

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil
y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**“ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LOS ENSAYOS
DE MECÁNICA DE SUELOS BASADOS EN LAS NORMAS NTP -
NORMA TÉCNICA PERUANA (PERÚ), MTC – MINISTERIO
DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (PERÚ) y ASTM –
AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (USA)”**

Tesis presentada por los Bachilleres:

Estrella Gutiérrez, Royer

Ormachea Echandia, Giancarlo Giovani

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Mgter. Gamarra Tuco, Rubén Francisco

Arequipa- Perú

2021

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 29 de Enero del 2021

Dictamen: 000622-C-EPIC-2021

Visto el borrador del expediente 000622, presentado por:

2014202851 - ORMACHEA ECHANDIA GIANCARLO GIOVANI

2014221241 - ESTRELLA GUTIÉRREZ ROYER

Titulado:

**ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LOS ENSAYOS DE MECÁNICA DE
SUELOS BASADOS EN LAS NORMAS NTP - NORMA TÉCNICA PERUANA (PERU), MTC ?
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (PERÚ) Y ASTM ? AMERICAN SOCIETY
FOR TESTING MATERIALS (USA)**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1888 - NEIRA ARENAS JULY LILIAM
DICTAMINADOR**



**2778 - UGARTE CALDERON ENRIQUE ALFONSO
DICTAMINADOR**



**3044 - GAMARRA TUCO RUBEN FRANCISCO
DICTAMINADOR**



Dedicatorias

Esta tesis está dedicada a la memoria de mi tío Nilton y a la memoria de mis abuelos Abdon y Elena, quienes en vida siempre invirtieron su fe en mí, brindándome la fuerza y el aliento para poder seguir adelante.

Royer Estrella Gutiérrez



Agradecimientos

Agradezco a Dios por acompañarme en este duro y largo camino, siendo mi luz en todo momento y la guía para lograr mis metas.

A mi madre Norma por todo su amor, su comprensión y su inalcanzable ayuda en cada momento de mi vida, porque sé que guiarme y ayudarme a convertirme en la persona que soy ahora fue un arduo trabajo, pero hoy ya puedes ver los frutos. Espero de ahora en adelante poder retribuir no tan solo tu amor sino también todo lo que haz dado por mí y hacerte sentir orgullosa de cada paso que dé.

A mis hermanos Andre y Preetty, por ser mi alegría de cada día y ese impulso necesario para seguir adelante. A Maryan por todo su apoyo incondicional, gracias por no rendirte conmigo. A toda mi familia y amigos por que con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

Royer Estrella Gutiérrez

Dedicatorias

Esta tesis está dedicada con todo mi corazón a Luciana y mi familia, ustedes han sido y son los cimientos de mi desarrollo.

Giancarlo Giovani Ormachea Echandia



Agradecimiento

Agradezco a Diana y Julio, que privilegio tenerlos como padres , me siento satisfecho de poder hoy darles los frutos de su sacrificio, lo que me han brindado fue y es sumamente importante para llegar a este momento. Gracias por su amor, aliento y ayuda.

Giancarlo Giovani Ormachea Echandia

RESUMEN

La presente tesis realiza el análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos básicos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA). Así mismo hace énfasis en la necesidad de contar con un diagrama de flujo de procesos para cada ensayo como estrategia para alcanzar los objetivos y tener éxito en la investigación.

El punto inicial es la ejecución de los distintos ensayos contemplados en las tres normas mencionadas, utilizando una muestra de suelo ubicado en la zona de Mollebaya.

Como parte del análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos contemplados, se determinará los factores que provocan la variación de resultados para un mismo ensayo de laboratorio. Se evaluarán los distintos ensayos teniendo en cuenta una misma muestra de suelo para finalmente presentar las ventajas y desventajas correspondientes a nuestra investigación.

Palabras claves: variabilidad de los ensayos, mecánica de suelos, normas NTP.

ABSTRACT

This thesis analyzes and determines the variability of basics soil mechanics tests based on NTP standards - Peruvian Technical Standard (PERU), MTC – Ministry of Transportation and Communications (PERU) and ASTM - American Society for Testing Materials (USA). It also emphasizes the need to have a process flow diagram for each trial as a strategy to achieve the objectives and succeed in the investigation.

The initial point is the execution of the different tests contemplated in the three mentioned norms, using a soil sample located in Mollebaya area.

As part of the analysis and determination of the variability of the tests contemplated, the factors that cause the variation of results for the same laboratory test will be determined. The different trials will be evaluated taking into account the same soil sample to finally present the advantages and disadvantages corresponding to our research.

Keywords: test variability, soil mechanics, NTP standards.

INTRODUCCIÓN

Capítulo I: Se describe el planteamiento del problema de nuestra investigación, respondiendo a nuestra incógnita: ¿Cuál es la diferencia en los procesos de ejecución y posterior resultado de los distintos tipos de ensayos más recurrentes para la elaboración de informes de Mecánica de Suelos en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERU) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)?. Con el cual se plantearon nuestros objetivos generales, específicos y la Hipótesis de nuestra investigación: “Se tiene metodologías diferentes para el desarrollo de los distintos ensayos contemplados, es probable que los resultados analizando estas variaciones de metodologías no afecten con el resultado global buscado para cada norma mencionada”.

Capítulo II: Se detalló los principales antecedentes de investigación y los conceptos más importantes en el marco teórico, definiciones como: cuarteo, contenido de humedad, límite líquido y más.

Capítulo III: Se detalla la parte experimental de nuestra investigación, las zonas de estudio, la descripción de los ensayos realizados en el laboratorio con los cuales se determinarán las propiedades mecánicas de la muestra a ensayar.

Capítulo IV: Para este capítulo se presentan los resultados obtenidos de los ensayos, gráficas y discusión de los mismos. Adicionalmente se presentan diagramas de flujo de procesos para cada ensayo como una guía para los estudiantes de ingeniería civil y/o personas que se encuentran interesadas en la mecánica de suelos.

ÍNDICE

	Pág.
DICTAMEN APROBATORIO	ii
DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN.....	vii
CAPITULO I.	1
1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO	1
1.1. Diagnóstico Situacional.....	2
1.2. Formulación del Problema	2
1.3. Variables.....	2
1.3.1. Variables Independientes.....	2
1.3.2. Variables Dependientes	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos	3
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Justificación de la investigación.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de la Investigación	6
2.2. Fundamentos teóricos.....	6
2.2.1. Cuarteo	6

2.2.2. Contenido de Humedad	7
2.2.3. Límite de Líquido (LL).....	9
2.2.4. Límite Plástico (LP).....	11
2.2.5. Índice de Plasticidad	12
2.2.6. Gravedad Específica	12
2.2.7. Compactación de Suelos	13
2.2.8. Cono de arena	15
CAPÍTULO III.	17
3. METODOLOGÍA.....	17
3.1. Obtención de la muestra	18
3.1.1. Ubicación	18
3.1.2. Procedimiento de la obtención de la muestra	19
3.2. Caracterización del material	20
3.2.1. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo	20
3.2.1.1. Norma Técnica Peruana 339.126	20
I. Aparatos	20
II. Procedimiento.....	20
3.2.1.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E103.....	21
I. Aparatos	21
II. Procedimiento.....	21
3.2.1.3. American Society for Testing Materials C702.....	22
I. Aparatos	22
II. Preparación de muestra	23
III. Procedimiento.....	23
3.2.2. Obtención en laboratorios de muestras representativas	24
3.2.2.1. Norma Técnica Peruana 339.089	24
I. Aparatos	24
II. Preparación de muestra	24
III. Procedimiento.....	24
3.2.2.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E105.....	26
I. Aparatos	26

II. Preparación de muestra	26
III. Procedimiento.....	26
3.2.2.3. American Society for Testing Materials C702.....	27
I. Aparatos	27
II. Preparación de muestra	27
III. Procedimientos	28
3.2.3. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo..	29
3.2.3.1. Norma Técnica Peruana 339.127	29
I. Aparatos	29
II. Preparación de muestra	29
III. Procedimiento.....	30
IV. Cálculos.....	31
3.2.3.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E108.....	32
I. Aparatos	32
II. Preparación de muestra	32
III. Procedimiento.....	33
IV. Cálculos.....	34
3.2.3.3. American Society for Testing Materials D2216.....	35
I. Aparatos	35
II. Preparación de muestra	36
III. Procedimiento.....	36
IV. Cálculos.....	37
3.2.4. Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo	38
3.2.4.1. Norma Técnica Peruana 339.090	38
I. Aparatos	38
II. Muestreo.....	39
III. Preparación de la muestra.....	39
3.2.4.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 106.....	40
I. Aparatos	40
II. Muestreo.....	41
III. Preparación de la muestra.....	41
3.2.4.3. American Society for Testing Materials D421.....	42
I. Aparatos	42

II. Muestreo	43
III. Preparación de la muestra.....	43
3.2.5. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico.....	44
3.2.5.1. Norma Técnica Peruana 339.128	44
I. Aparatos	44
II. Preparación de la muestra.....	45
III. Procedimientos	45
IV. Cálculos	47
3.2.5.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E107.....	50
I. Aparatos	50
II. Preparación de la muestra.....	50
III. Procedimiento.....	51
IV. Cálculos	52
3.2.5.3. American Society for Testing Materials D422.....	55
I. Aparatos	55
II. Preparación de la muestra.....	56
III. Procedimiento.....	56
IV. Cálculos	58
3.2.6. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo	61
3.2.6.1. Norma Técnica Peruana 339.131	61
I. Aparatos	61
II. Calibración del frasco volumétrico	61
III. Preparación de la muestra.....	62
IV. Procedimiento.....	63
V. Cálculos	63
3.2.6.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E113.....	65
I. Aparatos	65
II. Calibración de frasco volumétrico	65
III. Preparación de la muestra.....	68
IV. Procedimiento.....	69
V. Cálculos	71
3.2.6.3. American Society for Testing Materials D854.....	73
I. Aparatos	73

II. Calibración de frasco volumétrico	74
III. Preparación de la muestra.....	77
IV. Procedimiento.....	78
V. Cálculos	80
3.2.7. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).....	82
3.2.7.1. Norma Técnica Peruana 339.134	82
I. Aparatos	82
II. Preparación de la muestra.....	82
III. Procedimiento.....	82
3.2.7.2. American Society for Testing Materials D2487.....	90
I. Aparatos	90
II. Preparación de la muestra.....	90
III. Procedimiento.....	90
3.2.8. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.....	97
3.2.8.1. Norma Técnica Peruana 339.141	97
I. Aparatos	97
II. Selección de método.....	101
III. Calibración	102
IV. Muestra de ensayo	104
V. Preparación del ensayo	104
VI. Procedimiento.....	104
VII. Cálculos	109
3.2.8.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E115.....	111
I. Aparatos	111
II. Selección de método.....	115
III. Calibración	116
IV. Muestra de ensayo	118
V. Preparación del ensayo	118
VI. Procedimiento.....	119
VII. Cálculos	124
3.2.8.3. American Society for Testing Materials D 1557.....	126
I. Aparatos	126

II. Selección de método.....	130
III. Calibración	131
IV. Muestra de ensayo	133
V. Preparación del ensayo	133
VI. Procedimiento.....	133
VII. Cálculos	140
3.2.9. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in- situ mediante el método del cono de arena	142
3.2.9.1. Norma Técnica Peruana 339.143	142
I. Aparatos	142
II. Calibración de la densidad de la arena	144
III. Calibración del aparato de cono arena	146
IV. Procedimiento.....	148
V. Cálculos	151
3.2.9.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E117.....	153
I. Aparatos	153
II. Calibración de la densidad de la arena	156
III. Calibración del aparato de cono arena	158
IV. Procedimiento.....	160
V. Cálculos	163
3.2.9.3. American Society for Testing Materials D1556.....	165
I. Aparatos	165
II. Calibración de la densidad de la arena	168
III. Calibración del aparato de cono arena	170
IV. Procedimiento.....	172
V. Cálculos	175
3.2.10. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.....	177
3.2.10.1. Norma Técnica Peruana 339.129	177
I. Aparatos	177
II. Calibración del aparato.....	180
III. Preparación de especímenes de ensayo	182
IV. Procedimiento para determinar el límite líquido.....	185
V. Cálculos para determinar el límite líquido	187

VI. Procedimiento para determinar el límite plástico.....	188
VII. Cálculos para determinar el límite plástico	190
VIII. Cálculos para determinar el Índice Plástico.....	191
3.2.10.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E110-E111.....	192
I. Aparatos	192
II. Obtención de la muestra para límite líquido	193
III. Procedimiento para determinar el límite líquido (Multipunto)	194
IV. Cálculos (Multipunto) para límite líquido.....	197
V. Procedimiento.....	198
VI. Cálculos de Limite Plástico (L.P.)	198
VII. Cálculos de índice de plasticidad (I.P.)	199
3.2.10.3. American Society for Testing Materials D4318.....	201
I. Aparatos	201
II. Calibración del aparato.....	203
III. Preparación de especímenes de ensayo	205
IV. Procedimiento para determinar el límite líquido (Multipunto)	209
V. Cálculos para determinar el límite líquido	213
VI. Procedimiento para determinar el límite plástico.....	213
VII. Cálculos para determinar el límite plástico	216
VIII. Cálculos para determinar el Índice Plástico.....	218
CAPÍTULO IV.....	220
4. ANÁLISIS DE VALORES OBTENIDOS.....	220
4.1. Determinación de la variación en la utilización de equipo y herramientas.	221
4.1.1. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo	221
4.1.2. Obtención en laboratorios de muestras representativas	222
4.1.3. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo	223
4.1.4. Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo	224
4.1.5. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico.....	225

4.1.6. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo	226
4.1.7. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).....	227
4.1.8. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.	228
4.1.9. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena	229
4.1.10. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.....	230
4.2. Determinación de la variación con respecto a la selección de la muestra.....	231
4.2.1. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo.	231
4.2.2. Obtención en laboratorios de muestras representativas	232
4.2.3. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo	233
4.2.4. Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo	234
4.2.5. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico.....	235
4.2.6. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo	236
4.2.7. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).....	237
4.2.8. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.	238
4.2.9. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.....	239
4.3. Determinación de la variación con respecto al procedimiento del ensayo.....	240
4.3.1. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo.	240
4.3.2. Obtención en laboratorios de muestras representativas	242
4.3.3. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo	244
4.3.4. Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo	245

4.3.5. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico.....	247
4.3.6. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo.	249
4.3.7. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).....	251
4.3.8. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.	252
4.3.9. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena	254
4.3.10. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.....	256
4.4. Determinación de la variación con respecto al análisis y resultados.	258
4.4.1. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo	258
4.4.2. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico.....	259
4.4.3. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo	262
4.4.4. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).....	263
4.4.5. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.	264
4.4.6. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena	266
4.4.7. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.....	267
4.5. Diagramas de flujo de procesos de cada ensayo	270
4.5.1. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo	270
4.5.1.1. Norma Técnica Peruana 339.126	270
4.5.1.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 103.....	270
4.5.1.3. American Society for Testing Materials C 702.....	270
4.5.2. Obtención en laboratorios de muestras representativas.....	271
4.5.2.1. Norma Técnica Peruana 339.089	271
4.5.2.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 105.....	271

4.5.2.3.	American Society for Testing Materials C 702.....	271
4.5.3.	Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo	272
4.5.3.1.	Norma Técnica Peruana 339.127	272
4.5.3.2.	Ministerio de Transportes y Comunicaciones E108.....	272
4.5.3.3.	American Society for Testing Materials D 2216.....	272
4.5.4.	Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo	273
4.5.4.1.	Norma Técnica Peruana 339.090	273
4.5.4.2.	Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 106.....	274
4.5.4.3.	American Society for Testing Materials D 421.....	275
4.5.5.	Método de ensayo para el Análisis Granulométrico.....	276
4.5.5.1.	Norma Técnica Peruana 339.128	276
4.5.5.2.	Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 107.....	277
4.5.5.3.	American Society for Testing Materials D422.....	278
4.5.6.	Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo	279
4.5.6.1.	Norma Técnica Peruana 339.131	279
4.5.6.2.	Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 113.....	279
4.5.6.3.	American Society for Testing Materials D 854.....	280
4.5.7.	Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).....	280
4.5.7.1.	Norma Técnica Peruana 339.134	280
4.5.7.2.	American Society for Testing Materials D 2487.....	281
4.5.8.	Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.....	281
4.5.8.1.	Norma Técnica Peruana 339.141	281
4.5.8.2.	Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 115.....	282
4.5.8.3.	American Society for Testing Materials D 1557.....	283
4.5.9.	Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in- situ mediante el método del cono de arena	284
4.5.9.1.	Norma Técnica Peruana 339.143	284
4.5.9.2.	Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 117.....	285
4.5.9.3.	American Society for Testing Materials D 1556.....	286
4.5.10.	Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e	

índice de plasticidad de suelos.....	287
4.5.10.1. Norma Técnica Peruana 339.129	287
4.5.10.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 110-E111.....	288
4.5.10.3. American Society for Testing Materials D 4318.....	289
CAPÍTULO V.....	290
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	290
5.1. Conclusiones	291
5.2. Recomendaciones.....	296
Lista de referencias.....	298
ANEXOS	302
ANEXO A. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo	303
ANEXO B. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico	306
ANEXO C. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo	324
ANEXO D. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).....	331
ANEXO E. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.....	333
ANEXO F. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena.....	343
ANEXO G. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.....	346

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1, <i>Grado de plasticidad</i>	12
Tabla 2, <i>Valores típicos de la gravedad específica de las partículas.</i>	13
Tabla 3, <i>Cantidad minima de especimen requerida para contenido de humedad</i>	30
Tabla 4, <i>Cantidad minima de especimen requerida para contenido de humedad</i>	33
Tabla 5, <i>Cantidad minima de especimen requerida para contenido de humedad.</i>	36
Tabla 6, <i>Masa requerida de muestra seca.</i>	39
Tabla 7, <i>Masa requerida de muestra seca</i>	41
Tabla 8, <i>Juego de tamices para análisis granulométrico NTP</i>	45
Tabla 9, <i>Juego de tamices para el análisis granulométrico MTC</i>	50
Tabla 10, <i>Juego de tamices para el análisis granulométrico ASTM</i>	56
Tabla 11, <i>Densidad relativa del agua y factor de corrección K para diferentes temperaturas</i>	62
Tabla 12, <i>Densidad del agua y coeficiente de temperatura (K)para varias temperaturas</i>	68
Tabla 13, <i>Masa redondeada para el espécimen de ensayo</i>	69
Tabla 14, <i>Density of water temperature coefficient (K) for various temperatures</i>	77
Tabla 15, <i>Recommended Mass for Test Specimen</i>	78
Tabla 16, <i>Tamaño de especimen mínimo</i>	82
Tabla 17, <i>Tamices</i>	83
Tabla 18, <i>Peso mínimo seco requerido</i>	90
Tabla 19, <i>Tamices requeridos</i>	91
Tabla 20, <i>Equivalentes métricos para las ilustraciones 17 y 18.</i>	100
Tabla 21, <i>Tabla de densidades de agua</i>	103
Tabla 22, <i>Tiempo de permanencia requerido de especímenes en saturación</i>	106
Tabla 23, <i>Equivalencia métrica para las lustraciones 19 y 20.</i>	115
Tabla 24, <i>Tabla de densidades de agua</i>	117
Tabla 25, <i>Tiempo de permanencia requerido de especímenes en saturación</i>	121
Tabla 26, <i>SI Equivalents for ilustración 21 y 22.</i>	130
Tabla 27, <i>Required standing times of moisturized specimens.</i>	135
Tabla 28, <i>Volúmenes mínimos del orificio de ensayo basados en el tamaño máximo de la partícula</i>	150

Tabla 29,	<i>Volúmenes mínimos del orificio de ensayo basados en el tamaño máximo de la partícula.....</i>	162
Tabla 30,	<i>Minimun test hole volumes based on maximun size of included particle</i>	173
Tabla 31,	<i>Estimados de precisión.....</i>	191
Tabla 32,	<i>Estimados de precisión.....</i>	199
Tabla 33,	<i>Summary of test results from triplicate test laboratories (Atterberg limits) ..</i>	217
Tabla 34,	<i>Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizadas para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo</i>	221
Tabla 35,	<i>Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizadas para la obtención en laboratorio de muestras representativas</i>	222
Tabla 36,	<i>Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados para determinar el contenido de humedad de un suelo.....</i>	223
Tabla 37,	<i>Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados para la preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo.....</i>	224
Tabla 38,	<i>Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados en el método de ensayo para el análisis granulométrico</i>	225
Tabla 39,	<i>Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados en el método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo.....</i>	226
Tabla 40,	<i>Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados en el método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)</i>	227
Tabla 41,	<i>Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados en el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.....</i>	228
Tabla 42,	<i>Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados en el método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena.....</i>	229
Tabla 43,	<i>Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados en el método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.....</i>	230
Tabla 44,	<i>Resumen de la selección de muestras para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo</i>	231

