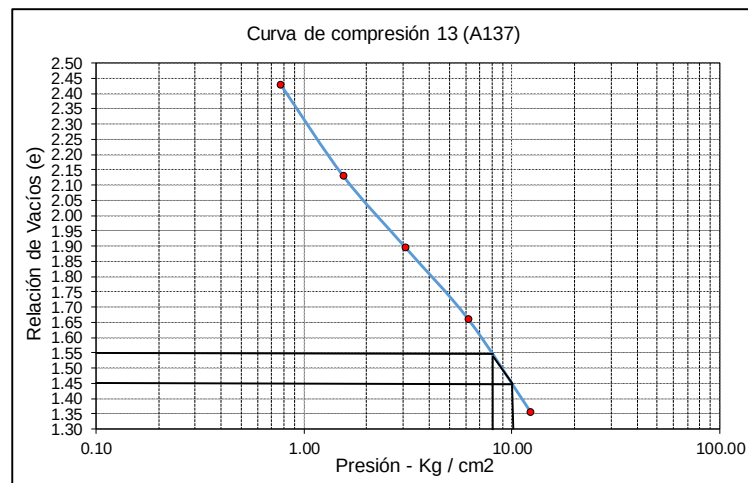
$$\text{Altura de sólidos, } 2H_o = \frac{W_s}{G_s \cdot D_w \cdot A} = 0.6383 \text{ cm, } 0.2513 \text{ plg.}$$

$$e = \frac{2H - 2H_o}{2H_o}$$

CONTENIDO DE HUMEDAD				
PESO DE LA MUESTRA	Inicial	Final		
Peso anillo+muestra hum.	629.08	580.87	g	621.44
Peso anillo+muestra seca.	567.84	550.61	g	
Peso anillo	517.55	517.55	g	
Peso del agua	61.24	30.26	Ws	
Peso suelo seco	50.29	33.06	%	
Humedad	121.78	91.53	%	

Carga Aplicada (kg/cm²)	Lectura Final (mm)	2H (cm)	Altura vacíos (cm.) 2H - 2H _o	Relación de Vacíos e
0.00	0.0000	2.5570	1.9187	3.0056
0.78	3.6800	2.1890	1.5507	2.4292
1.55	5.5930	1.9977	1.3594	2.1295
3.10	7.1000	1.8470	1.2087	1.8934
6.20	8.5980	1.6972	1.0589	1.6587
12.40	10.5500	1.5020	0.8637	1.3529
6.20	0.0000	2.5570	1.9187	3.0056
3.10	0.0000	2.5570	1.9187	3.0056
1.55	0.0000	2.5570	1.9187	3.0056
0.78	9.8500	1.5720	0.9337	1.4626
	0.0000	2.5570	1.9187	3.0056
	0.0000	2.5570	1.9187	3.0056
	0.0000	2.5570	1.9187	3.0056
	0.0000	2.5570	1.9187	3.0056

Relación de vacíos inicial	3.0056
Relación de vacíos final	1.3529
Presión de preconsolidación - P _c	0.35 kg / cm²



CALCULO DEL OCR			CALCULO DE CC		
ysaturada	0.00139386	KG/CM3	e	σ(kg/cm²)	
yseca	0.00065297	KG/CM3	1.558	8	
Profun. (cm)	800		1.443	10	
σ _c (kg/cm²)	0.35		Δe	0.115	
σ' (kg/cm²)	0.39282044		log(Δσ)	-0.09691001	1
OCR	0.89	NC	cc	1.19	1.18666788
$OCR = \frac{\sigma_c}{\sigma'}$					

BIBLIOGRAFÍA

- Alva Hurtado , J. E. (s.f.). *Esfuerzo Efectivo*. Obtenido de chrome-extension://ohfgljdgelakfkefopgkclcohadegdpjf/http://www.jorgealvahurtado.com/files/labgeo19_a.pdf
- Alvarado, A. (1996). Evolución Geológica cuaternaria y pañeosismicidad de la Cuenca de Quito. *Tesis EPN*. Quito, Ecuador.
- Aspden, J. A. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador . En J. A. Aspden, *The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador* (págs. 187-204). Tectonophysics.
- ASTM, I. (1993). ASTM D 2487-93. *Sistema Unificado de Clasificación de suelos*.
- AVILÉS PONCE, L. R. (Nobiembre de 2013). “*CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DEL SUR DE LA CIUDAD DE QUITO*”.MAYO 2013. Quito, Ecuador: Univercidad Central del Ecuador.
- Avíles, E. (s.f.). *Enciclopedia del Ecuador*. Obtenido de <http://www.encyclopediadelecuador.com/historia-del-ecuador/provincia-del-pichincha/>
- Avíles, L. R. (Mayo de 2013). Caracterización Geológica-geotécnica del sur de la ciudad de Quito. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- BADILLO, E. J. (2005). *MECÁNICA DE SUELOS* . MEXICO: LIMUSA .
- Baroni, M., & Almeida , M. (2017). Compressibility and stress history of very soft organic clays. *Institution of Civil Enginners*, 148-160.
- BORSELLI, L. (03 de 09 de 2019). Geotécnia 1. *Clasificación ingenieril de los suelos y macizos rocosos* .
- Braja, M. D. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Australia: CENGAGE Learning.
- Bujang B.K: Huat, A. P. (2014). *Geotechnics of organic soil and peat*. Boca del Raton, London, New York, Leiden: CRC Press.