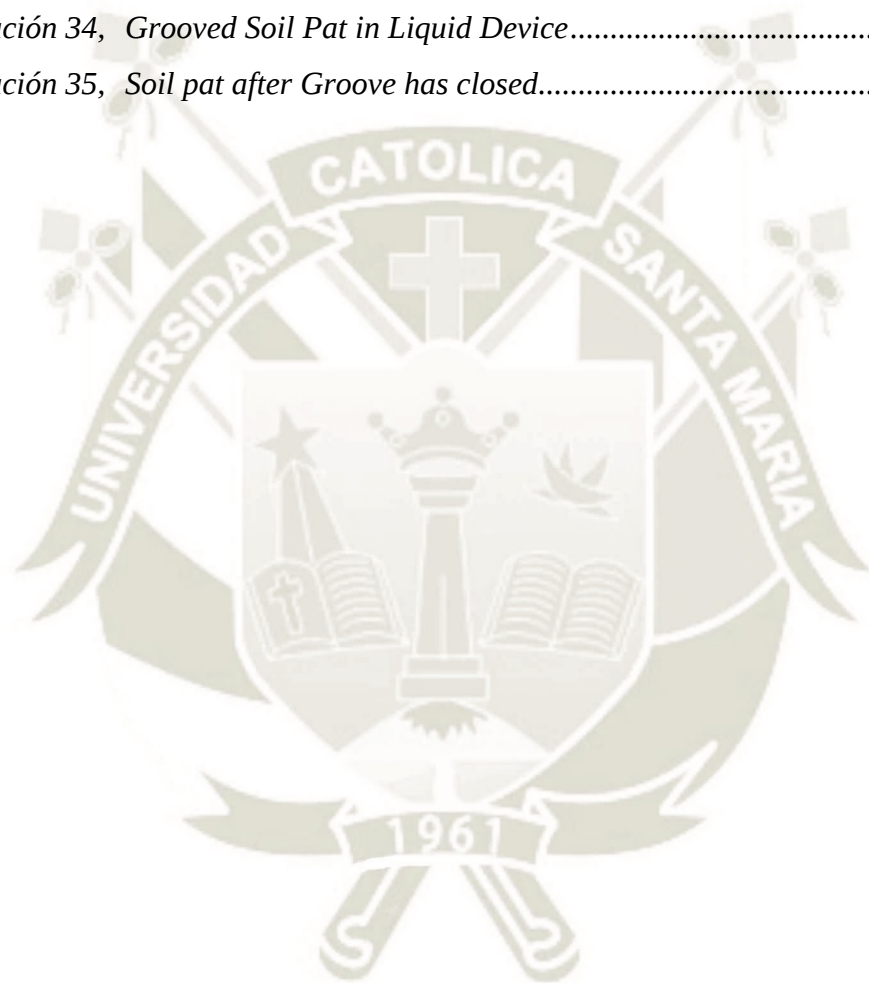
Tabla 45,	<i>Resumen de la selección de muestras para la obtención en laboratorios de muestras representativas.</i>	232
Tabla 46,	<i>Resumen de la selección de muestras para determinar el contenido de humedad de un suelo.</i>	233
Tabla 47,	<i>Resumen de la selección de muestras para la preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo.</i>	234
Tabla 48,	<i>Resumen de la selección de muestras para el ensayo de análisis granulométrico</i>	235
Tabla 49,	<i>Resumen de la selección de muestras para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo.....</i>	236
Tabla 50,	<i>Resumen de la selección de muestras para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).</i>	237
Tabla 51,	<i>Resumen de la selección de muestras para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.....</i>	238
Tabla 52,	<i>Resumen de la selección de muestras para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.....</i>	239
Tabla 53,	<i>Resumen del procedimiento del ensayo para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo.</i>	240
Tabla 54,	<i>Resumen del procedimiento del ensayo para la obtención en laboratorio de muestras representativas.</i>	242
Tabla 55,	<i>Resumen del procedimiento del ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.</i>	244
Tabla 56,	<i>Resumen del procedimiento del ensayo para la preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo.....</i>	245
Tabla 57,	<i>Resumen del procedimiento del ensayo para el análisis granulométrico.</i>	247
Tabla 58,	<i>Resumen del procedimiento del ensayo para el análisis granulométrico.</i>	249
Tabla 59,	<i>Resumen del procedimiento del ensayo para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniera</i>	251
Tabla 60,	<i>Resumen del procedimiento del ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.....</i>	252

Tabla 61,	<i>Resumen del procedimiento del ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena.....</i>	254
Tabla 62,	<i>Resumen del procedimiento del ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.....</i>	256
Tabla 63,	<i>Resumen de datos obtenidos en el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo</i>	258
Tabla 64,	<i>Resumen de datos obtenidos en el ensayo para el Análisis Granulométrico .</i>	259
Tabla 65,	<i>Variación de resultados del análisis granulométrico.....</i>	260
Tabla 66,	<i>Resumen de datos obtenidos en el ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo.....</i>	262
Tabla 67,	<i>Resumen de datos obtenidos en el ensayo para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)</i>	263
Tabla 68,	<i>Resumen de datos obtenidos en el ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.....</i>	264
Tabla 69,	<i>Resumen de datos obtenidos en el ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena.....</i>	266
Tabla 70,	<i>Resumen de datos obtenidos en el ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.....</i>	267
Tabla 71,	<i>Resumen de datos obtenidos en el ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.....</i>	268

INDICE DE ILUSTRACIONES

	Pág.
<i>Ilustración 1, Método de cuarteo.....</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 2, Tres fases separadas de una muestra de suelo con volumen de solidos de suelo igual a 1.</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 3, Prueba de límite líquido: a) dispositivo de límite líquido, b) Porción de suelo antes de la prueba, c) Porción de suelo después de la prueba.....</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 4, Prueba de limite plástico.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 5, Factores que influyen en el proceso de compactación.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 6, Equipo empleado para determinar la compactación del terreno, Cono de arena.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 7, Carta para clasificación de suelos.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 8, Carta para clasificación de suelos (50 % o más pasa la malla N° 200)...</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 9, Flujo para clasificación de suelos (50 % o más para la malla N° 200)....</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 10, Carta de flujo para clasificación de suelos (más del 50 % retenido en la malla N° 200).....</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 11, Carta de plasticidad.....</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 12, Soil classification chart.....</i>	<i>92</i>
<i>Ilustración 13, Flow chart for classifying soil (50 % or more passes No. 200 sieve).....</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 14, Flow chart for classifying soil (50 % or more passes No. 200 sieve).....</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 15, Flow chart for classifying soils (more than 50 % retained on No. 200 sieve).....</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 16, Carta de plasticidad.....</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 17, Molde cilíndrico 6,0 pulg.</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 18, Molde cilíndrico 4,0 pulg.</i>	<i>100</i>
<i>Ilustración 19, Molde cilíndrico 4,0 pulg.....</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 20, Molde cilíndrico 6,0 pulg.</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 21, Cylindrical mold 4,0 - in.....</i>	<i>129</i>
<i>Ilustración 22, Cylindrical mold, 6-0 in.</i>	<i>129</i>
<i>Ilustración 23, Rammer pattern for compaction.....</i>	<i>138</i>
<i>Ilustración 24, Rammer pattern for compaction mold.....</i>	<i>138</i>
<i>Ilustración 25, Rammer for compaction in 6 in mold.</i>	<i>139</i>
<i>Ilustración 26, Aparato de densidad.....</i>	<i>155</i>

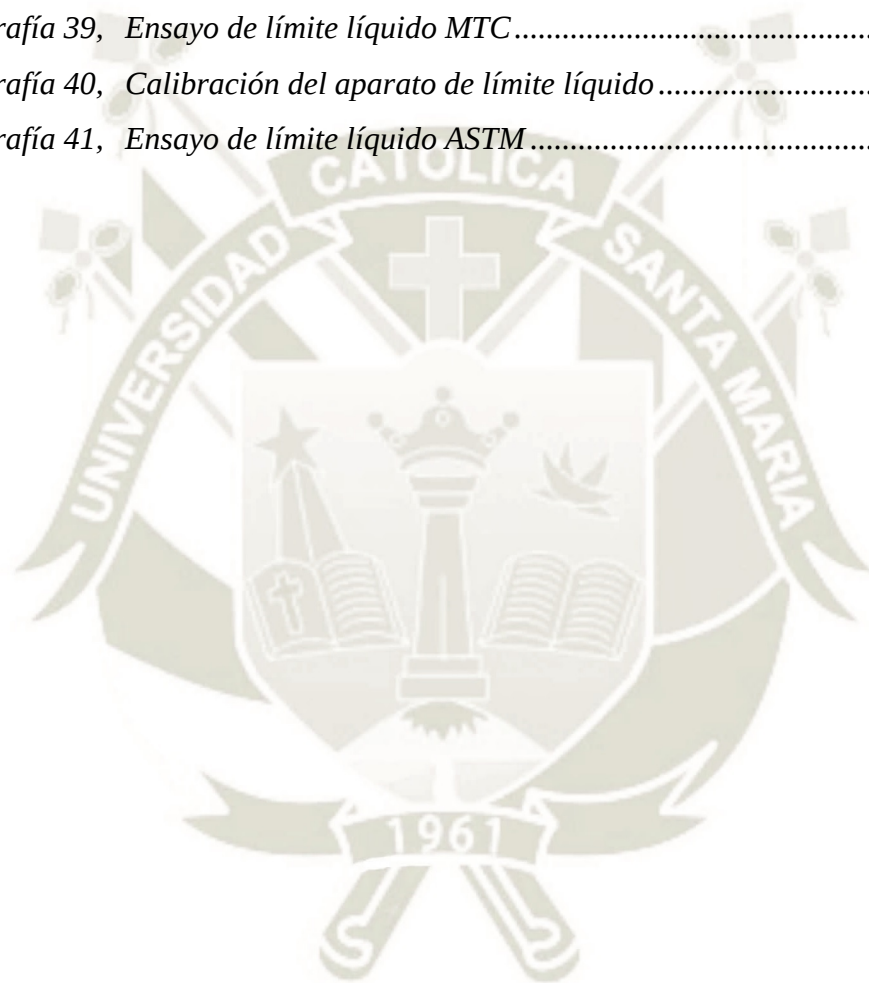
<i>Ilustración 27, Density apparatus.....</i>	<i>167</i>
<i>Ilustración 28, Dispositivo manual para límite líquido.....</i>	<i>178</i>
<i>Ilustración 29, Acanalador (Calibre opcional para altura de caída)</i>	<i>179</i>
<i>Ilustración 30, Aparato manual para limite liquido.....</i>	<i>194</i>
<i>Ilustración 31, Hand – Operated liquid límite device.....</i>	<i>201</i>
<i>Ilustración 32, Grooving tool (Optional height – of -drop gauge attached)</i>	<i>203</i>
<i>Ilustración 33, Example of grooving tool placed in a properly grooved soil pat.....</i>	<i>210</i>
<i>Ilustración 34, Grooved Soil Pat in Liquid Device.....</i>	<i>211</i>
<i>Ilustración 35, Soil pat after Groove has closed.....</i>	<i>211</i>



INDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
<i>Fotografía 1, Vista satelital general de la zona de estudio</i>	<i>18</i>
<i>Fotografía 2, Ubicación de la calicata realiza.....</i>	<i>19</i>
<i>Fotografía 3, Excavación de calicata</i>	<i>19</i>
<i>Fotografía 4, Reducción de muestra.....</i>	<i>21</i>
<i>Fotografía 5, Mezclado de la muestra</i>	<i>22</i>
<i>Fotografía 6, Comprobación de diámetro para el cuarteo</i>	<i>24</i>
<i>Fotografía 7, Secado de muestra al aire</i>	<i>25</i>
<i>Fotografía 8, Cuarteo de la muestra para ensayos de laboratorio.....</i>	<i>27</i>
<i>Fotografía 9, Selección de cuartos opuestos.</i>	<i>28</i>
<i>Fotografía 10, Muestra húmeda para determinación de w %.....</i>	<i>31</i>
<i>Fotografía 11, Muestra húmeda para determinación de w %.....</i>	<i>35</i>
<i>Fotografía 12, Muestra húmeda para determinación de w %.....</i>	<i>38</i>
<i>Fotografía 13, Desmenuzado de la fracción retenida en la malla N° 4</i>	<i>40</i>
<i>Fotografía 14, Lavado de la parte retenida en la malla N°4.....</i>	<i>42</i>
<i>Fotografía 15, Muestra lavada para su posterior secado</i>	<i>44</i>
<i>Fotografía 16, Distribución granulométrica NTP.....</i>	<i>49</i>
<i>Fotografía 17, Distribución granulométrica MTC.....</i>	<i>55</i>
<i>Fotografía 18, Distribución granulométrica ASTM.....</i>	<i>60</i>
<i>Fotografía 19, Ensayo para determinar el peso específico NTP</i>	<i>64</i>
<i>Fotografía 20, Ensayo para determinar el peso específico MTC.....</i>	<i>73</i>
<i>Fotografía 21, Ensayo para determinar el peso específico ASTM.....</i>	<i>81</i>
<i>Fotografía 22, Calibración de molde de compactación.</i>	<i>103</i>
<i>Fotografía 23, Ensayo de compactación de suelo NTP.....</i>	<i>111</i>
<i>Fotografía 24, Calibración de molde de compactación</i>	<i>118</i>
<i>Fotografía 25, Ensayo de compactación de suelo MTC.....</i>	<i>126</i>
<i>Fotografía 26, Calibración de molde de compactación</i>	<i>132</i>
<i>Fotografía 27, Ensayo de compactación de suelo ASTM.....</i>	<i>141</i>
<i>Fotografía 28, Calibración de la densidad de la arena NTP</i>	<i>146</i>
<i>Fotografía 29, Calibración del aparato de cono de arena NTP</i>	<i>147</i>
<i>Fotografía 30, Ensayo de cono de arena NTP</i>	<i>153</i>
<i>Fotografía 31, Calibración de la densidad de la arena MTC</i>	<i>158</i>

<i>Fotografía 32, Calibración del aparato de cono de arena MTC</i>	<i>159</i>
<i>Fotografía 33, Ensayo de cono de arena MTC</i>	<i>165</i>
<i>Fotografía 34, Calibración de la densidad de la arena ASTM</i>	<i>170</i>
<i>Fotografía 35, Calibración del aparato de cono de arena ASTM.....</i>	<i>171</i>
<i>Fotografía 36, Ensayo de cono de arena ASTM.....</i>	<i>177</i>
<i>Fotografía 37, Calibración del aparato de límite líquido.</i>	<i>181</i>
<i>Fotografía 38, Ensayo de límite líquido NTP</i>	<i>192</i>
<i>Fotografía 39, Ensayo de límite líquido MTC</i>	<i>200</i>
<i>Fotografía 40, Calibración del aparato de límite líquido</i>	<i>205</i>
<i>Fotografía 41, Ensayo de límite líquido ASTM</i>	<i>219</i>





CAPITULO I.

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Diagnóstico Situacional

En ingeniería civil se utilizan distintas normas para la ejecución de estudios de mecánica de suelos, principalmente: NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERU) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA), que establecen las especificaciones o requisitos de calidad para la estandarización de los procesos. Sin embargo, el estudio de las variaciones de la metodología de ejecución de los distintos ensayos que éstos tienen en común no ha sido analizados y/o comparados, no pudiendo encontrar investigaciones al respecto.

1.2. Formulación del Problema

Dentro del marco legal vigente solo se utilizan las normas MTC - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERU) Y NTP- Norma Técnica Peruana (PERU), cuando se trata del estudio de suelos para las distintas obras de ingeniería que se realizan en nuestro país, pero estas hacen referencia a las normas ASTM - American Society for Testing Material (USA).

Por lo cual es necesario realizar una investigación que analice la diferencia en los procesos de ejecución y posterior resultado de los distintos tipos de ensayos más recurrentes para la elaboración de informes de Mecánica de Suelos en las tres normas mencionadas.

1.3. Variables

1.3.1. Variables Independientes

La muestra de suelo obtenida del distrito de Mollebaya.

1.3.2. Variables Dependientes

Las normas ASTM (American Society for Testing Materials), la Norma Técnica Peruana (N.T.P.) y la del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (M.T.C).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar y determinar la variabilidad en los procesos de ejecución y posterior resultado de los distintos tipos de ensayos más recurrentes para la elaboración de informes de Mecánica de Suelos en las normas ASTM (American Society for Testing Materials), la Norma Técnica Peruana (N.T.P.) y la del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (M.T.C).

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la variación en la utilización de equipo y herramientas en los distintos ensayos de mecánica de suelos contemplados en la presente tesis.
- Determinar la variación con respecto a la selección de la muestra en los distintos ensayos de mecánica de suelos contemplados en la presente tesis.
- Precisión de las mediciones solicitadas a lo largo de cada ensayo de mecánica de suelos contemplados en la presente tesis.
- Variaciones propias del procedimiento de ensayo de mecánica de suelos contemplados en la presente tesis.
- Variaciones con respecto al análisis y resultados de cada ensayo de mecánica de suelos contemplados en la presente tesis.
- Elaborar diagramas de flujo de procesos de cada ensayo, para cada norma mencionada.

1.5. Hipótesis.

Se tiene metodologías diferentes para el desarrollo de los distintos ensayos contemplados, es probable que los resultados analizando estas variaciones de metodologías no afecten con el resultado global buscado para cada norma mencionada, llámese: ASTM (American Society For Testing and Materials), Norma Técnica Peruana (N.T.P.) y la del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (M.T.C.).

1.6. Justificación de la investigación

Debido a la no existencia de tesis de investigación sobre las diferencias que se puedan presentar entre las normas ASTM (American Society For Testing and Materials), Norma Técnica Peruana (N.T.P.) y la del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (M.T.C.), las conclusiones de la presente tesis de investigación ayudaran a determinar la variabilidad existente en el método de obtención de muestra, uso de equipos y herramientas y procedimientos a seguir.



CAPÍTULO II.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Se realizó una búsqueda exhaustiva de investigaciones y/o estudios previos sobre el tema de investigación ya mencionado, no habiéndose logrado encontrar información alguna del tema.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Cuarteo

El cuarteo de suelos consiste en reducir la muestra de suelo obtenida en el campo al tamaño requerido para la realización de pruebas y que estas se conserven representativas.

El cuarteo de suelos es la etapa previa al análisis y determinación de contaminantes. Es probablemente la fase más importante para la obtención de datos analíticos que puedan considerarse con seguridad datos para analizar la calidad del suelo. La operación de cuarteo nos es más que la preparación previa que se realiza a las muestras de suelo que serán sometidas a los diferentes ensayos de laboratorio, y su objetivo más importante es homogenizar y mantener la representatividad de la misma.

El primer paso a todo estudio de suelo es el cuarteo de la muestra, es decir, dividirla en cuatro diferentes partes igualmente representativas. Para que los ensayos sean válidos, las diferentes proporciones de muestras tomadas para analizar han de tener las mismas características y proporciones granulométricas.

Para poder realizar el cuarteo, antes, se debe preparar la muestra, es decir, si está húmeda se debe de poner a secar en bandejas a ambiente natural, por otro lado.

Es importante realizar un cuarteo correcto ya que, sino el comportamiento de los materiales será diferente en uno y otro ensayo, y los resultados no serán coherentes (Universidad Privada del Norte - Ingeniería).

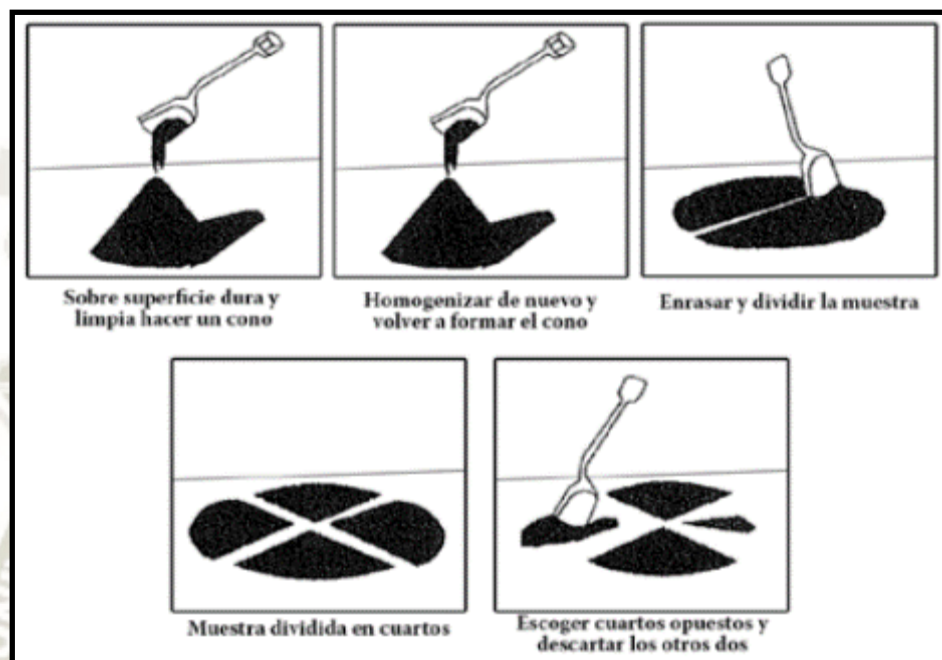


Ilustración 1, Método de cuarteo.

Fuente: NTP 339.089, Norma Técnica Peruana (2019).

2.2.2. Contenido de Humedad

Según Joseph E. Bowles el contenido de agua o humedad es la cantidad de agua contenida en un suelo en términos de su peso en seco.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Ecuación 1, Porcentaje de contenido de Humedad

donde W_w es el peso de agua presente en la masa de suelos y W_s es el peso de los sólidos en el suelo. Podría definirse el contenido de humedad como la relación del peso de agua presente y el total de peso de la muestra (peso de agua más suelo);

sin embargo, esto daría una cantidad en el denominador de la fracción que podría depender de la cantidad de agua presente:

$$w = \frac{W_w}{W_s + W_w} = \frac{W_w}{W_t}$$

Ecuación 2, Contenido de humedad

Y esto no es deseable pues el contenido de humedad estaría de esa forma relacionado a una cantidad variable y no a una cantidad constante. Esto puede verse fácilmente pues W_w aparece en ambos, numerador y denominador de la fracción. El contenido de humedad se expresa algunas veces en función del volumen como:

$$\theta = \frac{V_w}{V_s + V_v} = \frac{V_w}{V_T}$$

Ecuación 3, Contenido de humedad en función del volumen

El cual luego de una manipulación adecuada, puede reescribirse como

$$\theta = w * \gamma_d$$

Ecuación 4, Contenido de humedad en función del volumen

V_w = volumen de agua presente en la masa del suelo

V_v = volumen de los vacíos del suelo

V_s = volumen de los sólidos del suelo

w = contenido de humedad

γ_d = densidad seca del suelo (volumétrica)

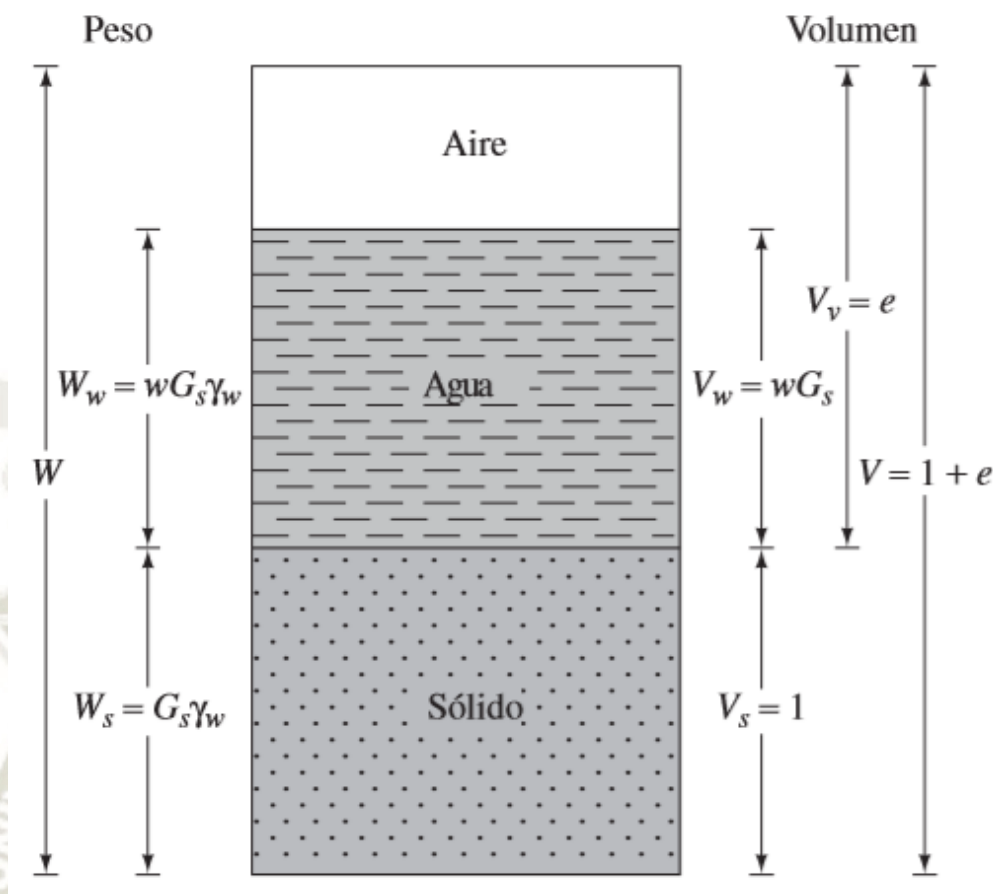


Ilustración 2, Tres fases separadas de una muestra de suelo con volumen de sólidos de suelo igual a 1.

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das (4ta edición), (2014).

2.2.3. Límite de Líquido (LL)

Es el porcentaje de contenido de humedad con que un suelo cambia, al disminuir su humedad, de la consistencia líquida a la plástica o al aumentar su humedad, de la consistencia plástica a la líquida (Food and Agriculture Organization of the United Nations).

Según Atterberg (ca. 1911) esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la Cuchara de Casagrande o Copa de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela, hasta que el surco que previamente se ha recortado, se cierre en una longitud de 12.7 mm (1/2"). Si el número de golpes para que se cierre el surco es 25, la humedad del

suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido. Dado que no siempre es posible que el surco se cierre en la longitud de 12.7 mm exactamente con 25 golpes, existen dos métodos para determinar el límite líquido: trazar una gráfica con el número de golpes en coordenadas logarítmicas, contra el contenido de humedad correspondiente, en coordenadas normales, e interpolar para la humedad correspondiente a 25 golpes. La humedad obtenida es el límite líquido. - según el método puntual, multiplicar por un factor (que depende del número de golpes) la humedad obtenida y obtener el límite líquido como el resultado de tal multiplicación.

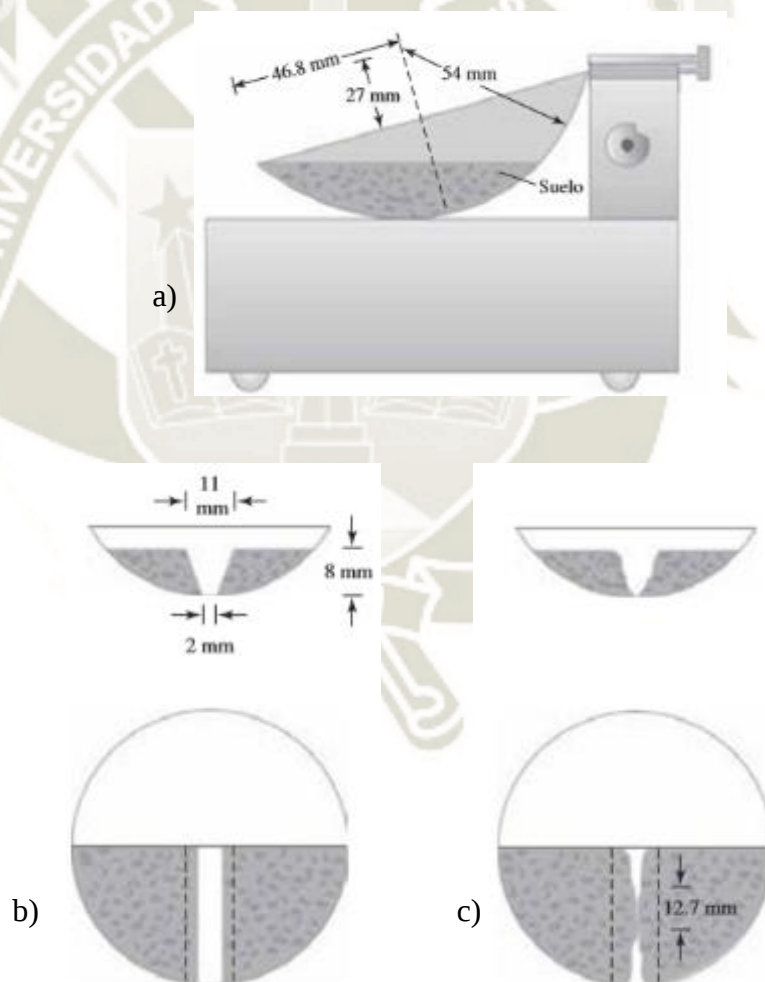


Ilustración 3, Prueba de límite líquido: a) dispositivo de límite líquido, b) Porción de suelo antes de la prueba, c) Porción de suelo después de la prueba

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica – Braja M. Das (4ta edición), (2014).

2.2.4. Límite Plástico (LP)

Es el porcentaje de contenido de humedad con que un suelo cambia al disminuir su humedad de la consistencia plástica a la semisólida, o al aumentar su humedad, de la consistencia semisólida a la plástica (Food and Agriculture Organization of the United Nations).

Según Atterberg (ca. 1911) esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm. Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3 mm de diámetro. Al llegar a este diámetro, se desarma el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm. Esto se realiza consecutivamente hasta que no es posible obtener el cilindro de la dimensión deseada. Con ese contenido de humedad, el suelo se vuelve quebradizo (por pérdida de humedad) o se vuelve pulverulento. Se mide el contenido de humedad, el cual corresponde al límite plástico. Se recomienda realizar este procedimiento al menos 3 veces para disminuir los errores de interpretación o medición.



Ilustración 4, Prueba de límite plástico

Fuente: Braja M. Das (4ta edición), (2014).

2.2.5. Índice de Plasticidad

Atterberg (ca. 1911) definió el índice de plasticidad para describir el rango de contenido de humedad natural sobre el cual el suelo era plástico. El índice de plasticidad IP, es por tanto numéricamente igual a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico ($IP = IL - IP$).

En general, el índice de plasticidad depende solo de la cantidad de arcilla existente e indica la finura del suelo y su capacidad para cambiar de configuración sin alterar su volumen. Un IP elevado indica un exceso de arcilla. Siempre que el LP sea superior o igual a LL, su valor será cero.

Se presentan valores del índice de plasticidad para evaluar la plasticidad del suelo:

Tabla 1, Grado de plasticidad

IP	Descripción
0-3	No plástico
3-15	Ligeramente plástico
15-30	Baja plasticidad
>30	Alta plasticidad

Fuente: Sowers, (1979)

2.2.6. Gravedad Específica

Según Berry y Reid (1933), el valor de la gravedad específica es necesaria para el cálculo de la relación de vacíos de un suelo, utilizada también en el análisis de hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo.

La gravedad específica de cualquier sustancia se define como el peso unitario del material en cuestión dividido por el peso unitario del agua destilada a 4°C. Así, si se consideran solamente los granos del suelo se obtiene G_s como:

$$G_s = \frac{\gamma_{material}}{\gamma_{agua a 4^{\circ} C}}$$

Ecuación 5, Gravedad Específica

Los minerales en su mayoría tienen una gravedad específica entre 2.6 a 2.9. El peso específico de los sólidos de arena, que está compuesta principalmente de cuarzo, se puede estimar en alrededor de 2.65 para suelos arcillosos y limosos, pudiendo variar desde 2.6 hasta 2.9 (Braja M. Das, 4ta edición).

En la siguiente tabla se muestran valores típicos de la gravedad específica de las partículas:

Tabla 2, Valores típicos de la gravedad específica de las partículas.

Tipo de suelo	
Grava, arena y lino	2.65
Arcilla inorgánica	2.70
Arcilla orgánica	2.60
Turba amorfa	2.00
Turba fibrosa	1.50

Fuente: Berry y Reid, (1993)

2.2.7. Compactación de Suelos

La construcción de terraplenes de carreteras, presas de tierra y muchas otras estructuras de ingeniería, requieren que los suelos donde estos vayan a realizarse sean compactados para aumentar sus pesos unitarios. La compactación aumenta considerablemente las características de resistencia de los suelos, incrementando de este modo la capacidad de carga de las cimentaciones construidas sobre ellos (Braja M. Das, 4ta edición).

Según Proctor R. (1933) presentó cuatro artículos en la revista *Engineering New-Record*, los cuales sirvieron de base para los ensayos de compactación usados actualmente llamados comúnmente “Proctor”.

Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados; el “Ensayo Proctor Normal”, y el “Ensayo Proctor Modificado”. La diferencia entre ambos radica en la distinta energía utilizada, debido al mayor peso del pisón y mayor altura de caída en el Proctor modificado.

El proceso de compactación depende de:

- *Energía de compactación*: una energía grande disminuye la humedad óptima y aumenta la densidad seca; una energía demasiado grande puede dañar el suelo
- *Naturaleza del terreno*: la granulometría y estructura del suelo son fundamentales, esto debido a que los suelos granulares trabajan diferente a los cohesivos.
- *Humedad del suelo*: el contenido de agua tiene una influencia determinante, tanto en procesos de campo como en laboratorio (Guerra, 2018).

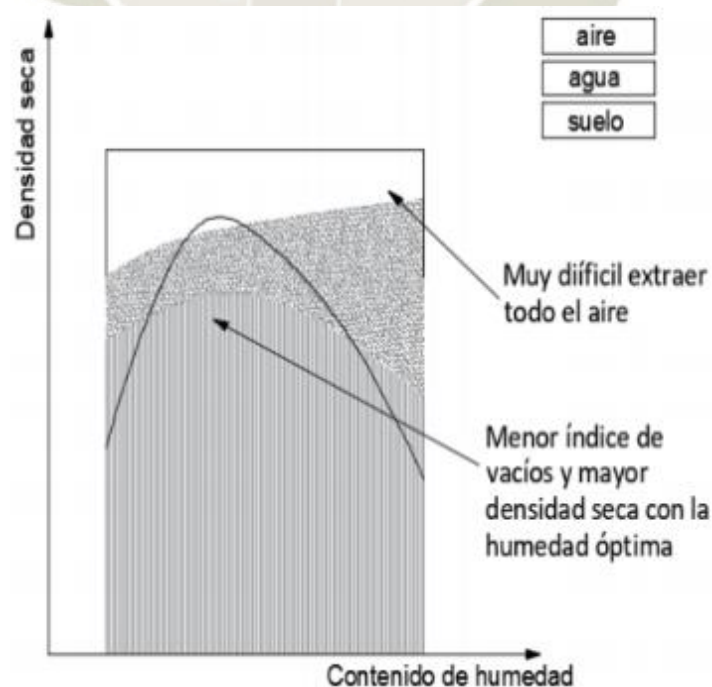


Ilustración 5, Factores que influyen en el proceso de compactación.

Fuente: Guerra, (2018)

Generalmente el esfuerzo de compactación imparte al suelo:

- Un incremento en la resistencia al corte.
- Un incremento potencia en el potencial de expansión.
- Un incremento en la densidad.
- Una disminución de la contracción.
- Una disminución en la permeabilidad.
- Una disminución en la compresibilidad (Bowles, J.E. 1981).

2.2.8. Cono de arena

Una vez definido los parámetros de compactación, es necesario utilizar algún método para verificar dichos resultados. En algunos proyectos pequeños y en la mayoría de proyectos de gran envergadura, esta verificación se logra por el método del cono de arena (Bowles, J.E. 1981).

También es muy útil en el caso de terrenos sin cohesión, pues, por ser extremadamente difícil obtener muestras inalteradas de estos suelos es necesario obtener este dato para reproducir el suelo natural en el Laboratorio a partir de una muestra alterada.

Básicamente, el principio es obtener el peso de suelo húmedo de una pequeña excavación (hueco) hecha sobre la superficie del suelo. Si es posible determinar el volumen de dicho hueco, la densidad húmeda del suelo se calcula simplemente como:

$$\gamma_{Hum} = \frac{\text{Peso del suelo humedo}}{\text{Volumen de hueco}}$$

Ecuación 6, Densidad húmeda

Por consiguiente, si logramos obtener el contenido de humedad ω del material excavado, el peso unitario seco del material quedara representado de la siguiente manera:

$$\gamma_{seca} = \frac{\gamma_{Hum}}{1 + \omega}$$

Ecuación 7. Densidad Seca

Para Bowles, J.E. (1981), el método del cono de arena representa una forma indirecta de obtener el volumen de un agujero. Es deseable tener una arena uniforme o de un solo tamaño para evitar problemas de segregación, sin embargo, este problema debería estudiarse más a fondo, pues, según Akroyd, el peso específico de este tipo de arenas es sensible al modo en que sea depositado.

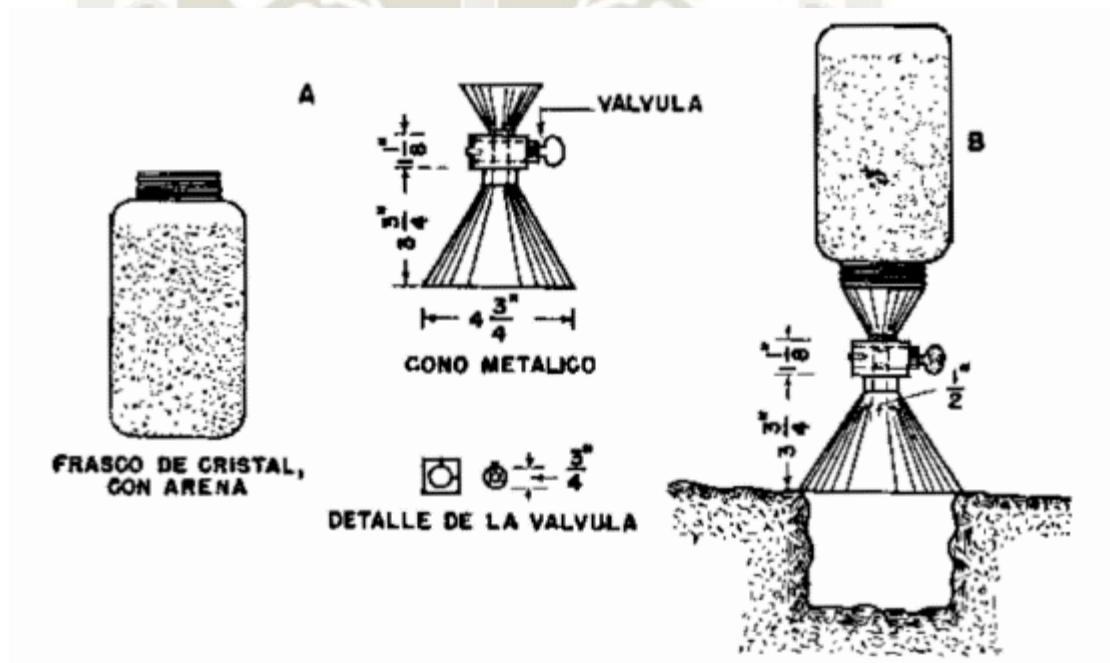


Ilustración 6, Equipo empleado para determinar la compactación del terreno, Cono de arena

Fuente: Valle Rodas R., (1963).



CAPÍTULO III.

3. METODOLOGÍA

3.1. Obtención de la muestra

3.1.1. Ubicación

El lugar en donde se realizó la obtención de muestra fue en el terreno perteneciente al distrito de Mollebaya en la provincia de Arequipa, departamento de Arequipa; con coordenada este de 233301,4 m E y coordenada norte de 8174226,9 m N.



Fotografía 1, Vista satelital general de la zona de estudio

Fuente: Google Earth

3.1.2. Procedimiento de la obtención de la muestra

Para realizar el estudio de suelos en el laboratorio, se realizó una calicata con una profundidad aproximada de 1.50 y un área de 1.0m². Se extrajeron 6 sacos con muestra de aproximadamente 50 kg cada uno. El número de puntos de investigación se determinó por la longitud del talud estudiado, por cada 100 m una calicata; esto enunciado en la Norma E 0.50.



Fotografía 2, Ubicación de la calicata realiza

Fuente: Google Earth



Fotografía 3, Excavación de calicata

Fuente: Elaboración propia

3.2. Caracterización del material

3.2.1. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo

3.2.1.1. Norma Técnica Peruana 339.126

I. Aparatos

Cucharon metálico, pala o badilejo, lona de 2.0 m x 2.5 m (INDECOPI, 2019).

II. Procedimiento

- a) Se coloca la muestra sobre la lona de 2.0 m x 2.5 m (evitar la pérdida de material o adición de partículas extrañas).
- b) Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono; se mezcla de nuevo hasta formar un nuevo cono, repitiendo esta operación tres veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los costados del cono.
- c) Cuidadosamente se aplana el cono, extendiéndolo hasta conseguir una base circular de espesor y diámetro uniforme. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.
- d) Se procede a dividir el material en cuatro partes iguales, de los cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando con cepillo o escoba los espacios libres.
- e) Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente Repetir los pasos a, b, c, d y e, hasta obtener la cantidad de muestra requerida (INDECOPI, 2019).



Fotografía 4, Reducción de muestra

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E103

I. Aparatos

Cucharon metálico, pala o badilejo, lona de 2.0 m x 2.5 m (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

II. Procedimiento

- a) Se coloca la muestra sobre la lona de 2.0 m x 2.5 m (evitar la pérdida de material o adición de partículas extrañas).
- b) Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono; se mezcla de nuevo hasta formar un nuevo cono, repitiendo esta operación tres veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los costados del cono.

- c) Cuidadosamente se aplana el cono, extendiéndolo hasta conseguir una base circular de espesor y diámetro uniforme. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.
- d) Se procede a dividir el material en cuatro partes iguales, de los cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando con cepillo o escoba los espacios libres.
- e) Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente
- f) Repetir los pasos a, b, c, d y e, hasta obtener la cantidad de muestra requerida. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Fotografía 5, Mezclado de la muestra

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3. American Society for Testing Materials C702

I. Aparatos

Cucharón metálico, pala o badilejo, lona de 2.0 m x 2.5 m (American Society for Testing Materials, 2018).

II. Preparación de muestra

- a) La muestra se debe hacer secar al aire (no usar horno), colocándola en forma extendida sobre una superficie plana y horizontal, deshaciendo los terrones usando un combo de goma.

III. Procedimiento

- a) Se coloca la muestra sobre la lona de 2.0 m x 2.5 m (evitar la pérdida de material o adición de partículas extrañas).
- b) Mezclar bien el material girando toda la muestra más de tres veces, con el último giro, coloque la muestra completa en una pila cónica depositando cada pala encima de la anterior.
- c) Cuidadosamente aplanar la pila cónica a un espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo el ápice con una pala para que cada cuarto sector de la pila resultante contenga la misma cantidad de material. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor
- d) Dividir el material aplanado en cuatro cuartos iguales con una pala, retirar dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino, limpiando los espacios con una escobilla o cepillo.
- e) Sucesivamente mezcle y cuartee el material restante hasta conseguir un tamaño de muestra deseado (American Society for Testing Materials, 2018).



Fotografía 6, Comprobación de diámetro para el cuarteo

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Obtención en laboratorios de muestras representativas

3.2.2.1. Norma Técnica Peruana 339.089

I. Aparatos

Pala, combo de goma, cucharón metálico o badilejo para manejar el material, lona de 2.0 m x 2.5 m (INDECOPI, 2019).

II. Preparación de muestra

- a) La muestra se debe hacer secar al aire (no usar horno), colocándola en forma extendida sobre una superficie plana y horizontal, deshaciendo los terrones usando un combo de goma (INDECOPI, 2019).

III. Procedimiento

- a) Se coloca la muestra sobre la lona de 2.0 m x 2.5 m (evitar la pérdida de material o adición de partículas extrañas).

- b) Se mezcla bien hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación cuatro veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del mismo.
- c) Cuidadosamente se aplana y extiende la pila cónica hasta darle una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarto del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.
- d) Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra necesaria (INDECOPI, 2019).



Fotografía 7, Secado de muestra al aire

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E105

I. Aparatos

Pala, combo de goma, cucharón metálico o badilejo para manejar el material, lona de 2.0 m x 2.5 m (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

II. Preparación de muestra

- a) La muestra se debe hacer secar al aire (no usar horno), colocándola en forma extendida sobre una superficie plana y horizontal, deshaciendo los terrones usando un combo de goma.

III. Procedimiento

- a) Se coloca la muestra sobre la lona de 2.0 m x 2.5 m (evitar la pérdida de material o adición de partículas extrañas).
- b) Se mezcla bien hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación cuatro veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del mismo.
- c) Cuidadosamente se aplana y extiende la pila cónica hasta darle una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarteo del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.
- d) Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los

espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Fotografía 8, Cuarteo de la muestra para ensayos de laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3. American Society for Testing Materials C702

I. Aparatos

Pala, combo de goma, cucharón metálico o badilejo para manejar el material, lona de 2.0 m x 2.5 m (American Society for Testing Materials, 2018).

II. Preparación de muestra

- a) La muestra se debe hacer secar al aire (no usar horno), colocándola en forma extendida sobre una superficie plana y horizontal, deshaciendo los terrones usando un combo de goma (American Society for Testing Materials, 2018).

III. Procedimientos

- a) Se coloca la muestra sobre la lona de 2.0 m x 2.5 m (evitar la pérdida de material o adición de partículas extrañas).
- b) Mezclar bien el material girando toda la muestra más de tres veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del mismo.
- c) Cuidadosamente se aplanar y extiende la pila cónica hasta darle una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarteo del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.
- d) Dividir la masa aplanada en cuatro partes iguales con una pala o espátula y retirar dos cuartos diagonalmente opuestos, incluido todo el material fino y cepillar el borrado de espacios limpios. Mezclar y cuartear sucesivamente el material restante hasta que la muestra se reduzca al tamaño deseado. (American Society for Testing Materials, 2018)



Fotografía 9, Selección de cuartos opuestos.