- Cortez, R. (6 de Diciembre de 2015). De la hacienda a las ciudadelas y al crecimiento vertical. *EL COMERCIO*.
- DAS, B. M. (2005). *FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA*. Mexico.
- DAS, B. M. (2015). *FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA* (cuara edición ed.). Mexico: CENGAGE Learning .
- Das, M. B. (1998). *Mecánica de suelos*.
- Dhowian, & Edil. (1980). *Consolidation behavior of peats*. Geotechnical Testing Journal.
- Duque Escobar, G. a. (2016). *Gromecànica* . Obtenido de Relaciones gravimétricas y volumétricas del suelo : <http://bdigital.unal.edu.co/53252/11/relacionesgravimetricasyvolumetricasdel suelo.pdf>
- Duque Escobar, G., & Escobar Potes, C. E. (2002). *TEXTO PARA LA ASIGNATURA MECÁNICA DE MECANICA DE SUELOS I*. Manizales .
- EcuREd. (s.f.). *EcuREd*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Quito>
- eltelégrafo. (12 de 01 de 2019). Quito es ahora la ciudad más poblada de Ecuador. *eltelégrafo*.
- EPMAPS, E. C. (2015 de Noviembre de 2015). Suspensión de Agua. *14 horas de suspensión de agua en seis parroquias del sur*, pág. 1.
- Esparza Villalba , C. A. (06 de 08 de 2009). *Slideshare*. Obtenido de ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS : <https://es.slideshare.net/UCGcertificacionvial/consolidacin-unidimensional-de-los-suelos-1823900>
- García, I. S. (2010). *CENAMEP*. Obtenido de Clasificación de los hidrómetros: http://www.cenam.mx/myd/SIM/05%20Hydrometers%20Clasification%20part%201_Sa%C3%BAI%20Garc%C3%ADa.pdf
- Garibay, I. S. (2014). *geologiaygeotecnia*. Obtenido de Tipos de suelos caracteristicas tacto-visuales :

https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Caracteristicas%20tacto%20visuales%202014_2s_imp.pdf

Herrera, J. C. (2012). *Utilización de técnicas de sondeos en estudios geotécnicos*. Madrid: Laboratorio de Tecnologías Mineras.

INEC. (2010). *Insituto nacional de estadistica y censo*. Obtenido de ecuadorencifras.

INTERNATIONAL, A. (01 de 02 de 2017). ASTM D1140-17. *Standard Test Methods for Determining the Amount of Material Finer than 75- μ m (No.200) Sieve in Soils by Washing*.

INTERNATIONAL, A. (1994). *ASTM D 4427-9495*.

INTERNATIONAL, A. (2014). ASTM 2974-14. *Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other*.

INTERNATIONAL, A. (1 de 11 de 2014). ASTM D2113-14. *Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Exploration*.

INTERNATIONAL, A. (01 de 05 de 2014). ASTM D854-14. *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*1.

INTERNATIONAL, A. (01 de 05 de 2014). ASTM D854-14. *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*.

INTERNATIONAL, A. (15 de 11 de 2015). ASTM D1587/D1587M – 15. *Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Fine-Grained Soils for Geotechnical Purposes*.

INTERNATIONAL, A. (15 de 12 de 2017). ASTM D 2487-17. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*.

INTERNATIONAL, A. (15 de 07 de 2017). ASTM D2488-17. *Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures)*1.

INTERNATIONAL, A. (01 de 06 de 2017). ASTM D4318-17. *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*.