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

3.2.3.1. Norma Técnica Peruana 339.127

I. Aparatos

- a) Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- b) Balanzas, de aproximación de 0.01 g para muestras de menos de 200 g y aproximación de 0.1 g para muestras de más de 200 g.
- c) Recipientes fabricados de materiales resistentes a la corrosión, tanto como el recipiente y sus tapas deben ser herméticos a fin de evitar alteraciones en la muestra
- d) Utensilios para la manipulación de los recipientes como guantes o tenazas. (INDECOPI, 2019)

II. Preparación de muestra

- a) Utilizar la muestra que ha sido conservada en una bolsa hermética, a una temperatura entre 3° y 30°C y en un área que prevenga el contacto con la luz solar, se recomienda hacer este ensayo lo más pronto como sea posibles después del muestreo.
- b) Si el material no puede ser manipulado sin pérdida significativa de humedad, se tomarán tantas porciones como sea posible en ubicaciones aleatorias que representarán mejor la condición de humedad. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo, de lo contrario se realizará el cuarteo para llegar al tamaño requerido de muestra. (INDECOPI, 2019)

III. Procedimiento

- a) Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco
- b) Seleccionar el espécimen de ensayo representativo de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 3, Cantidad mínima de espécimen requerida para contenido de humedad

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estandar	Masa mínima recomendada de especimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 0.1 \%$	Masa mínima recomendada de especimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 1 \%$
2 mm o menos	N°10	20 g	20 g
4.75 mm.	N°4	100 g	20 g
9.5 mm.	3/8"	500 g	50 g
19.0 mm.	3/4"	2.5 kg	250 g
37.5 mm.	1 1/2"	10 kg	1 kg
75.0 mm.	3"	50 kg	5 kg

Fuente: NTP 339.128, Norma Técnica Peruana, (2019).

- c) Colocar la muestra de suelo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y la muestra húmeda usando una balanza con una aproximación de acuerdo al peso del espécimen.
- d) Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente.
- e) Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (se le colocara la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y el contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado.
- f) Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada en el inciso c. (INDECOPI, 2019).

IV. Cálculos

- a) Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

Ecuación 8, Contenido de humedad, NTP

$$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Ecuación 9, Contenido de humedad, NTP

en donde:

w : es el contenido de humedad, en porcentaje.

M_{cws} : es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.

M_{cs} : es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.

M_c : es el peso del contenedor, en gramos.

M_w : es el peso del agua, en gramos.

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos.



Fotografía 10, Muestra húmeda para determinación de w %

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E108

I. Aparatos

1. Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. Balanzas, de aproximación de 0.01 g para muestras de menos de 200 g y aproximación de 0.1 g para muestras de más de 200 g.
3. Recipientes fabricados de materiales resistentes a la corrosión, tanto como el recipiente y sus tapas deben ser herméticos a fin de evitar alteraciones en la muestra.
4. Utensilios para la manipulación de los recipientes como guantes o tenazas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

II. Preparación de muestra

- a) Utilizar la muestra que ha sido conservada en una bolsa hermética, a una temperatura entre 3° y 30°C y en un área que prevenga el contacto con la luz solar, se recomienda hacer este ensayo lo más pronto como sea posibles después del muestreo.
- b) Si el material no puede ser manipulado sin pérdida significativa de humedad, se tomarán tantas porciones como sea posible en ubicaciones aleatorias que representarán mejor la condición de humedad. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo, de lo contrario se realizará el cuarteo para llegar al tamaño requerido de muestra. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

III. Procedimiento

- a) Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco
- b) Seleccionar el espécimen de ensayo representativo de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4, Cantidad minima de especimen requerida para contenido de humedad

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estandar	Masa minima recomendada de especimen de ensayo humedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 0.1 \%$	Masa minima recomendada de especimen de ensayo humedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 1 \%$
2 mm o menos	N°10	20 g	20 g
4.75 mm.	N°4	100 g	20 g
9.5 mm.	3/8"	500 g	50 g
19.0 mm.	3/4"	2.5 kg	250 g
37.5 mm.	1 1/2"	10 kg	1 kg
75.0 mm.	3"	50 kg	5 kg

Fuente: MTC E108, Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016).

- c) Colocar la muestra de suelo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y la muestra húmeda usando una balanza con una aproximación de acuerdo al peso del espécimen.
- d) Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente.
- e) Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (se le colocara la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y el contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado.

- f) Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada en el inciso c. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

IV. Cálculos

- a) Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

Ecuación 10, Contenido de Humedad, MTC.

$$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Ecuación 11, Contenido de Humedad, MTC

en donde:

w : es el contenido de humedad, en porcentaje.

M_{cws} : es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.

M_{cs} : es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.

M_c : es el peso del contenedor, en gramos.

M_w : es el peso del agua, en gramos.

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Fotografía 11, Muestra húmeda para determinación de w %

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.3. American Society for Testing Materials D2216

I. Aparatos

1. Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. Balanzas, de aproximación de 0.01 g para muestras de menos de 200 g y aproximación de 0.1 g para muestras de más de 200 g.
3. Recipientes fabricados de materiales resistentes a la corrosión, tanto como el recipiente y sus tapas deben ser herméticos a fin de evitar alteraciones en la muestra.
4. Utensilios para la manipulación de los recipientes como guantes o tenazas (American Society for Testing Materials, 2019).

II. Preparación de muestra

- a) Utilizar la muestra que ha sido conservada en una bolsa hermética, a una temperatura entre 3° y 30° C y en un área que prevenga el contacto con la luz solar, se recomienda hacer este ensayo lo más pronto como sea posibles después del muestreo.
- b) Si el material no puede ser manipulado sin pérdida significativa de humedad, se tomarán tantas porciones como sea posible en ubicaciones aleatorias que representarán mejor la condición de humedad. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo, de lo contrario se realizará el cuarteo para llegar al tamaño requerido de muestra. (American Society for Testing Materials, 2019)

III. Procedimiento

- a) Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco
- b) Seleccionar el espécimen de ensayo representativo de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 5, Cantidad mínima de espécimen requerida para contenido de humedad.

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estandar	Masa mínima recomendada de especimen de ensayo humedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 0.1 \%$	Masa mínima recomendada de especimen de ensayo humedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 1 \%$
2 mm o menos	N°10	20 g	20 g
4.75 mm.	N°4	100 g	20 g
9.5 mm.	3/8"	500 g	50 g
19.0 mm.	3/4"	2.5 kg	250 g
37.5 mm.	1 1/2"	10 kg	1 kg
75.0 mm.	3"	50 kg	5 kg

Fuente: ASTM D2216, American Society for Testing Materials, (2019).

- c) Colocar la muestra de suelo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y la

muestra húmeda usando una balanza con una aproximación de acuerdo al peso del espécimen.

- d) Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente.
- e) Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (se le colocara la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y el contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado.
- f) Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada en el inciso c. (American Society for Testing Materials, 2019)

IV. Cálculos

- a) Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

Ecuación 12, Contenido de Humedad, ASTM

$$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Ecuación 13, Contenido de Humedad, ASTM

en donde:

w : es el contenido de humedad, en porcentaje.

M_{cws} : es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.

M_{cs} : es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.

M_c : es el peso del contenedor, en gramos.

M_w : es el peso del agua, en gramos.

M_s : es el peso de las partículas sólidas, en gramos (American Society for Testing Materials, 2019).



Fotografía 12, Muestra húmeda para determinación de w %

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo

3.2.4.1. Norma Técnica Peruana 339.090

I. Aparatos

1. Balanza de capacidad conveniente y con aproximación de 0.1 g.
2. Combo de goma
3. Tamices N°4, N°10 y N° 40 (INDECOPI, 2019).

II. Muestreo

- a) Para el análisis granulométrico la cantidad de muestra necesaria, depende de la proporción entre finos y gruesos (que pase o no por el tamiz N°4) y del tamaño máximo del material con la finalidad para que pueda considerarse representativa.

Tabla 6, Masa requerida de muestra seca.

Diámetro nominal máximo de las partículas por el tamiz 4,75 mm (N° 4)	Masa aproximada retenida en gramos
76,2 mm (3 pulg.)	5000
50,8 mm (2 pulg.)	4000
38,2 mm (1 1/2 pulg.)	3000
25,4 mm (1 pulg.)	2000
19,0 mm (3/4 pulg.)	1000
9,5 mm (3/8 pulg.)	500

Fuente NTP 339.090, Norma Técnica Peruana, (2019).

- b) Para la determinación de las contantes de los suelos; la cantidad requerida para estos ensayos debe pasar el tamiz N.º 40 y debe ser igual a 220 g. (INDECOPI, 2019)

III. Preparación de la muestra

- a) Se pesa la porción de la muestra secada al aire y se anota este valor como el peso de la muestra total no corregido por humedad higroscópica.
- b) La muestra se pasa luego por el tamiz N.º 4.
- c) La porción retenida se desmenuza utilizando el combo de goma, hasta lograr la separación de las partículas procediéndose luego a tamizar esta porción a través del tamiz N.º 4.

- d) La porción retenida en el segundo tamizado, se lava para conseguir la eliminación del material fino, se seca y se pesa anotándose este valor como el peso del material grueso.
- e) De la fracción de suelo que pasa el tamiz N.º 4, para suelos arenosos la cantidad mínima de muestra debe ser de 115 g y para suelos limosos o arcillosos esta cantidad mínima debe ser 65 g. (INDECOPI, 2019)



Fotografía 13, Desmenuzando de la fracción retenida en la malla N° 4

Fuente: Elaboración propia

3.2.4.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 106

I. Aparatos

1. Balanza de capacidad conveniente y con aproximación de 0.1 g.
2. Combo de goma
3. Tamices N°4, N°10 y N.º 40 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

II. Muestreo

- a) Para el análisis granulométrico la cantidad de muestra necesaria, depende de la proporción entre finos y gruesos (que pase o no por el tamiz N°4) y del tamaño máximo del material con la finalidad para que pueda considerarse representativa.

Tabla 7, Masa requerida de muestra seca

Diámetro nominal máximo de las partículas por el tamiz 4,75 mm (N° 4)	Masa aproximada retenida en gramos
76,2 mm (3 pulg.)	5000
50,8 mm (2 pulg.)	4000
38,2 mm (1 1/2 pulg.)	3000
25,4 mm (1 pulg.)	2000
19,0 mm (3/4 pulg.)	1000
9,5 mm (3/8 pulg.)	500

Fuente MTC E 106, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

- b) Para la determinación de las contantes de los suelos; la cantidad requerida para estos ensayos debe pasar el tamiz N.º 40 y debe ser igual a 220 g. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

III. Preparación de la muestra

- a) Se pesa la porción de la muestra secada al aire y se anota este valor como el peso de la muestra total no corregido por humedad higroscópica.
- b) La muestra se pasa luego por el tamiz N.º 4.
- c) La porción retenida se desmenuza utilizando el combo de goma, hasta lograr la separación de las partículas procediéndose luego a tamizar esta porción a través del tamiz N.º 4.

- d) La porción retenida en el segundo tamizado, se lava para conseguir la eliminación del material fino, se seca y se pesa anotándose este valor como el peso del material grueso.
- e) De la fracción de suelo que pasa el tamiz N.º 4, para suelos arenosos la cantidad mínima de muestra debe ser de 115 g y para suelos limosos o arcillosos esta cantidad mínima debe ser 65 g. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Fotografía 14, Lavado de la parte retenida en la malla N°4

Fuente: Elaboración propia

3.2.4.3. American Society for Testing Materials D421

- I. Aparatos
 - 1. Balanza de capacidad conveniente y con aproximación de 0.1 g.
 - 2. Combo de goma
 - 5. Tamices N°4, N°10 y N.º 40 (American Society for Testing Materials, 2019).

II. Muestreo

- a) Para el análisis granulométrico la cantidad de muestra necesaria, depende de la proporción entre finos y gruesos (que pase o no por el tamiz N°4) y del tamaño máximo del material con la finalidad para que pueda considerarse representativa.
- 6. Para la determinación de las contantes de los suelos; la cantidad requerida para estos ensayos debe pasar el tamiz N.º 40 y debe ser igual a 220 g. (American Society for Testing Materials, 2019)

III. Preparación de la muestra

- a) Se pesa la porción de la muestra secada al aire y se anota este valor como el peso de la muestra total no corregido por humedad higroscópica.
- b) La muestra se pasa luego por el tamiz N.º 4.
- c) La porción retenida se desmenuza utilizando el combo de goma, hasta lograr la separación de las partículas procediéndose luego a tamizar esta porción a través del tamiz N.º 4.
- d) La porción retenida en el segundo tamizado, se lava para conseguir la eliminación del material fino, se seca y se pesa anotándose este valor como el peso del material grueso.
- e) De la fracción de suelo que pasa el tamiz N.º 4, para suelos arenosos la cantidad mínima de muestra debe ser de 115 g y para suelos limosos o arcillosos esta cantidad mínima debe ser 65 g. (American Society for Testing Materials, 2019)



Fotografía 15, Muestra lavada para su posterior secado

Fuente: Elaboración propia

3.2.5. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico

3.2.5.1. Norma Técnica Peruana 339.128

I. Aparatos

1. Balanza sensible a 0.01 g para pesar el material que pasa la malla N° 4 y una balanza sensible al 0.1% de la masa de la muestra para pesar el material retenido en la malla N.º 4.
2. Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
3. Tamices. (INDECOPI, 2019)

Tabla 8, Juego de tamices para análisis granulométrico NTP

TAMICES	
Designación	Abertura (mm)
3"	75
1 1/2"	37.5
3/4"	19
3/8"	9.5
N° 4	4.75
N° 8	2.36
N° 16	1.18
N°30	0.6
N° 50	0.3
N° 100	0.15
N° 200	0.075

Fuente: NTP 339.128, Norma Técnica Peruana, (2019).

II. Preparación de la muestra

- Se prepara la muestra de ensayo para el análisis mecánico de acuerdo a la norma NTP 339.090 “Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo” (INDECOPI, 2019).

III. Procedimientos

- Se separa la porción retenida en el tamiz 4,75 mm (N°4) en una serie de fracciones usando los tamices 75 mm (3 pulg.), 37,5 mm (1 1/2 pulg.), 19 mm (3/4 pulg.), 9,5 mm (3/8 pulg) y 4,75 mm (N°4), o las que se necesiten dependiendo de la muestra, o de las especificaciones para el material ensayado.
- El tamizado se efectúa con un movimiento lateral y vertical del tamiz acompañado con un golpeteo para mantener la muestra moviéndose continuamente sobre la superficie. En ningún caso se ayudará con la

mano a pasar el tamiz. Se continúa tamizando hasta que el residuo que pase después de un minuto, sea inferior al 1% en peso de lo tamizado. Cuando se efectúa el tamizado mecánico se comprobará la efectividad del mismo con el procedimiento manual descrito en el párrafo anterior.

- c) Se determina la masa de cada fracción pesándolas en una balanza de 0,1 % de sensibilidad. Al término de las pesadas, la suma de las masas retenidas sobre la totalidad de los tamices usados y de la porción que pasa el último tamiz debe ser aproximadamente igual a la masa original.
- d) De la fracción que pasa el tamiz N.º 4, se separan aproximadamente 10 a 15 gramos de muestra, para la determinación de la humedad higroscópica del suelo, se pesa y se seca en un horno de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, se pesa nuevamente luego del secado y se anota este valor.
- e) Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0,01 g.
- f) La fracción pasante por el tamiz N.º 4, se transfiere al tamiz N.º 200 y se lava con agua corriente hasta que el agua de lavado sea clara. Se transfiere el material retenido a un recipiente adecuado donde se procederá a su secado en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- g) Realizar su análisis por tamizado en una serie de fracciones usando los tamices 2.36 mm (N.º 8), 1.18 mm (N.º 16), 0.6 mm (N.º 30), 0.3 mm (N.º 50), 0.15 mm (N.º 100) y 0.075 mm (N.º 200), o las que se necesiten dependiendo de la muestra, o de las especificaciones para el material ensayado. (INDECOPI, 2019)

IV. Cálculos

- a) Determinamos el Factor de humedad higroscópica:

$$w_g = \frac{M_{c,sh} - M_c}{M_{c,sa} - M_c}$$

Ecuación 14, Factor de humedad higroscópica

donde:

w_g = factor de humedad higroscópica.

$M_{c,sh}$ = Masa del suelo seco al horno más recipiente, en gramos.

$M_{c,sa}$ = Masa del suelo seco al aire más recipiente, en gramos.

M_c = Masa del recipiente, en gramos.

- b) Tamizamos la fracción retenida y la fracción pasante de la malla N°4 por separado con sus respectivas muestras y hallamos sus porcentajes retenidos.

$$\%Retenido = \frac{(M_{sr,c} - M_c)}{\sum(M_{sr} - M_c)} \times 100$$

Ecuación 15, Porcentaje retenido

donde:

$M_{sr,c}$ = Masa de suelo retenido en el tamiz más recipiente, en gramos.

M_c = Masa de recipiente, en gramos.

- c) La variación de la masa inicial de la muestra y la masa final (ya ensayada), debe ser menor al 1% de la masa inicial de la muestra. Esto se aplica para la fracción retenida y pasante del tamiz N°4.

$$\% \text{Variación de masa} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Ecuación 16, Variación de masa

Donde:

M_i = masa inicial de la muestra antes del tamizado, en gramos.

M_f = masa final de la muestra después del tamizado, en gramos.

- d) Obtenemos el valor del Factor de corrección del material pasante del tamiz N°4:

$$F_c = \frac{M_m}{M_T}$$

Ecuación 17, Factor de corrección del material

donde:

M_m = masa de la muestra representativa de la fracción pasante (M_f), en gramos.

M_T = masa de la muestra total de la fracción pasante, en gramos.

- e) Corregimos las masas retenidas en los tamices de la fracción pasante de la malla N°4

Masa corregida = Masa de suelo retenida x factor de corrección

- f) Juntamos en una sola tabla todas nuestras masas retenidas en los tamices, tanto de la fracción pasante y de la fracción retenida de la malla N°4. Estas masas retenidas de finos y gruesos las corregiremos con el factor de humedad higroscópica.

$$M_{c,hh} = M_{sr} \times w_g$$

Ecuación 18, Masa de suelo corregido por la humedad higroscópica

donde:

$M_{c,hh}$ = masa de suelo corregido por la humedad higroscópica, en gramos.

M_{sr} = masa de suelo retenida en el tamiz, en gramos.

w_g = factor de humedad higroscópica.

- g) Hallamos los porcentajes de masa retenida (la ahora corregida) en los tamices.
- h) Posteriormente obtenemos los porcentajes de masa retenida acumulada.
- i) Finalmente obtenemos nuestros porcentajes de masa pasante de los tamices partiendo de 100% (en el tamiz de 3”) y terminando 0% (en el fondo).
- j) Graficamos nuestra curva granulométrica “porcentajes acumulados de masa pasante vs tamices”. (INDECOPI, 2019)



Fotografía 16, Distribución granulométrica NTP

Fuente: Elaboración propia

3.2.5.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E107

I. Aparatos

1. Dos Balanzas Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (N.º 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (N.º 4).
2. Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
3. Tamices de malla cuadrada. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Tabla 9, Juego de tamices para el análisis granulométrico MTC

TAMICES	
Designación	Abertura (mm)
3"	75
1 1/2"	37.5
3/4"	19
3/8"	9.5
Nº 4	4.75
Nº 8	2.36
Nº 16	1.18
Nº 30	0.6
Nº 50	0.3
Nº 100	0.15
Nº 200	0.075

Fuente: MTC E 107, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

II. Preparación de la muestra

- a) Se prepara la muestra de ensayo para el análisis mecánico de acuerdo a la norma MTC E106 "Preparación en seco de muestras para el

análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo”
(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

III. Procedimiento

- a) Se separa la porción retenida en el tamiz 4,75 mm (N°4) en una serie de fracciones usando los tamices 75 mm (3 pulg), 37,5 mm (1 1/2 pulg), 19 mm (3/4 pulg), 9,5 mm (3/8 pulg) y 4,75 mm (N°4), o las que se necesiten dependiendo de la muestra, o de las especificaciones para el material ensayado.
- b) El tamizado se efectúa con un movimiento lateral y vertical del tamiz acompañado con un golpeteo para mantener la muestra moviéndose continuamente sobre la superficie. En ningún caso se ayudará con la mano a pasar el tamiz. Se continúa tamizando hasta que el residuo que pase después de un minuto, sea inferior al 1% en peso de lo tamizado. Cuando se efectúa el tamizado mecánico se comprobará la efectividad del mismo con el procedimiento manual descrito en el párrafo anterior.
- c) Se determina la masa de cada fracción pesándolas en una balanza de 0,1 % de sensibilidad. Al término de las pesadas, la suma de las masas retenidas sobre la totalidad de los tamices usados y de la porción que pasa el último tamiz debe ser aproximadamente igual a la masa original.
- d) De la fracción que pasa el tamiz N.º 4, se separan aproximadamente 10 a 15 gramos de muestra, para la determinación de la humedad higroscópica del suelo, se pesa y se seca en un horno de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, se pesa nuevamente luego del secado y se anota este valor.

- e) Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0,01 g.
- f) La fracción pasante por el tamiz N°4, se transfiere al tamiz N° 200 y se lava con agua corriente hasta que el agua de lavado sea clara. Se transfiere el material retenido a un recipiente adecuado donde se procederá a su secado en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- g) Realizar su análisis por tamizado en una serie de fracciones usando los tamices 2.36 mm (N°8), 1.18 mm (N°16), 0.6 mm (N° 30), 0.3 mm (N°50), 0.15 mm (N° 100) y 0.075 mm (N° 200), o las que se necesiten dependiendo de la muestra, o de las especificaciones para el material ensayado. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

IV. Cálculos

- a) Determinamos el Factor de humedad higroscópica:

$$w_g = \frac{M_{c,sh} - M_c}{M_{c,sa} - M_c}$$

Ecuación 19, Factor de humedad higroscópica

donde:

w_g = factor de humedad higroscópica.

$M_{c,sh}$ = Masa del suelo seco al horno más recipiente, en gramos.

$M_{c,sa}$ = Masa del suelo seco al aire más recipiente, en gramos.

M_c = Masa del recipiente, en gramos.

- b) Tamizamos la fracción retenida y la fracción pasante de la malla N°4 por separado con sus respectivas muestras y hallamos sus porcentajes retenidos.

$$\%Retenido = \frac{(M_{sr,c} - M_c)}{\sum(M_{sr} - M_c)} \times 100$$

Ecuación 20, Fracción retenida

donde:

$M_{sr,c}$ = Masa de suelo retenido en el tamiz más recipiente, en gramos.

M_c = Masa de recipiente, en gramos.

- c) La variación de la masa inicial de la muestra y la masa final (ya ensayada), debe ser menor al 1% de la masa inicial de la muestra. Esto se aplica para la fracción retenida y pasante del tamiz N°4.

$$\%Variación\ de\ masa = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Ecuación 21, Variación de masa

Donde:

M_i = masa inicial de la muestra antes del tamizado, en gramos.

M_f = masa final de la muestra después del tamizado, en gramos.

- d) Obtenemos el valor del Factor de corrección del material pasante del tamiz N°4:

$$F_c = \frac{M_m}{M_T}$$

Ecuación 22, Factor de corrección

donde:

M_m = masa de la muestra representativa de la fracción pasante (M_f), en gramos.

M_T = masa de la muestra total de la fracción pasante, en gramos.

- e) Corregimos las masas retenidas en los tamices de la fracción pasante de la malla N°4

Masa corregida = Masa de suelo retenida x factor de corrección

- f) Juntamos en una sola tabla todas nuestras masas retenidas en los tamices, tanto de la fracción pasante y de la fracción retenida de la malla N°4. Estas masas retenidas de finos y gruesos las corregiremos con el factor de humedad higroscópica.

$$M_{c,hh} = M_{sr} \times w_g$$

Ecuación 23, Masa de suelo corregido por la humedad higroscópica.

donde:

$M_{c,hh}$ = masa de suelo corregido por la humedad higroscópica, en gramos.

M_{sr} = masa de suelo retenida en el tamiz, en gramos.

w_g = factor de humedad higroscópica.

- g) Hallamos los porcentajes de masa retenida (la ahora corregida) en los tamices.
- h) Posteriormente obtenemos los porcentajes de masa retenida acumulada.
- i) Finalmente obtenemos nuestros porcentajes de masa pasante de los tamices partiendo de 100% (en el tamiz de 3") y terminando 0% (en el fondo).

- j) Graficamos nuestra curva granulométrica “porcentajes acumulados de masa pasante vs tamices”. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Fotografía 17, Distribución granulométrica MTC

Fuente: Elaboración propia

3.2.5.3. American Society for Testing Materials D422

I. Aparatos

1. Balanzas: Una balanza sensible a 0,01 g para pesar material que pasa el tamiz N° 10 (2,00 mm), y una balanza sensible a 0,1% de la masa de la muestra a ser pesada por el peso del material retenido en el tamiz N° 10.
2. Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
3. Tamices: Una serie de tamices de malla cuadrada que cumplan con la ASTM E 11. Un juego completo de tamices incluye los siguientes:

Tabla 10, Juego de tamices para el análisis granulométrico ASTM

TAMICES	
Designación	Abertura (mm)
3"	75
1 1/2"	37.5
3/4"	19
3/8"	9.5
Nº 4	4.75
Nº 8	2.36
Nº 16	1.18
Nº 30	0.6
Nº 50	0.3
Nº 100	0.15
Nº 200	0.075

Fuente: ASTM D422, American Society for Testing Material, (2007)

II. Preparación de la muestra

- Se prepara la muestra de ensayo para el análisis mecánico de acuerdo a la norma ASTM D 421 “Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo” (American Society for Testing Materials, 2007).

III. Procedimiento

- Se separa la porción retenida en el tamiz 4,75 mm (Nº4) en una serie de fracciones usando los tamices 75 mm (3 pulg), 37,5 mm (1 1/2 pulg), 19 mm (3/4 pulg), 9,5 mm (3/8 pulg) y 4,75 mm (Nº4), o las que se necesiten dependiendo de la muestra, o de las especificaciones para el material ensayado.
- El tamizado se efectúa con un movimiento lateral y vertical del tamiz acompañado con un golpeteo para mantener la muestra moviéndose continuamente sobre la superficie. En ningún caso se ayudará con la mano a pasar el tamiz. Se continúa tamizando hasta que el residuo que

pase después de un minuto, sea inferior al 1% en peso de lo tamizado.

Cuando se efectúa el tamizado mecánico se comprobará la efectividad del mismo con el procedimiento manual descrito en el párrafo anterior.

- c) Se determina la masa de cada fracción pesándolas en una balanza de 0,1 % de sensibilidad. Al término de las pesadas, la suma de las masas retenidas sobre la totalidad de los tamices usados y de la porción que pasa el último tamiz debe ser aproximadamente igual a la masa original.
- d) De la fracción que pasa el tamiz N° 4, se separan aproximadamente 10 a 15 gramos de muestra, para la determinación de la humedad higroscópica del suelo, se pesa y se seca en un horno de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, se pesa nuevamente luego del secado y se anota este valor.
- e) Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0,01 g.
- f) La fracción pasante por el tamiz N°4, se transfiere al tamiz N° 200 y se lava con agua corriente hasta que el agua de lavado sea clara. Se transfiere el material retenido a un recipiente adecuado donde se procederá a su secado en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- g) Realizar su análisis por tamizado en una serie de fracciones usando los tamices 2.36 mm (N°8), 1.18 mm (N°16), 0.6 mm (N° 30), 0.3 mm (N°50), 0.15 mm (N° 100) y 0.075 mm (N° 200), o las que se necesiten dependiendo de la muestra, o de las especificaciones para el material ensayado. (American Society for Testing Materials, 2007).

IV. Cálculos

- a) Determinamos el Factor de humedad higroscópica:

$$w_g = \frac{M_{c,sh} - M_c}{M_{c,sa} - M_c}$$

Ecuación 24, Factor de humedad higroscópica

donde:

w_g = factor de humedad higroscópica.

$M_{c,sh}$ = Masa del suelo seco al horno más recipiente, en gramos.

$M_{c,sa}$ = Masa del suelo seco al aire más recipiente, en gramos.

M_c = Masa del recipiente, en gramos.

- b) Tamizamos la fracción retenida y la fracción pasante de la malla N°4 por separado con sus respectivas muestras y hallamos sus porcentajes retenidos.

$$\%Retenido = \frac{(M_{sr,c} - M_c)}{\sum(M_{sr} - M_c)} \times 100$$

Ecuación 25, Porcentaje retenido

donde:

$M_{sr,c}$ = Masa de suelo retenido en el tamiz más recipiente, en gramos.

M_c = Masa de recipiente, en gramos.

- c) La variación de la masa inicial de la muestra y la masa final (ya ensayada), debe ser menor al 1% de la masa inicial de la muestra. Esto se aplica para la fracción retenida y pasante del tamiz N°4.

$$\% \text{Variación de masa} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Ecuación 26, Variación de masa

Donde:

M_i = masa inicial de la muestra antes del tamizado, en gramos.

M_f = masa final de la muestra después del tamizado, en gramos.

- d) Obtenemos el valor del Factor de corrección del material pasante del tamiz N°4:

$$F_c = \frac{M_m}{M_T}$$

Ecuación 27, Factor de corrección

donde:

M_m = masa de la muestra representativa de la fracción pasante (M_f), en gramos.

M_T = masa de la muestra total de la fracción pasante, en gramos.

- e) Corregimos las masas retenidas en los tamices de la fracción pasante de la malla N°4

$$\text{Masa corregida} = \text{Masa de suelo retenida} \times \text{factor de corrección}$$

- f) Juntamos en una sola tabla todas nuestras masas retenidas en los tamices, tanto de la fracción pasante y de la fracción retenida de la malla N°4. Estas masas retenidas de finos y gruesos las corregiremos con el factor de humedad higroscópica.

$$M_{c,hh} = M_{sr} \times w_g$$

Ecuación 28, Masa de suelo corregido por la humedad higroscópica

donde:

$M_{c,hh}$ = masa de suelo corregido por la humedad higroscópica, en gramos.

M_{sr} = masa de suelo retenida en el tamiz, en gramos.

w_g = factor de humedad higroscópica.

- g) Hallamos los porcentajes de masa retenida (la ahora corregida) en los tamices.
- h) Posteriormente obtenemos los porcentajes de masa retenida acumulada.
- i) Finalmente obtenemos nuestros porcentajes de masa pasante de los tamices partiendo de 100% (en el tamiz de 3") y terminando 0% (en el fondo).
- j) Graficamos nuestra curva granulométrica "porcentajes acumulados de masa pasante vs tamices". (American Society for Testing Materials, 2007)



Fotografía 18, Distribución granulométrica ASTM

Fuente: Elaboración propia

3.2.6. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo

3.2.6.1. Norma Técnica Peruana 339.131

I. Aparatos

1. Picnómetro, frasco volumétrico con capacidad aproximada de 100 cm^3 o un frasco taponado con capacidad aproximada de 500 cm^3 .
2. Balanza con una aproximación al 0.01 g cuando se use un frasco volumétrico o balanza con una aproximación al 0.001 g cuando se use el frasco taponado.
3. Capsulas de porcelana, termómetro, pipeta.
4. Tamiz N° 4 (INDECOPI, 2019).

II. Calibración del frasco volumétrico

- a) Se limpia, seca y se pesa el frasco volumétrico, anotándose su masa. Se llena de agua destilada a la temperatura ambiente y se determina la masa M_a . Se mide la temperatura del agua con la aproximación de 1°C (T_l).
- b) A partir de la masa M_a , determinada a la temperatura (T_l), se prepara una tabla de valores de masas M_a , para una serie de temperaturas que son probables prevalezcan cuando se determine después las masas M_b . Los valores M_a se calculan con la siguiente ecuación:

$$M_a(a T_x) = \frac{\text{densidad del agua a } T_x}{\text{densidad del agua a } T_l} x (M_a - M_f) + M_f$$

Ecuación 29, Masa del frasco volumétrico

Siendo:

M_a , Masa del frasco volumétrico con agua, en gramos.

M_f , Masa del frasco volumétrico, en gramos.

T_i , Temperatura del agua observada, en °C.

T_x , Cualquier otra temperatura observada, en °C. (INDECOPI, 2019)

Tabla 11, Densidad relativa del agua y factor de corrección K para diferentes temperaturas

Temperatura °C	Densidad relativa del agua (g/ML)	Factor de corrección K
18	0,9986244	10,004
19	0,9984347	10,002
20	0,9982343	10,000
21	0,9980233	0,9998
22	0,9978019	0,9996
23	0,9975702	0,9993
24	0,9973286	0,9991
25	0,9970770	0,9988
26	0,9968156	0,9986
27	0,9965451	0,9983
28	0,9962652	0,9980
29	0,9959761	0,9977
30	0,9956780	0,9974

Fuente: NTP 339.131, Norma Técnica Peruana, (2019).

III. Preparación de la muestra

- a) La muestra de suelo es aplicada para suelos que pasen el tamiz N° 4.
5. La muestra de suelo a ensayar puede ser con su contenido natural de humedad o puede ensayarse seca al horno, en el caso que se utilice un frasco volumétrico la cantidad mínima de muestra debe ser 25g; usando una botella con tapón la cantidad mínima a ser usada es de 10g. (INDECOPI, 2019)

IV. Procedimiento

- a) El ensayo se realiza por duplicado
- b) Colocar la muestra de suelo en el picnómetro evitando producir perdidas, Se llena hasta las $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad con agua destilada el frasco volumétrico o hasta la mitad el frasco taponado.
- c) Se elimina el aire atrapado, hirviendo a baja temperatura durante 10 minutos girando de vez en cuando el picnómetro.
6. Se llena el picnómetro con agua destilada, se limpia y se seca la parte externa con una tela seca. Se pesa el picnómetro con su contenido en gramos (M_b) y la temperatura en grados centígrados (T_x).
(INDECOPI, 2019)

V. Cálculos

- a) El peso específico de las partículas sólidas en agua a una temperatura T_x se calcula con la siguiente ecuación:

$$G_s = \text{Peso específico } (T_x/T_x^{\circ}\text{C}) = \frac{M_o}{M_o + (M_a - M_b)}$$

Ecuación 30, Peso específico relativo de las partículas solidas

Donde:

G_s : peso específico relativo de las partículas sólidas.

M_o : masa de la muestra de suelo seco al horno, en gramos.

M_a : masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura T_x , en gramos.

M_b : masa del picnómetro lleno con agua y suelo a la temperatura T_x , en gramos.

T_x : temperatura de los contenidos del picnómetro cuando se

determinó la masa M_b , en grados centígrados.

- b) Los valores de peso específico de las partículas sólidas se determinan en agua a 20°C, a menos que se indique lo contrario. Dicho valor se calculará del valor determinado en agua a la temperatura observada T_x de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Peso específico } (T_x/20^\circ\text{C}) = Kx (\text{peso específico } T_x/T_x^\circ\text{C})$$

Siendo:

K = Valor que se calcula dividiendo la densidad relativa del agua a la temperatura T_x por la densidad relativa del agua a 20°C. En la Tabla 11 se dan valores para un rango de temperatura.

7. Si el resultado de los valores difiere en más de 0,03 el ensayo debe repetirse. (INDECOPI, 2019).



Fotografía 19, Ensayo para determinar el peso específico NTP

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E113

I. Aparatos

1. Picnómetro, frasco volumétrico con capacidad mínima de 250 ml, el volumen del picnómetro debe ser de 2 a 3 veces más grande que el volumen de la mezcla suelo-agua usada durante el desairado.
2. Balanza con una aproximación al 0.01 g y una capacidad de al menos 2000 g.
3. Horno de secado, termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
4. Contenedor aislado, un refrigerador de Styrofoam
5. Capsulas de porcelana, pipeta.
6. Termómetro, capaz de medir con una aproximación de 0.1°C y una profundidad de inmersión que varié entre los 25 y 80 mm. Un termómetro de inmersión completa no podrá ser usado.
7. Tamiz N° 4.
8. Agua destilada. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

II. Calibración de frasco volumétrico

- a) Determinar la masa del picnómetro limpio y seco con una aproximación de 0.01 g. Repetir esta determinación cinco veces. Determinar y registrar el promedio y la desviación estándar. La desviación estándar podrá ser menor o igual que 0.02 g. Si es mayor, probar con mediciones adicionales o usar una balanza más estable o precisa.

- b) Llenar el picnómetro con agua desairada por encima o debajo de la marca de calibración dependiendo del tipo de picnómetro, el agua debe ser desairada para asegurar que no haya burbujas de aire en el agua. El agua puede ser desairada mediante ebullición. Esta agua no debería ser usada hasta que se haya equilibrado a la temperatura del cuarto.
- c) Poner el picnómetro dentro del contenedor aislado y cubierto junto con el termómetro (en un recipiente con agua), y agua destilada en una botella junto ya sea con un gotero o una pipeta. Dejar el picnómetro llegar al equilibrio termal (por al menos 3 horas).
- d) La temperatura de equilibrio debería estar dentro de $\pm 4^{\circ}\text{C}$ de la temperatura del cuarto y entre 15 y 30 $^{\circ}\text{C}$.
- e) Mover el contenedor aislado cerca de la balanza o viceversa. Abrir el contenedor y remover el frasco volumétrico. Solo la corona del frasco podrá ser manipulada para prevenir el calentamiento del frasco, evitando así el cambio del equilibrio termal.
- f) Realizar los ajustes del nivel del agua del frasco volumétrico, dentro del contenedor aislado, utilizando el agua y los instrumentos equilibrados termalmente que se encuentran en conjunto con el frasco volumétrico. Si el agua tiene que ser removida usar un tubo de succión o una toalla de papel. Revisar y remover cualquier partícula de agua remanente en el alma del frasco volumétrico o en el exterior de este.
- g) Medir y registrar la masa del frasco volumétrico y agua con una aproximación al 0.01 g, a su vez determinar la temperatura del agua con aproximación de 0.1 $^{\circ}\text{C}$ (usando el termómetro que ha estado

equilibrado termalmente en el contenedor aislado). Inserte el termómetro a una profundidad de inmersión de entre 25 y 80 mm.

- h) Regresar el frasco volumétrico al contenedor aislado, dejar que se equilibre termalmente (por al menos 3 horas). Repetir el procedimiento para obtener 5 mediciones independientes.
- i) Usando cada uno de estos cinco puntos de datos, calcular el volumen calibrado del frasco volumétrico V_p , usando la siguiente ecuación.

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

Ecuación 31, Volumen del frasco volumétrico

Donde:

$M_{pw,c}$, Masa del picnómetro y agua a la temperatura de calibración,

M_p , Masa promedio del picnómetro a la calibración, g, y.

$\rho_{w,c}$, Densidad de masa del agua a la temperatura de calibración g/ml (Tabla 12).

- j) Calcular el promedio y la desviación estándar de los 5 volúmenes determinados. La desviación estándar podrá ser menor o igual a 0.05 ml (redondear a 2 decimales). Si la desviación estándar es mayor a 0.05 ml, revisar el procedimiento hasta que la desviación sea menor o igual al valor indicado.
- k) Usando la misma balanza usada para calibrar el frasco volumétrico, verificar que la masa del frasco volumétrico esta entre 0.06 g de la masa promedio calibrada. Si no lo está, recalibrar la masa seca del

frasco volumétrico. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Tabla 12, Densidad del agua y coeficiente de temperatura (K) para varias temperaturas

Temperatura	Densidad	Coeficiente	Temperatura	Densidad	Coeficiente	Temperatura	Densidad	Coeficiente	Temperatura	Densidad	Coeficiente
(°C)	(g/mL) ^B	Temperatura (K)	(°C)	(g/mL) ^B	Temperatura (K)	(°C)	(g/mL) ^B	Temperatura (K)	(°C)	(g/mL) ^B	Temperatura (K)
15,0	0,99910	1,00090	16,0	0,99895	1,00074	17,0	0,99878	1,00057	18,0	0,99860	1,00039
15,1	0,99909	1,00088	16,1	0,99893	1,00072	17,1	0,99876	1,00055	18,1	0,99858	1,00037
15,2	0,99907	1,00087	16,2	0,99891	1,00071	17,2	0,99874	1,00054	18,2	0,99856	1,00035
15,3	0,99906	1,00085	16,3	0,99890	1,00069	17,3	0,99872	1,00052	18,3	0,99854	1,00034
15,4	0,99904	1,00084	16,4	0,99888	1,00067	17,4	0,99871	1,00050	18,4	0,99852	1,00032
15,5	0,99902	1,00082	16,5	0,99886	1,00066	17,5	0,99869	1,00048	18,5	0,99850	1,00030
15,6	0,99901	1,00080	16,6	0,99885	1,00064	17,6	0,99867	1,00047	18,6	0,99848	1,00028
15,7	0,99899	1,00079	16,7	0,99883	1,00062	17,7	0,99865	1,00045	18,7	0,99847	1,00026
15,8	0,99898	1,00077	16,8	0,99881	1,00061	17,8	0,99863	1,00043	18,8	0,99845	1,00024
15,9	0,99896	1,00076	16,9	0,99879	1,00059	17,9	0,99862	1,00041	18,9	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
19,1	0,99839	1,00018	20,1	0,99819	0,99998	21,1	0,99797	0,99977	22,1	0,99775	0,99954
19,2	0,99837	1,00016	20,2	0,99816	0,99996	21,2	0,99795	0,99974	22,2	0,99773	0,99952
19,3	0,99835	1,00014	20,3	0,99814	0,99994	21,3	0,99793	0,99972	22,3	0,99770	0,99950
19,4	0,99833	1,00012	20,4	0,99812	0,99992	21,4	0,99791	0,99970	22,4	0,99768	0,99947
19,5	0,99831	1,00010	20,5	0,99810	0,99990	21,5	0,99789	0,99968	22,5	0,99766	0,99945
19,6	0,99829	1,00008	20,6	0,99808	0,99987	21,6	0,99786	0,99966	22,6	0,99764	0,99943
19,7	0,99827	1,00006	20,7	0,99806	0,99985	21,7	0,99784	0,99963	22,7	0,99761	0,99940
19,8	0,99825	1,00004	20,8	0,99804	0,99983	21,8	0,99782	0,99961	22,8	0,99759	0,99938
19,9	0,99823	1,00002	20,9	0,99802	0,99981	21,9	0,99780	0,99959	22,9	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
23,1	0,99752	0,99931	24,1	0,99727	0,99907	25,1	0,99702	0,99881	26,1	0,99676	0,99855
23,2	0,99749	0,99929	24,2	0,99725	0,99904	25,2	0,99700	0,99879	26,2	0,99673	0,99852
23,3	0,99747	0,99926	24,3	0,99723	0,99902	25,3	0,99697	0,99876	26,3	0,99671	0,99850
23,4	0,99745	0,99924	24,4	0,99720	0,99899	25,4	0,99694	0,99874	26,4	0,99668	0,99847
23,5	0,99742	0,99921	24,5	0,99717	0,99897	25,5	0,99692	0,99871	26,5	0,99665	0,99844
23,6	0,99740	0,99919	24,6	0,99715	0,99894	25,6	0,99689	0,99868	26,6	0,99663	0,99842
23,7	0,99737	0,99917	24,7	0,99712	0,99892	25,7	0,99687	0,99866	26,7	0,99660	0,99839
23,8	0,99735	0,99914	24,8	0,99710	0,99889	25,8	0,99684	0,99863	26,8	0,99657	0,99836
23,9	0,99732	0,99912	24,9	0,99707	0,99887	25,9	0,99681	0,99860	26,9	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
27,1	0,99649	0,99828	28,1	0,99621	0,99800	29,1	0,99592	0,99771	30,1	0,99562	0,99741
27,2	0,99646	0,99825	28,2	0,99618	0,99797	29,2	0,99589	0,99768	30,2	0,99559	0,99738
27,3	0,99643	0,99822	28,3	0,99615	0,99794	29,3	0,99586	0,99765	30,3	0,99556	0,99735
27,4	0,99641	0,99820	28,4	0,99612	0,99791	29,4	0,99583	0,99762	30,4	0,99553	0,99732
27,5	0,99638	0,99817	28,5	0,99609	0,99788	29,5	0,99580	0,99759	30,5	0,99550	0,99729
27,6	0,99635	0,99814	28,6	0,99607	0,99785	29,6	0,99577	0,99756	30,6	0,99547	0,99726
27,7	0,99632	0,99811	28,7	0,99604	0,99783	29,7	0,99574	0,99753	30,7	0,99544	0,99723
27,8	0,99629	0,99808	28,8	0,99601	0,99780	29,8	0,99571	0,99750	30,8	0,99541	0,99720
27,9	0,99627	0,99806	28,9	0,99598	0,99777	29,9	0,99568	0,99747	30,9	0,99538	0,99716

Fuente: MTC E 113, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

III. Preparación de la muestra

- El espécimen de ensayo puede ser suelo húmedo o secado al horno y podrá ser representativo de los sólidos de suelo que pasen la malla N° 4 en el total de la muestra. La tabla 13 da guías en cuanto a masas de

b) suelo seco versus tipo de suelo y tamaño de frasco volumétrico.