- INTERNATIONAL, A. (08 de 01 de 2019). ASTM D1586M-18. *Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils*.
- INTERNATIONAL, A. (2019). ASTM D2216-19. *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*.
- INTERNATIONAL, A. (31 de 01 de 2019). ASTM D2435/D2435M – 11. *Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading*.
- INTERNATIONAL, A. (31 de 01 de 2019). ASTM D2435/D2435M – 11. *Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading*¹.
- Jácome, E. (6 de Diciembre de 2018). Cinco desafíos marcan el crecimiento de Quito. *EL COMERCIO*.
- Jiménez, S. (20 de Junio de 2016). *Hidráulica Fácil*. Obtenido de Granulometría- Método del hidrómetro: fundamentos teóricos, aplicaciones: <https://www.hidraulicafacil.com/2016/06/granulometria-metodo-del-hidrometro.html>
- Kazemian S., H. B. (2009). *Compressibility characteristics of fibrous tropical peat reinforced with cement column, Electronic J. . Geotechn Eng.*
- LA HORA. (01 de Febrero de 2018). *Quito, ciudad que acoge y crece*.
- Lambe, & whitman. (2004). *Mecánica de suelos* . México: LIMUSA.
- Li, W., C. O'Kelly, B., Yang, M., Fang, K., Li, X., & Li, H. (2020). Specific gravity of solids relationship with ignition loss for peaty soils. *institution of civil engineers*, 134-145.
- McCabe, B., Sheil, B., Long, M., Buggy, F., & Farrell, E. (2014). Empirical correlations for the compression index of Irish soft soils. *Institution of Civil Engineers*, 510-517.
- Medina, A. (7 de Enero de 2015). *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/pichincha-santodomingo-definieron-limites.html>

- Merizalde, M. B. (22 de febrero de 2018). Moradores de Solanda 1 temen que sus casas se desplomen por hundimiento. *EL COMERCIO*, págs. 1-2.
- Mesri G, A. M. (2007). *Engineering propierties of fibrous peats*. Eng: Geotech.
- Molina, J. (2011). *Monografías*. Obtenido de La materia orgánica del suelo: <https://www.monografias.com/trabajos87/materia-organica-del-suelo/materia-organica-del-suelo.shtml#:~:text=La%20materia%20org%C3%A1nica%20es%20uno,disp onibilidad%20de%20macro%20y%20micronutrientes>.
- Ocoña, D. S. (2019). *IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE CALIBRACIÓN DE LA ENERGÍA DE PENETRACIÓN DINÁMICA SEGÚN LA NORMATIVA ASTM D4366-16, CON APLICACIÓN AL ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN SUELOS GRANULARES EN UNA ZONA ESPECÍFICA DE MANABÍ*. Quito.
- Poliotti, M., & Sierra, P. (2011). *CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE SUELOS (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Rosario , Rosario . Obtenido de https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Consolidacion%20unidim%20de%20suelos_2011s2.pdf
- PUCE, L. d. (2019). *ACTUALIZACIÓN DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE QUITO-PRIMERA FASE*. Quito .
- Quito, D. M. (2013). *Mapa de parroquias Urbanas y Rurales de Quito*. Obtenido de <https://www.yumpu.com/en/document/read/54453128/pisp-mapa-parroquias-urbanas-y-rurales-quito-actualizacion-datos>
- Quito, D. M. (s.f.). *Goraymi*. Obtenido de <https://www.goraymi.com/es-ec/pichincha/quito/mapas/parroquias-quito-abzlc3d9s>
- Roberts, T. L., & Henry, J. L. (s.f.). *EL MUESTREO DE SUELOS: LOS BENEFICIOS DE UN BUEN TRABAJO* .
- Rogers, J. D. (2017). *SUBSURFACE EXPLORATION USING THE STANDARD PENETRATION TEST AND CONO PENETROMETER TEST* . *Departamento de Ciencias Geológicas e Ingeniering, 125 McNutt Hall, Universidad de MissouriRolla, Rolla, MO 65409-0230*.

Sina, K., Bujan Bin, K., Arun , P., & Maassoumeh, B. (24 de March de 2011). A state of art review of peat: Geotechnical engineering. *International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(8)*, 1974-1981.

últimasNoticias. (29 de diciembre de 2016). Solanda, otra ciudad en el sur de Quito. *Diario últimas noticias*.

Umaña Romero , J. L. (2008). REVISIÓN DE ALGUNOS ASPECTOS RELEVANTES DEL FENÓMENO DE CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA. *Tesis para la obtención de grado*. Ciudad unovercitaria, México.

Villagómez, D. (2003). Evolución Geológica Pilo-Cuaternario del Valle Interandino Central del Ecuador . *Tesis de grado EPN*. Quito, Ecuador.

Vizuite, C. (2010). *Viva comunicación integral*. Obtenido de La historia de Turubamba: <http://vivacomunicacionintegral.blogspot.com/2010/09/normal-0-21-false-false-false-es-ar-x.html>

Vizuite, V. (2015). *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito-hacienda-ciudadelas-crecimientovertical>