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Tabla 13, Masa redondeada para el espécimen de ensayo

Tipo de suelo	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 250 mL	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 500 mL
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o arcilla	35 ± 5	50 ± 10

Fuente MTC E 113, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

IV. Procedimiento

- Secar el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndose a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Desmenuzar algunos terrones de suelo usando un mortero y mano.
- Colocar el embudo en el frasco volumétrico. El pico del embudo debe extenderse pasando la marca de calibración o sello del tapón.
- Vierta directamente los sólidos de suelos en el embudo. Enjuagar cualquier partícula de suelo remanente en el embudo dentro del frasco volumétrico, usando una pizeta.
- Añadir agua hasta que el nivel del agua este entre $\frac{1}{3}$ y $\frac{1}{2}$ de la profundidad del cuerpo principal del frasco volumétrico. Agite el agua hasta que la pasta aguada se forme. Enjuagar cualquier suelo adherido al frasco en la pasta
- Si la pasta aguada no está formada, pero si una pasta viscosa, use un picnómetro o frasco volumétrico teniendo un volumen mayor.

- f) Se elimina el aire atrapado, utilizando calor (ebullición). Use una duración de al menos 2 horas después de que la mezcla suelo – agua llegue a hervir completamente. Use solo suficiente calor para lograr que la pasta aguada hierva. Agite la pasta como un método preventivo de evitar que alguna partícula de suelo este pegada o secada en el vidrio por encima de la superficie de la pasta aguada.
- g) Se llena el picnómetro con agua destilada, introduciendo el agua a través de una pieza de tubo de diámetro pequeño con su extremo puesto justo debajo de la superficie de la pasta aguada en el frasco volumétrico. Si al momento de añadir agua, esta se torna nublada, no añada agua por encima de la marca de calibración. Añada el agua remanente al día siguiente.
- h) Si el calor fue usado, deje enfriar el espécimen hasta aproximadamente la temperatura ambiente.
- i) Ponga el picnómetro o frasco volumétrico en el contenedor aislado. El termómetro (en un vaso picudo de agua), y algo de agua desairada en una botella junto con ya sea un gotero o una pipeta que debería también ser colocada en el contenedor aislado. Dejarlo toda la noche cerrado para lograr el equilibrio termal.
- l) Mida y registre la masa del picnómetro, suelo, y agua con una aproximación de 0.01 g usando la misma balanza usada para la calibración del picnómetro. Solo la corona del frasco podrá ser manipulada para prevenir el calentamiento del frasco, evitando así el cambio del equilibrio termal.

- m) Determinar la temperatura (T_t) del agua con aproximación de 0.1 °C (usando el termómetro que ha estado equilibrado termalmente en el contenedor aislado). Inserte el termómetro a una profundidad de inmersión de entre 25 y 80 mm.
- j) Determinar la masa de una tara con una aproximación de 0.01 g. Transfiera el suelo pastoso aguado a la tara. Es imprescindible que todo el suelo sea transferido. El agua puede ser añadida. Secar el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndolo a $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Mida la masa seca de los sólidos de suelo con la tara con una aproximación de 0.01 g usando la balanza designada, calcule y registre la masa de los sólidos de suelo secos con una aproximación de 0.01 g. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

V. Cálculos

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

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

Ecuación 32, Masa frasco volumétrico

Donde:

$M_{pw,t}$ = masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo (T_t), g.

M_p = masa promedio calibrada del picnómetro seco, g.

V_p = el volumen promedio calibrado del picnómetro, mL.

$\rho_{w,t}$ = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (T_t), g/ml de la Tabla 12.

- b) Calcule el peso específico de los sólidos de suelo a la temperatura de ensayo, G_t como sigue:

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

Ecuación 33, Peso específico de los solidos

donde:

ρ_s = la densidad de los sólidos de suelo Mg/m^3 o g/cm^3 .

$\rho_{w,t}$ = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (T_t), de la tabla 12, g/mL o g/cm^3 .

M_s = la masa de los sólidos de suelo secas al horno, en gramos.

$M_{\rho_{ws,t}}$ = la masa del picnómetro, agua y sólidos de suelos a temperatura de ensayo, (T_t), en gramos.

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

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

Ecuación 34, Gravedad especifica de los solidos

donde:

K = el coeficiente de temperatura dado en la tabla 12. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Fotografía 20, Ensayo para determinar el peso específico MTC

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.3. American Society for Testing Materials D854

I. Aparatos

1. Picnómetro, frasco volumétrico con capacidad mínima de 250 ml, el volumen del picnómetro debe ser de 2 a 3 veces más grande que el volumen de la mezcla suelo-agua usada durante el desairado.
2. Balanza con una aproximación al 0.01 g y una capacidad de al menos 2000 g.
3. Horno de secado, termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
4. Contenedor aislado, un refrigerador de Styrofoam
5. Capsulas de porcelana, pipeta.

6. Termómetro, capaz de medir con una aproximación de 0.1°C y una profundidad de inmersión que varié entre los 25 y 80 mm. Un termómetro de inmersión completa no podrá ser usado.
7. Tamiz N° 4.
8. Agua destilada. (American Society for Testing Materials, 2014)

II. Calibración de frasco volumétrico

- a) Determinar la masa del picnómetro limpio y seco con una aproximación de 0.01 g. Repetir esta determinación cinco veces. Determinar y registrar el promedio y la desviación estándar. La desviación estándar podrá ser menor o igual que 0.02 g. Si es mayor, probar con mediciones adicionales o usar una balanza más estable o precisa.
- b) Llenar el picnómetro con agua desairada por encima o debajo de la marca de calibración dependiendo del tipo de picnómetro, el agua debe ser desairada para asegurar que no haya burbujas de aire en el agua. El agua puede ser desairada mediante ebullición. Esta agua no debería ser usada hasta que se haya equilibrado a la temperatura del cuarto.
- c) Poner el picnómetro dentro del contenedor aislado y cubierto junto con el termómetro (en un recipiente con agua), y agua destilada en una botella junto ya sea con un gotero o una pipeta. Dejar el picnómetro llegar al equilibrio termal (por al menos 3 horas).
- d) La temperatura de equilibrio debería estar dentro de $\pm 4^{\circ}\text{C}$ de la temperatura del cuarto y entre 15 y 30°C .

- e) Mover el contenedor aislado cerca de la balanza o viceversa. Abrir el contenedor y remover el frasco volumétrico. Solo la corona del frasco podrá ser manipulada para prevenir el calentamiento del frasco, evitando así el cambio del equilibrio termal.
- f) Realizar los ajustes del nivel del agua del frasco volumétrico, dentro del contenedor aislado, utilizando el agua y los instrumentos equilibrados termalmente que se encuentran en conjunto con el frasco volumétrico. Si el agua tiene que ser removida usar un tubo de succión o una toalla de papel. Revisar y remover cualquier partícula de agua remanente en el alma del frasco volumétrico o en el exterior de este.
- g) Medir y registrar la masa del frasco volumétrico y agua con una aproximación al 0.01 g, a su vez determinar la temperatura del agua con aproximación de 0.1°C (usando el termómetro que ha estado equilibrado termalmente en el contenedor aislado). Inserte el termómetro a una profundidad de inmersión de entre 25 y 80 mm.
- h) Regresar el frasco volumétrico al contenedor aislado, dejar que se equilibre termalmente (por al menos 3 horas). Repetir el procedimiento para obtener 5 mediciones independientes.
- i) Usando cada uno de estos cinco puntos de datos, calcular el volumen calibrado del frasco volumétrico V_p , usando la siguiente ecuación.

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

Ecuación 35, Volumen frasco volumétrico

Donde:

$M_{pw,c}$, Masa del picnómetro y agua a la temperatura de calibración,

M_p , Masa promedio del picnómetro a la calibración, g, y.

$\rho_{w,c}$, Densidad de masa del agua a la temperatura de calibración g/mL
(Tabla 14).

- j) Calcular el promedio y la desviación estándar de los 5 volúmenes determinados. La desviación estándar podrá ser menor o igual a 0.05 ml (redondear a 2 decimales). Si la desviación estándar es mayor a 0.05 ml, revisar el procedimiento hasta que la desviación sea menor o igual al valor indicado.
9. Usando la misma balanza usada para calibrar el frasco volumétrico, verificar que la masa del frasco volumétrico esta entre 0.06 g de la masa promedio calibrada. Si no lo está, recalibrar la masa seca del frasco volumétrico. (American Society for Testing Materials, 2014)

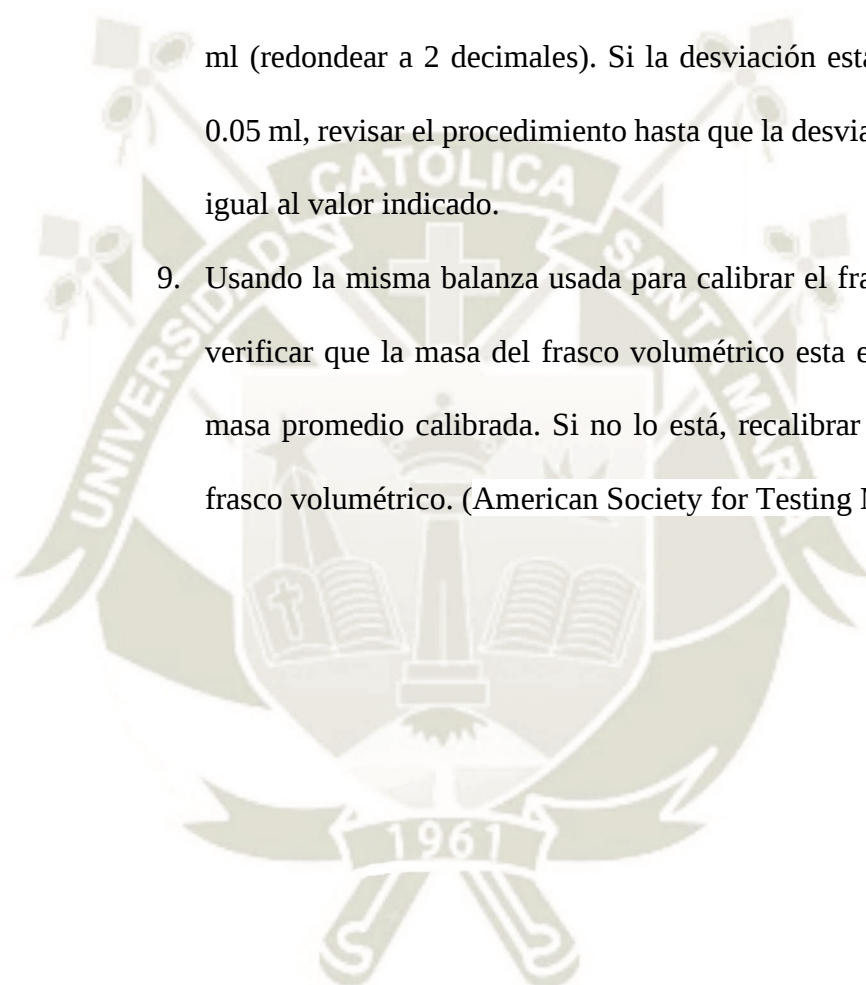


Tabla 14, Density of water temperature coefficient (K) for various temperatures

Temperature (°C)	Density (g/mL) ^B	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) ^B	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) ^B	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) ^B	Temperature Coefficient (K)
15	0.9991	1.0009	16	0.99895	1.00074	17	0.99878	1.00057	18	0.9986	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	0.99889	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	1.0005	.4	0.99852	1.00032
.5	0.99902	1.00082	.5	0.99886	1.00066	.5	0.99869	1.00048	.5	0.9985	1.0003
.6	0.99901	1.0008	.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	0.99841	1.00020	20	0.99821	1.00000	21	0.99799	0.99979	22	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	0.99771	0.9995
.4	0.99833	1.00012	.4	0.99812	0.99992	.4	0.99791	0.9997	.4	0.99768	0.99947
.5	0.99831	1.00010	.5	0.9981	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	0.9994
.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	0.99754	0.99933	24	0.9973	0.99909	25	0.99705	0.99884	26	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	0.997	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	0.9985
.4	0.99745	0.99924	.4	0.99722	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	0.9974	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	0.9966	0.99839
.8	0.99735	0.99914	.8	0.9971	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	0.9986	.9	0.99654	0.99833
27	0.99652	0.99831	28	0.99624	0.99803	29	0.99595	0.99774	30	0.99565	0.99744
.1	0.99649	0.99828	.1	0.99621	0.998	.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	0.9982	.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	0.9958	0.99759	.5	0.9955	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	0.9978	.8	0.99571	0.9975	.8	0.99541	0.9972
.9	0.99627	0.99806	.9	0.99598	0.99777	.9	0.99568	0.99747	.9	0.99538	0.99716

Fuente: ASTM D854, American Society for Testing Materials, (2014).

III. Preparación de la muestra

10. El espécimen de ensayo puede ser suelo húmedo o secado al horno y podrá ser representativo de los sólidos de suelo que pasen la malla N° 4 en el total de la muestra. La tabla 15 da guías en cuanto a masas de suelo seco versus tipo de suelo y tamaño de frasco volumétrico. (American Society for Testing Materials, 2014)

Tabla 15, Recommended Mass for Test Specimen

Soil Type	Specimen Dry Mass (g) When Using 250 mL Pycnometer	Specimen Dry Mass (g) When Using 500 mL Pycnometer
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Silt or Clay	35 ± 10	50 ± 10

Fuente ASTM D854, American Society for Testing Materials, (2014).

IV. Procedimiento

- Secar el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndose a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Desmenuzar algunos terrones de suelo usando un mortero y mano.
- Colocar el embudo en el frasco volumétrico. El pico del embudo debe extenderse pasando la marca de calibración o sello del tapón.
- Vierta directamente los sólidos de suelos en el embudo. Enjuagar cualquier partícula de suelo remanente en el embudo dentro del frasco volumétrico, usando una pizeta.
- Añadir agua hasta que el nivel del agua este entre $\frac{1}{3}$ y $\frac{1}{2}$ de la profundidad del cuerpo principal del frasco volumétrico. Agite el agua hasta que la pasta aguada se forme. Enjuagar cualquier suelo adherido al frasco en la pasta
- Si la pasta aguada no está formada, pero si una pasta viscosa, use un picnómetro o frasco volumétrico teniendo un volumen mayor.
- Se elimina el aire atrapado, utilizando calor (ebullición). Use una duración de al menos 2 horas después de que la mezcla suelo – agua llegue a hervir completamente. Use solo suficiente calor para lograr que la pasta aguada hierva. Agite la pasta como un método preventivo

de evitar que alguna partícula de suelo este pegada o secada en el vidrio por encima de la superficie de la pasta aguada.

- g) Se llena el picnómetro con agua destilada, introduciendo el agua a través de una pieza de tubo de diámetro pequeño con su extremo puesto justo debajo de la superficie de la pasta aguada en el frasco volumétrico. Si al momento de añadir agua, esta se torna nublada, no añada agua por encima de la marca de calibración. Añada el agua remanente al día siguiente.
- h) Si el calor fue usado, deje enfriar el espécimen hasta aproximadamente la temperatura ambiente.
- i) Ponga el picnómetro o frasco volumétrico en el contenedor aislado. El termómetro (en un vaso picudo de agua), y algo de agua desairada en una botella junto con ya sea un gotero o una pipeta que debería también ser colocada en el contenedor aislado. Dejarlo toda la noche cerrado para lograr el equilibrio termal.
- k) Mida y registre la masa del picnómetro, suelo, y agua con una aproximación de 0.01 g usando la misma balanza usada para la calibración del picnómetro. Solo la corona del frasco podrá ser manipulada para prevenir el calentamiento del frasco, evitando así el cambio del equilibrio termal.
- l) Determinar la temperatura (T_t) del agua con aproximación de 0.1 °C (usando el termómetro que ha estado equilibrado termalmente en el contenedor aislado). Inserte el termómetro a una profundidad de inmersión de entre 25 y 80 mm.

11. Determinar la masa de una tara con una aproximación de 0.01 g. Transfiera el suelo pastoso aguado a la tara. Es imprescindible que todo el suelo sea transferido. El agua puede ser añadida. Secar el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndolo a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Mida la masa seca de los sólidos de suelo con la tara con una aproximación de 0.01 g usando la balanza designada, calcule y registre la masa de los sólidos de suelo secos con una aproximación de 0.01 g. (American Society for Testing Materials, 2014)

V. Cálculos

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

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

Ecuación 36, Masa de frasco volumétrico

Donde:

$M_{pw,t}$ = masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo (Tt), g.

M_p = masa promedio calibrada del picnómetro seco, g.

V_p = el volumen promedio calibrado del picnómetro, ml.

$\rho_{w,t}$ = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (Tt), g/ml

de la Tabla 14.

- b) Calcule el peso específico de los sólidos de suelo a la temperatura de ensayo, G_t como sigue:

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

Ecuación 37, Peso específico de los solidos

donde:

ρ_s = la densidad de los sólidos de suelo Mg/m^3 o g/cm^3 .

$\rho_{w,t}$ = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (T_t), de la tabla 12, g/mL o g/cm^3 .

M_s = la masa de los sólidos de suelo secas al horno, en gramos.

$M_{\rho_{ws,t}}$ = la masa del picnómetro, agua y sólidos de suelos a temperatura de ensayo, (T_t), en gramos.

c) Calcule la gravedad específica de los sólidos de suelo a 20°C como sigue:

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

Ecuación 38, Gravedad específica

donde:

K = el coeficiente de temperatura dado en la tabla 12. (American Society for Testing Materials, 2014)



Fotografía 21, Ensayo para determinar el peso específico ASTM

Fuente: Elaboración propia

3.2.7. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)

3.2.7.1. Norma Técnica Peruana 339.134

I. Aparatos

1. Balanza sensible a 0.01 g para pesar el material.
2. Una serie de tamices los cuales son: 75 mm (3 pulg.), 19,0 mm (3/4 pulg.), 4,75 mm (Nº4), 2,00 mm (Nº 10), 0,425 mm (Nº40) y 0,075 mm (Nº 200). (INDECOPI, 2019)

II. Preparación de la muestra

- a) Para la identificación precisa, la cantidad mínima de muestra de ensayo requerida para este método dependerá de que ensayo de laboratorio necesita realizarse. Cuando se requiera el análisis granulométrico de la muestra, se necesitan los siguientes pesos secos mínimo (INDECOPI, 2019):

Tabla 16, Tamaño de especimen mínimo

Tamaño maximo de partícula, abertura de tamiz	Tamaño de especimen mínimo peso seco
3 "	60 kg
1 1/2 "	8 kg
3/4 "	1 kg
3/8 "	200 g
Nº 4	100 g

Fuente: NTP 339.134, Norma Técnica Peruana (2019).

III. Procedimiento

- a) Este sistema de clasificación está limitado a la porción de muestra que pasa la malla de 3 pulgadas (75 mm), el material mayor de 3 pulgadas

(75 mm) deberá ser extraído antes de la determinación de las características de granulometría, límite líquido e índice plástico.

- b) Determine el análisis granulométrico, usando un grupo de tamices, entre los cuales están incluidos los siguientes (con el tamaño más grande compatible con el tamaño máximo), con aquellos otros necesarios o requeridos para definir la distribución del tamaño de las partículas.

Tabla 17, Tamices

TAMICES	
DESIGNACION	ABERTURA (mm)
3"	75
3/4"	19
Nº 4	4.75
Nº 10	2
Nº 40	0.425
Nº 200	0.075

Fuente: NTP 339.134, Norma Técnica Peruana, (2019).

- c) Si el 12 % o menos del espécimen de ensayo pasa la malla Nº 200 (0.075 mm), se deberá graficar la curva granulométrica y calcular el coeficiente de uniformidad, C_u , y el coeficiente de la curvatura, C_c , tal como indican las siguientes ecuaciones:

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

Ecuación 39, Coeficiente de Uniformidad

$$C_c = (D_{30})^2/(D_{10} * D_{60})$$

Ecuación 40, Coeficiente de Curvatura

Donde:

D_{10}, D_{30} y D_{60} =diámetros de partículas correspondientes al 10, 30, y 60 %, respectivamente, del peso acumulado que pasa la curva granulométrica.

d) Proceda a clasificar los suelos según las siguientes cartas (INDECOPI, 2019):



Criterios para Asignar Símbolo, Nombre utilizando ensayos de Laboratorio ^A				Clasificación del Suelo	
				Símbolo de Grupo	Nombre de Grupo ^B
Suelos de Grano Grueso Más del 50% es retenido en la malla N° 200	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa es retenido en la malla N° 4	Gravas Limpias Menos del 5% de finos ^C	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$ ^E $Cu < 4$ y/o $1 > Cc > 3$ ^E	GW	Grava bien graduada ^F
		Gravas con Finos Más del 12% de finos ^G	Los finos se clasifican como ML o MH Los finos se clasifican como CL o CH	GM	Grava limosa ^{F,*,H}
		Arenas Limpias Menos del 5% de finos ^C	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ ^E $Cu < 6$ y/o $1 > Cc > 3$ ^E	SW	Arena bien graduada ^I
		Arenas con finos Más del 12% de finos ^G	Los finos se clasifican como ML o MH Los finos se clasifican como CL o CH	SM	Arena limosa ^{*,H,I}
	Arenas 50% a más de la fracción gruesa pasa la malla N° 4	Arenas Limpias Menos del 5% de finos ^C	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ ^E $Cu < 6$ y/o $1 > Cc > 3$ ^E	SP	Arena pobremente graduada ^I
		Arenas con finos Más del 12% de finos ^G	Los finos se clasifican como ML o MH Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena arenilosa ^{*,H,I}
Suelos de Grano Fino 50% a más pasa la malla N° 200	Limos y Arcillas Límite Líquido ≤ 50	Inorgánicos	$IP \geq 7$ y cae en o sobre la línea "A" ^J $IP < 4$ y cae bajo la línea "A" ^J	CL	Arcilla de baja plasticidad ^{K,L,M}
		orgánicos	Límite líquido = secado al horno Límite líquido = sin secado al horno	OL	Arcilla orgánica ^{K,L,M,N} Limo orgánico ^{K,L,M,O}
		Inorgánicos	IP cae en o sobre la línea "A" ^J IP cae bajo la línea "A" ^J	CH	Arcilla de alta plasticidad ^{K,L,M}
		orgánicos	Límite líquido = secado al horno Límite líquido = sin secado al horno	OH	Arcilla orgánica ^{K,L,M,P} Limo orgánico ^{K,L,M,Q}
	Limos y Arcillas Límite líquido ≥ 50	Inorgánicos	IP cae en o sobre la línea "A" ^J IP cae bajo la línea "A" ^J	CH	Arcilla de alta plasticidad ^{K,L,M}
		orgánicos	Límite líquido = secado al horno Límite líquido = sin secado al horno	OH	Arcilla orgánica ^{K,L,M,P} Limo orgánico ^{K,L,M,Q}
Suelos altamente orgánicos		Patrón de identificación principal, color oscuro y olor orgánico		PT	Turba

^A Basado en el material que pasa la malla de 3 pulg. (75mm)

^B Si la muestra de campo contiene bloques o balones o ambos, adicionar al nombre "con bloques o balones, o ambos"

^C Gravas con 5 a 12% de finos requiere símbolo dual:
GW-GM grava bien graduada con limo
GW-GC grava bien graduada con arcilla
GP-GM grava pobremente graduada con limo
GP-GC grava pobremente graduada con arcilla

^D Arenas con 5% a 12% de finos requiere símbolo dual:
SW-SM arena bien graduada con limo
SW-SC arena bien graduada con arcilla
SP-SM arena pobremente graduada con limo
SP-SC arena pobremente graduada con arcilla

^E $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$

^F Si el suelo contiene $\geq 15\%$ de arena, agregar "con arena" al nombre.

^G Si los finos se clasifican como CL-ML, utilice el símbolo dual GC-GM o SC-SM.

^H Si los finos son orgánicos, adicionar "con finos orgánicos" al nombre.

^I Si el suelo contiene $\geq 15\%$ de grava adicionar "con grava" al nombre.

^J Si los límites de Atterberg ubican al suelo en el área sombreada, el suelo es un CL-ML, arcilla limosa.

^K Si el suelo contiene de 15 a 29% de material que pasa la malla N° 200, adicionar "con arena" o "con grava", el que predomine más.

^L Si el suelo contiene $\geq 30\%$ de material que pasa la malla N° 200 y es predominantemente arena, adicionar arenoso al nombre.

^M Si el suelo contiene $\geq 30\%$ de material que pasa la malla N° 200 y es predominantemente grava, adicionar "gravoso" al nombre.

^N $IP \geq 4$ y se ubica en o sobre la línea "A"

^O $IP < 4$ o se ubica bajo la línea "A"

^P IP cae en o sobre la línea "A"

^Q IP cae bajo la línea "A"

Ilustración 7, Carta para clasificación de suelos

Fuente: NTP 339.134, Norma Técnica Peruana, (2019).

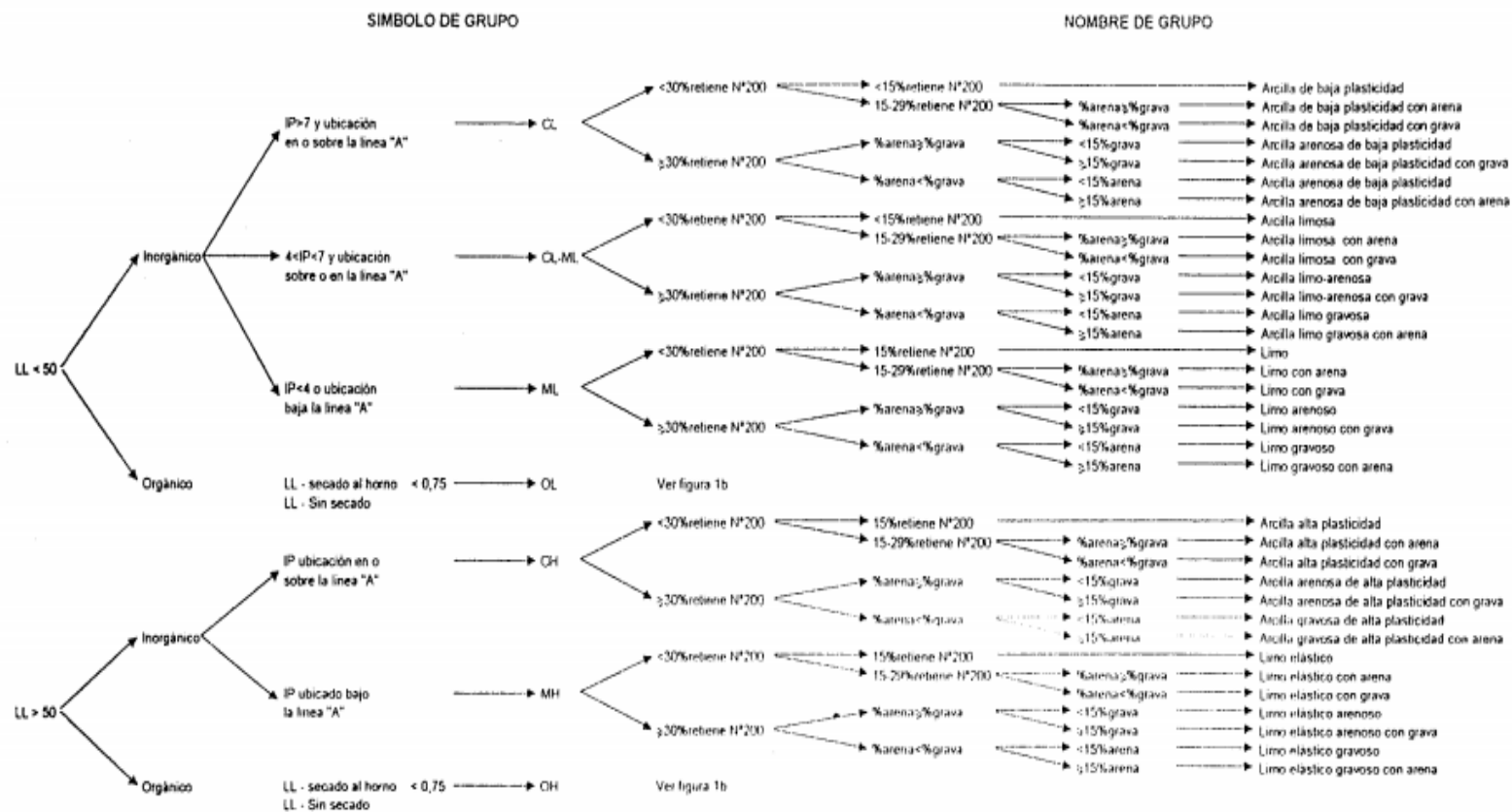


Ilustración 8, Carta para clasificación de suelos (50 % o más pasa la malla N° 200)

Fuente: NTP 339.134, Norma Técnica Peruana, (2019).

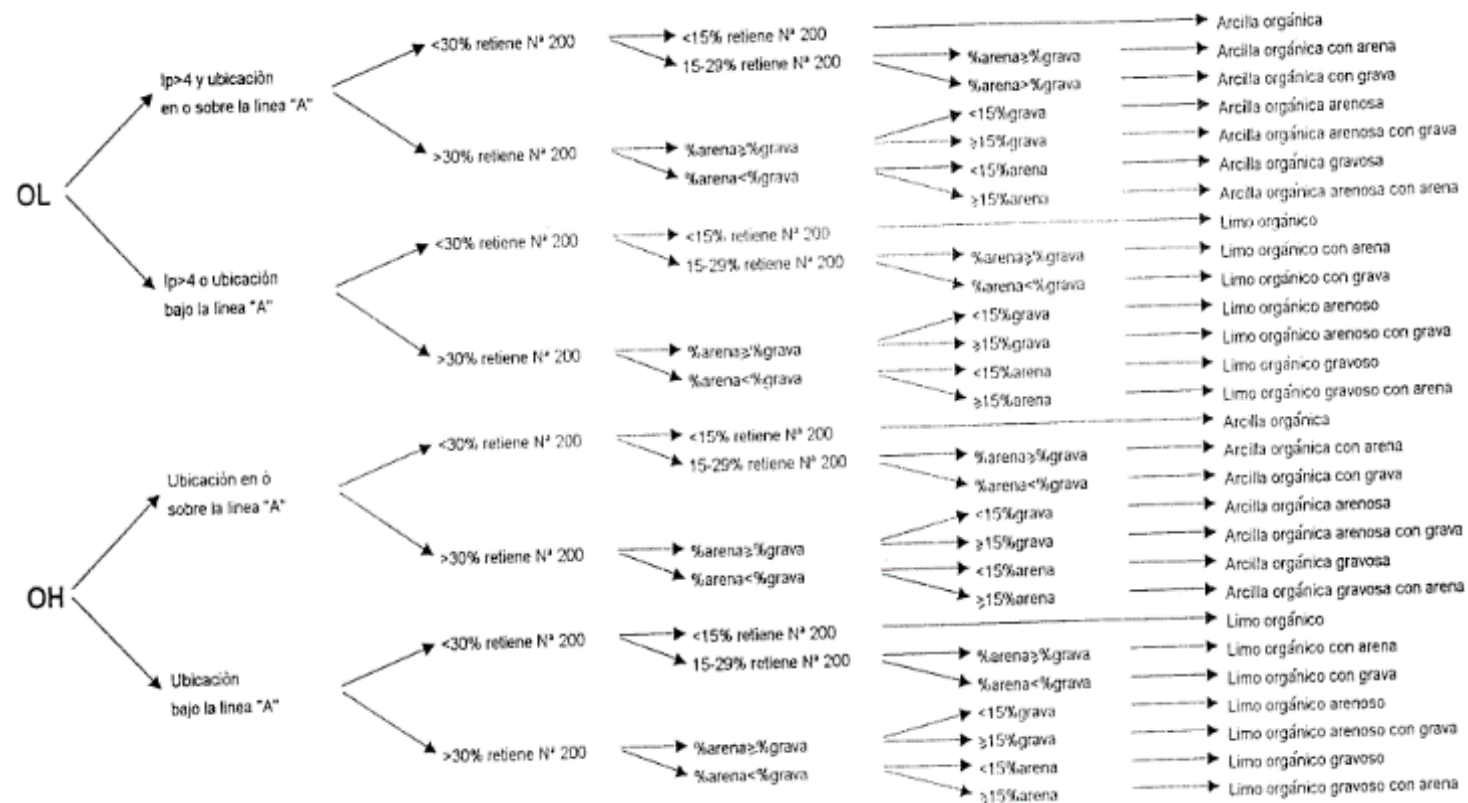


Ilustración 9, Flujo para clasificación de suelos (50 % o más para la malla N° 200)

Fuente: NTP 339.134, Norma Técnica Peruana, (2019).

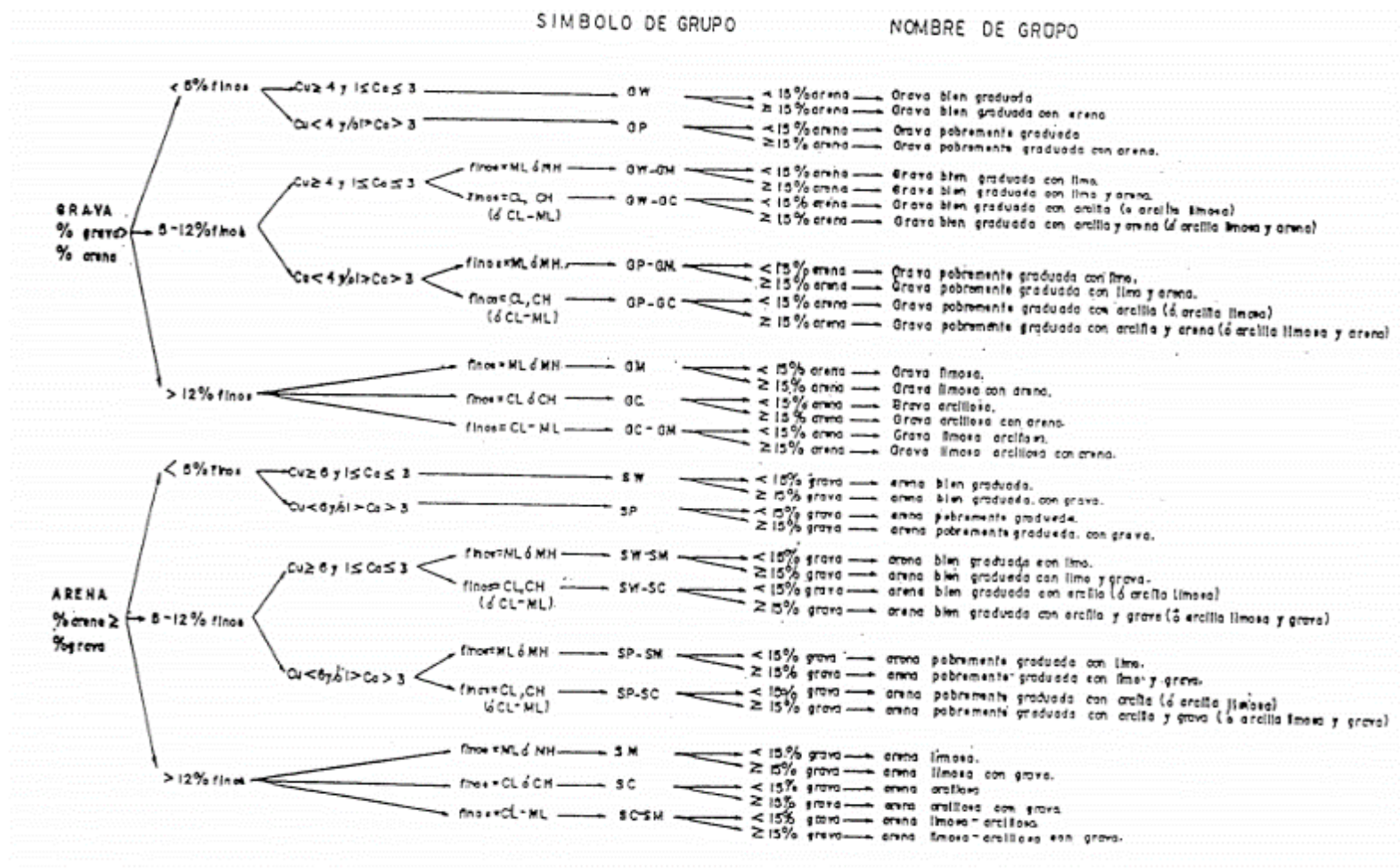


Ilustración 10, Carta de flujo para clasificación de suelos (más del 50 % retenido en la malla N° 200)

Fuente: NTP 339.134, Norma Técnica Peruana, (2019).

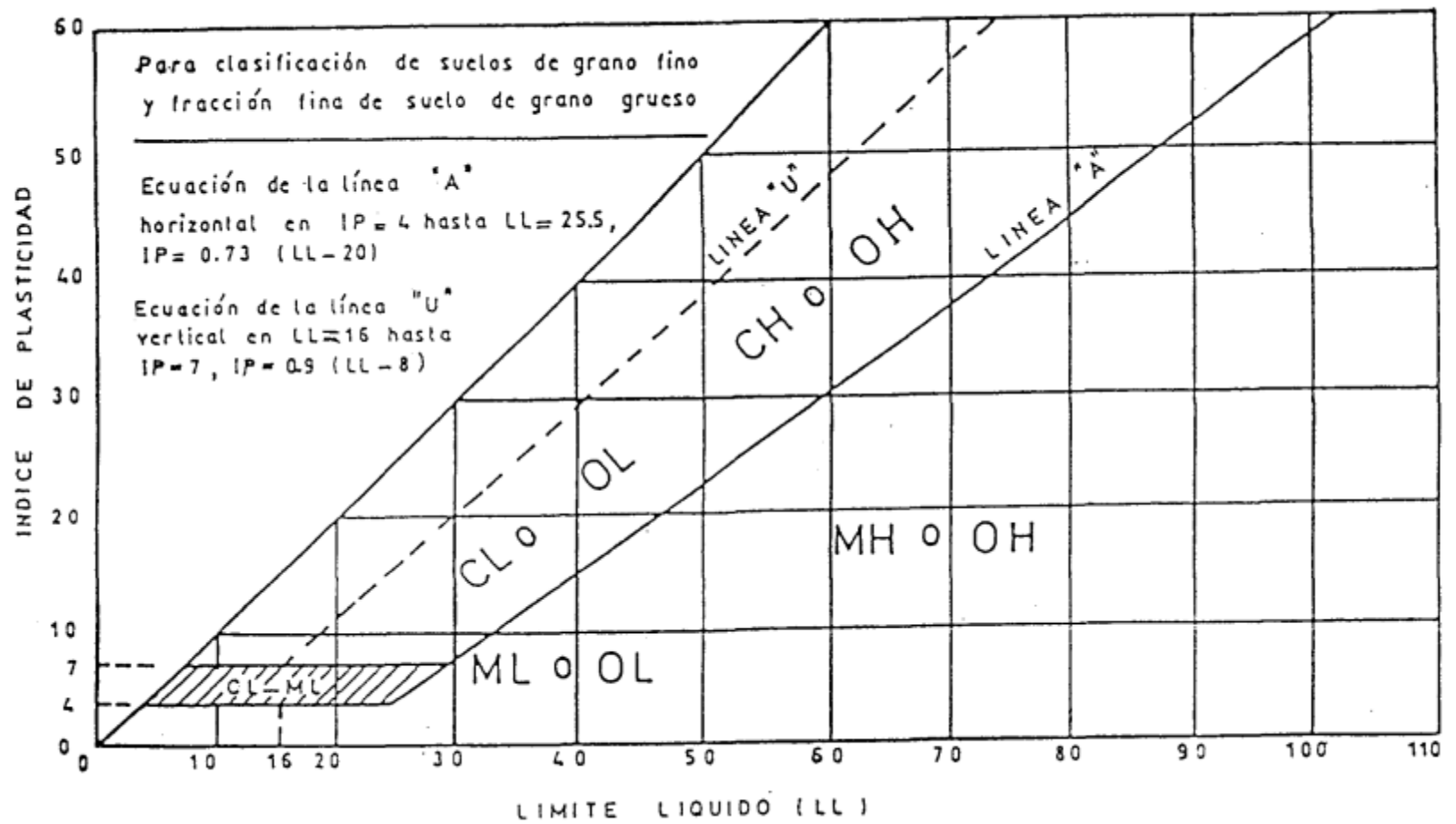


Ilustración 11, Carta de plasticidad

Fuente: NTP 339.134, Norma Técnica Peruana, (2019).

3.2.7.2. American Society for Testing Materials D2487

I. Aparatos

1. Balanza sensible a 0.01 g para pesar el material.
2. Una serie de tamices los cuales son: 75 mm (3 pulg.), 19,0 mm (3/4 pulg.), 4,75 mm (Nº4). 2,00 mm (Nº 10), 0,425 mm (Nº40) y 0,075 mm (Nº 200). (American Society for Testing Materials, 2020)

II. Preparación de la muestra

- a) Para la identificación precisa, la cantidad mínima de muestra de ensayo requerida para este método dependerá de que ensayo de laboratorio necesita realizarse. Cuando se requiera el análisis granulométrico de la muestra, se necesitan los siguientes pesos secos mínimo:

Tabla 18, Peso mínimo seco requerido

Maximum Particle Size, Sieve Opening	Minimum Specimen Size, Dry Weight
4.75 mm (No. 4)	100 g (0.25 lb)
9.5 mm (3/8 in.)	200 g (0.5 lb)
19.0 mm (3/4 in.)	1.0 kg (2.2 lb)
38.1 mm (1 1/2 in.)	8.0 kg (18 lb)
75.0 mm (3 in.)	60.0 kg (132 lb)

Fuente: ASTM D2487, American Society for Testing Materials, (2020).

III. Procedimiento

- a) Este sistema de clasificación está limitado a la porción de muestra que pasa la malla de 3 pulgadas (75 mm), el material mayor de 3 pulgadas (75 mm) deberá ser extraído antes de la determinación de las características de granulometría, limite liquido e índice plástico.

- b) Determine el análisis granulométrico, usando un grupo de tamices, entre los cuales están incluidos los siguientes (con el tamaño más grande compatible con el tamaño máximo), con aquellos otros necesarios o requeridos para definir la distribución del tamaño de las partículas.

Tabla 19, Tamices requeridos

TAMICES	
DESIGNACION	ABERTURA (mm)
3"	75
3/4"	19
Nº 4	4.75
Nº 10	2
Nº 40	0.425
Nº 200	0.075

Fuente: ASTM D 2487, American Society for Testing Materials, (2020).

- c) Si el 12 % o menos del espécimen de ensayo pasa la malla Nº 200 (0.075 mm), se deberá graficar la curva granulométrica y calcular el coeficiente de uniformidad, C_u , y el coeficiente de la curvatura, C_c , tal como indican las siguientes ecuaciones:

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

Ecuación 41, Coeficiente de Uniformidad

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$$

Ecuación 42, Coeficiente de Curvatura

Donde:

D_{10} , D_{30} y D_{60} = diámetros de partículas correspondientes al 10, 30, y 60 %, respectivamente, del peso acumulado que pasa la curva granulométrica. (American Society for Testing Materials, 2020)

- d) Proceda a clasificar los suelos según las siguientes cartas:

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^A				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name ^B
COARSE-GRAINED SOILS	Gravels	Clean Gravels	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3^C$	GW	Well-graded gravel ^D
More than 50 % retained on No. 200 sieve	More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Less than 5 % fines ^E	$Cu < 4$ and/or $1 > Cc > 3^C$	GP	Poorly graded gravel ^D
		Gravels with Fines	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel ^{D, F, G}
Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^A				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name ^B
		More than 12 % fines ^E	Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel ^{D, F, G}
	Sands	Clean Sands	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3^C$	SW	Well-graded sand ^H
	50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Less than 5 % fines ^I	$Cu < 6$ and/or $1 > Cc > 3^C$	SP	Poorly graded sand ^H
		Sands with Fines	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand ^{F, G, H}
		More than 12 % fines ^I	Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand ^{F, G, H}
FINE-GRAINED SOILS	Silts and Clays	inorganic	PI > 7 and plots on or above "A" line ^J	CL	Lean clay ^{K, L, M}
50 % or more passes the No. 200 sieve	Liquid limit less than 50		PI < 4 or plots below "A" line ^J	ML	Silt ^{K, L, M}
		organic	Liquid limit – oven dried > 0.75	OL	Organic clay ^{K, L, M, N}
			Liquid limit – not dried	OL	Organic silt ^{K, L, M, O}
	Silts and Clays	inorganic	PI plots on or above "A" line	CH	Fat clay ^{K, L, M}
	Liquid limit 50 or more		PI plots below "A" line	MH	Elastic silt ^{K, L, M}
		organic	Liquid limit – oven dried > 0.75	OH	Organic clay ^{K, L, M, P}
			Liquid limit – not dried		Organic silt ^{K, L, M, O}
HIGHLY ORGANIC SOILS	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor			PT	Peat

Ilustración 12, Soil classification chart

Fuente: ASTM D 2487, American Society for Testing Materials, (2020).

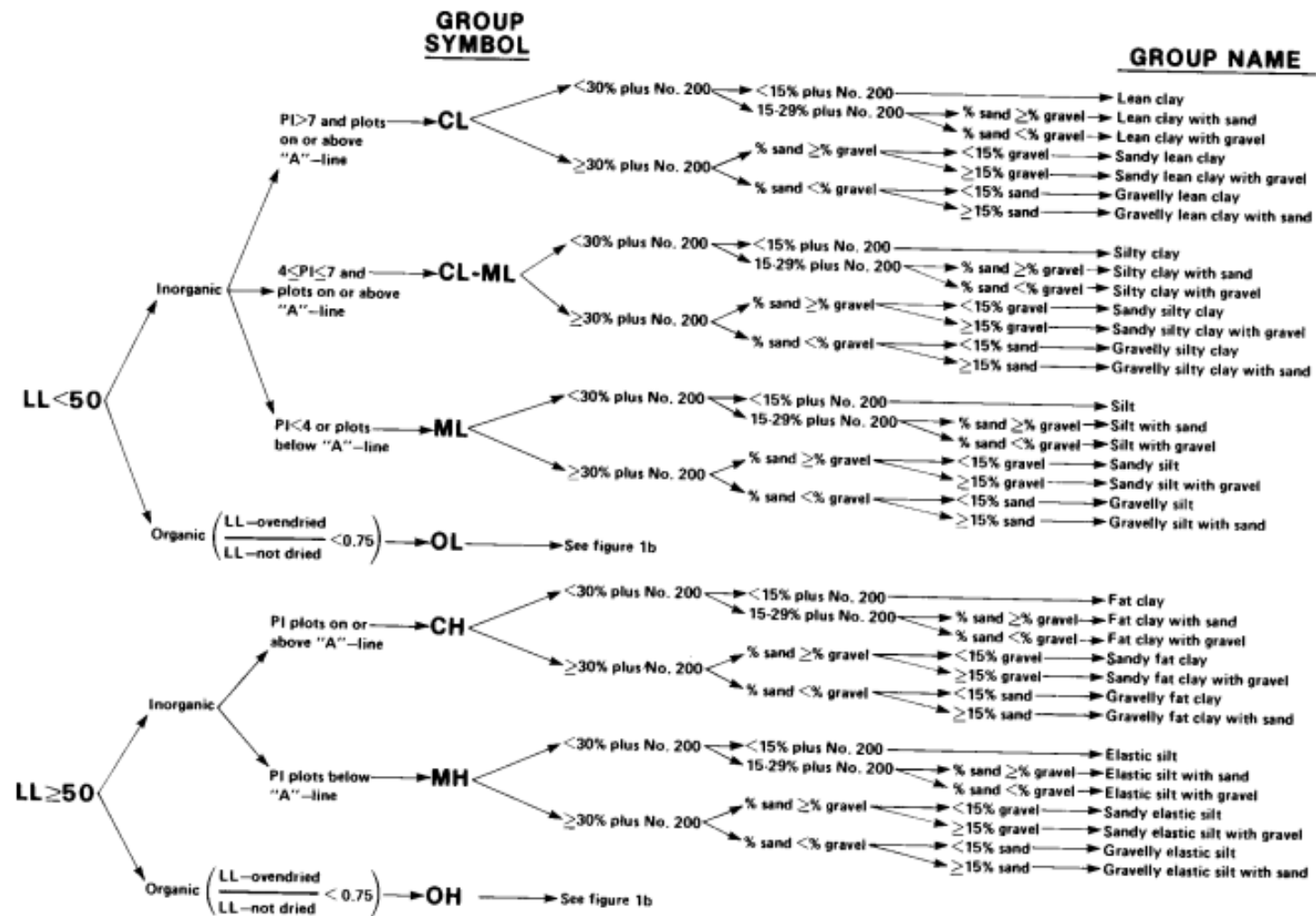


Ilustración 13, Flow chart for classifying soil (50 % or more passes No. 200 sieve)

Fuente: ASTM D 2487, American Society for Testing Materials, (2020).

GROUP SYMBOL

GROUP NAME

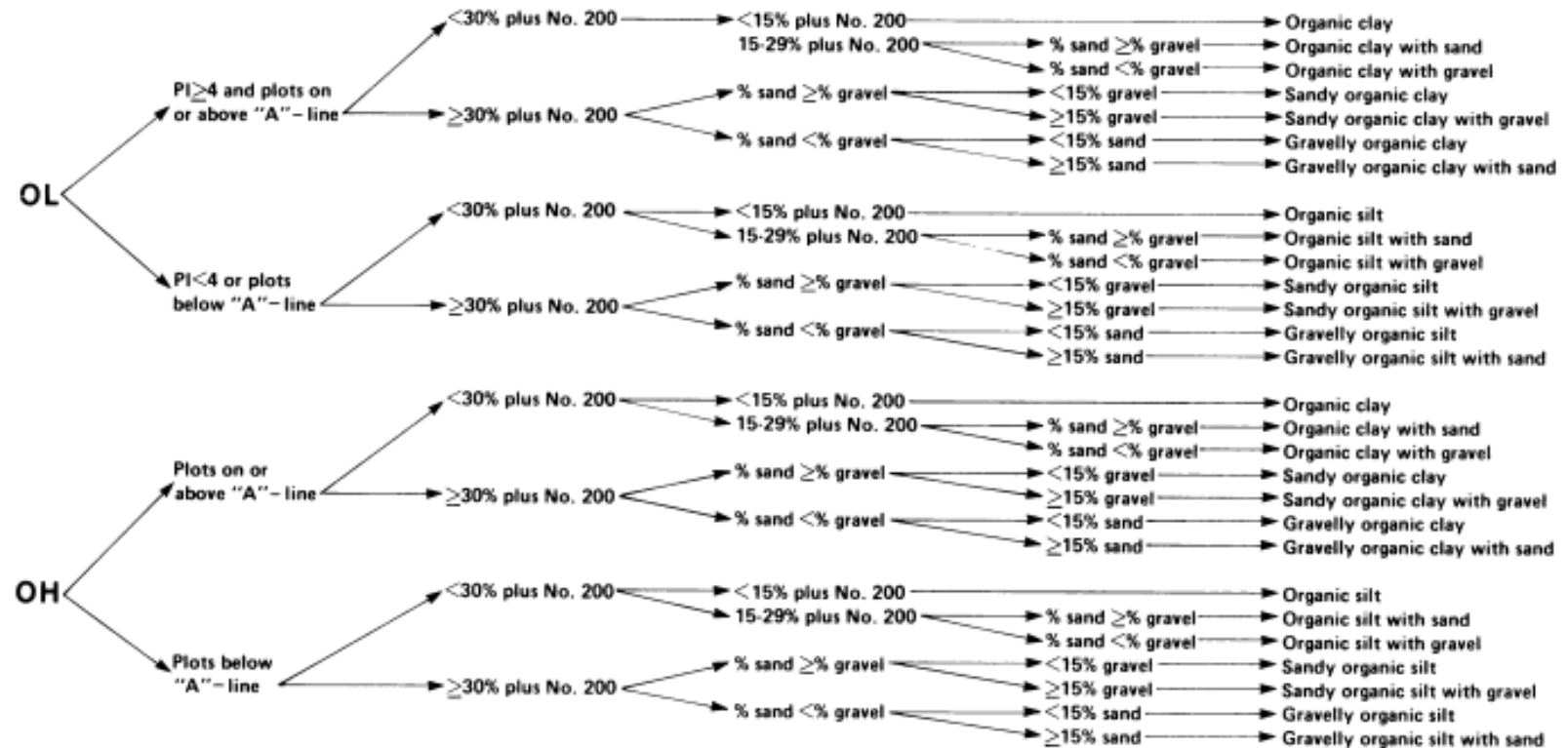


Ilustración 14, Flow chart for classifying soil (50 % or more passes No. 200 sieve)

Fuente: ASTM D 2487, American Society for Testing Materials, (2020).

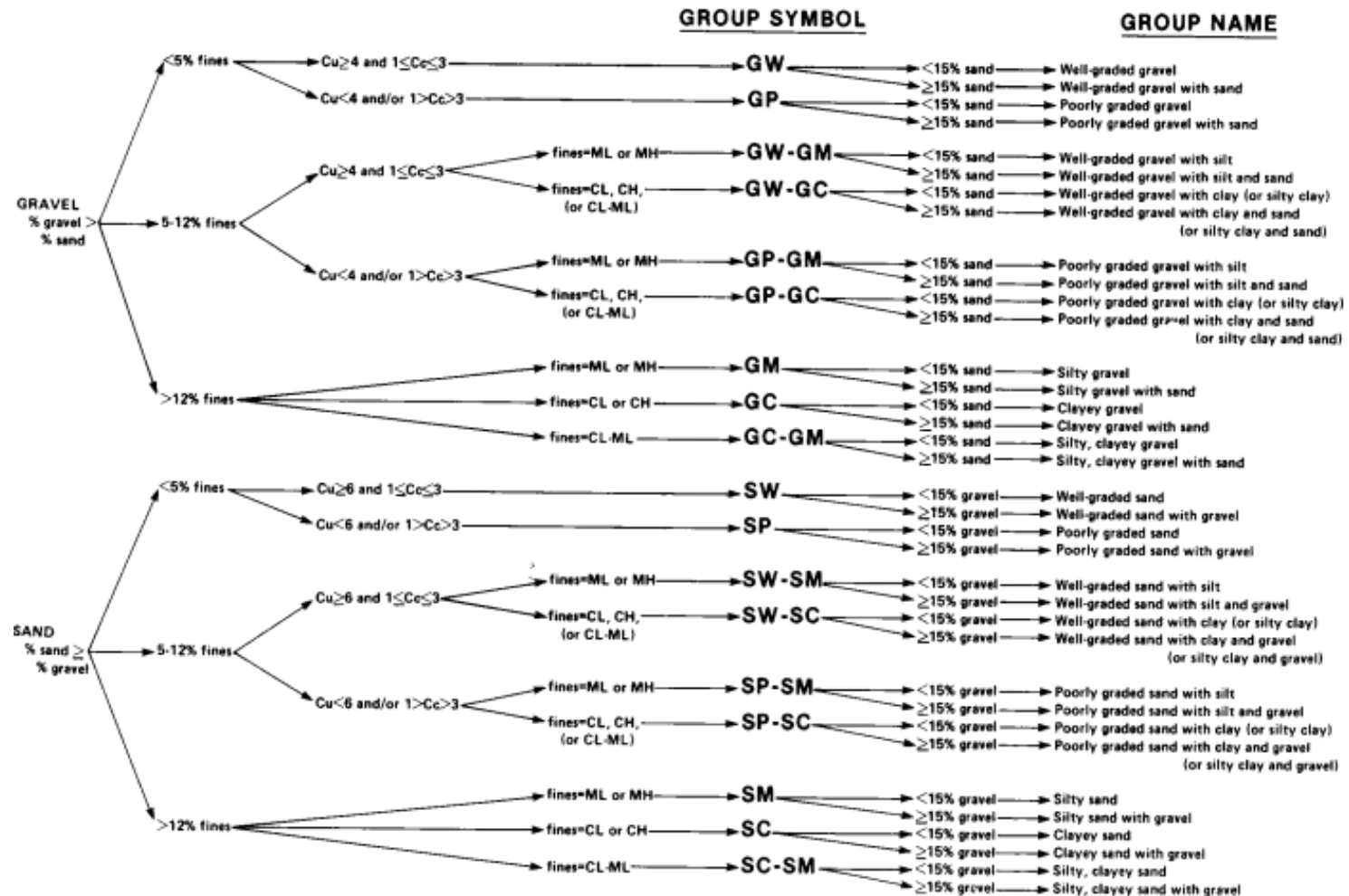


Ilustración 15, Flow chart for classifying soils (more than 50 % retained on No. 200 sieve)

Fuente: ASTM D 2487, American Society for Testing Materials, (2020).

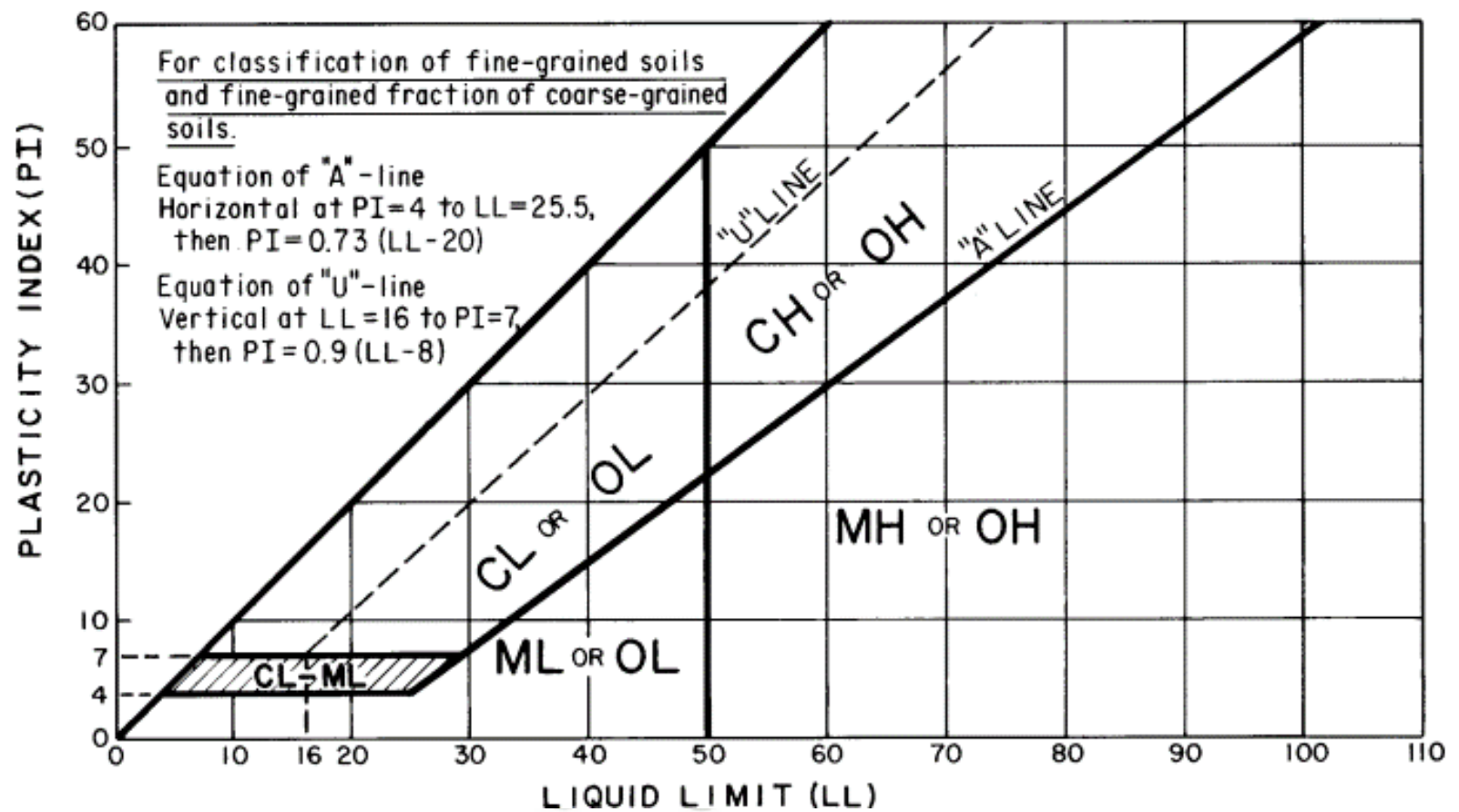


Ilustración 16, Carta de plasticidad

Fuente: ASTM D 2487, American Society for Testing Materials, (2020).

3.2.8. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.

3.2.8.1. Norma Técnica Peruana 339.141

I. Aparatos

- a) Ensamblaje de molde: Los moldes deben ser cilíndricos, hechos de material rígido y con la capacidad y dimensiones que se indican en Ilustración 17 y 18. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas, o ahusadas. El tipo “partido” deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento, que se puede cerrar de forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo “ahusado” debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de 16,7 mm/m (0,200 pulg/pie) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y contruidos de modo que se puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos 50,8 mm (2,0 pulg) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos 19,0 mm (0,75 pulg) por debajo de ésta.

El collar de extensión debe alinearse con el interior del molde. La parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.

- b) Molde de 4 pulg: Un molde que tenga un promedio de 101,6 mm $\pm$ 0,4 mm (4,000 pulg $\pm$ 0,016 pulg) de diámetro interior promedio, una

altura de 116,4 mm $\pm$ 0,5 mm (4,584 pulg $\pm$ 0,018 pulg.) y un volumen de 944 cm³ $\pm$ 14 cm³ (0,0333 pie³ $\pm$ 0,0005 pie³). En la ilustración 17 se muestra el ensamblaje del molde con los requisitos máximos.

- c) Molde de 6 pulg: Un molde que tenga un promedio de 152,4 mm $\pm$ 0,7 mm (6,000 pulg $\pm$ 0,026 pulg.) de diámetro interior promedio, una altura de 116,4 mm $\pm$ 0,5 mm (4,584 pulg $\pm$ 0,018 pulg) y un volumen de 2124 cm³ $\pm$ 25 cm³ (0,075 pie³ $\pm$ 0,0009 pie³). En la ilustración 18 se muestra el ensamblaje del molde con los requisitos máximos.
- d) Pisón manual: El pisón debe equiparse con una guía que tenga suficiente juego modo que la caída libre del pisón y la cabeza no sea restringida. La guía debe tener por lo cuatro orificios de ventilación en cada extremo (ocho huecos en total) localizados con centros de 19,0 mm $\pm$ 1,6 mm ($\frac{3}{4}$ pulg $\pm$ $\frac{1}{16}$ pulg.) de cada extremo y espaciados a 90 grados. El diámetro mínimo de los orificios de ventilación debe ser de 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg.) Se podrían añadir orificios adicionales o ranuras en el tubo guía.
- e) Balanza: Una balanza tipo GP5 que reúna los requisitos de la especificación ASTM D 4753 para una aproximación de 1-g.
- f) Horno de secado: Con control termostático, preferiblemente del tipo de ventilación forzada y con la capacidad de mantener una temperatura uniforme de 110 °C $\pm$ 5 °C (230 °F $\pm$ 9 °F) a través de la cámara de secado.
- g) Regla recta: Una regla recta de metal rígido de una longitud adecuada pero no menor de 254 mm (10 pulg.). La longitud total de la regla

recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de $\pm 0,1$ mm (0,005 pulg.). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que 3 mm (1/8 pulg.)

- h) Tamices: De 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg.), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg.) y N° 4 (4,75 mm) conforme a los requisitos de la especificación ASTM E11.
- i) Diferentes Herramientas: Diversas herramientas tal como mortero, cucharas, paleta, espátula, botellas de spray, etc. o un aparato mecánico apropiado para la mezcla de muestras de suelo con incrementos de agua. (INDECOPI, 2019)

Como alternativa al parante de longitud completa, puede utilizarse un parante de $2\frac{1}{2}" \times \frac{3}{8}"$. El collar puede fijarse mediante una cartela ranurada sujeta al collar y un pasador en el molde

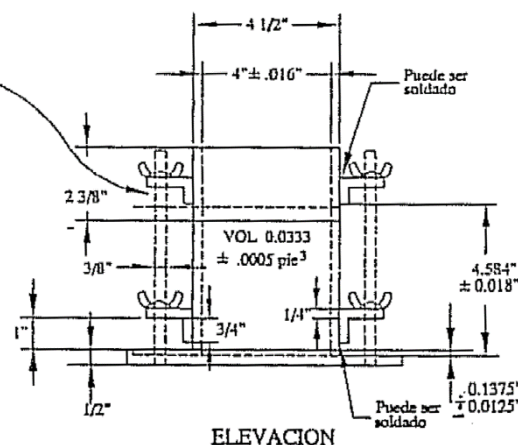
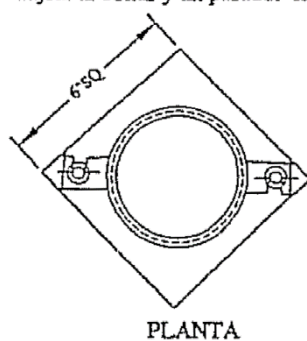


Ilustración 17, Molde cilíndrico 6,0 pulg.

Fuente: NTP 339.141, Norma Técnica Peruana, (2019).

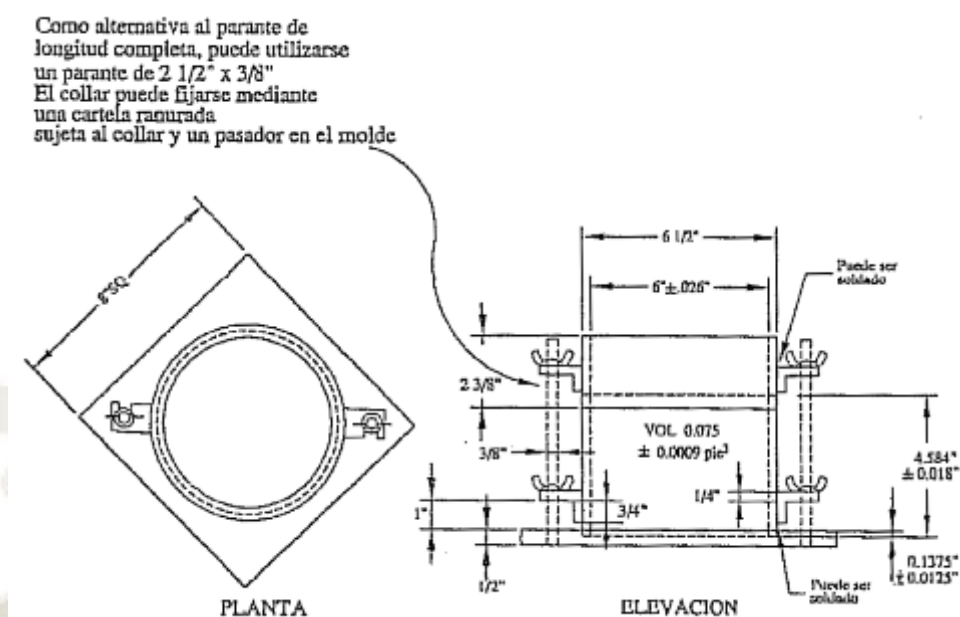


Ilustración 18, Molde cilíndrico 4,0 pulg.

Fuente: NTP 339.141, Norma Técnica Peruana, (2019).

Tabla 20, Equivalentes métricos para las ilustraciones 17 y 18.

Pulgadas	milímetros
0,016	0,41
0,026	0,66
0,032	0,81
0,028	0,71
1/2	12,70
2 1/2	63,50
2 5/8	66,70
4	101,60
4 1/2	114,30
4,584	116,43
4 3/4	120,60
6	152,4
6 1/2	165,10
6 5/8	168,30
6 3/4	171,40
8 1/4	208,60

pie ³	cm ³
1/30 (0,0333)	943
0,0005	14
1/13,333 (0,0750)	2 124
0,0011	31

Fuente: NTP 339.141, Norma Técnica Peruana, (2019).

II. Selección de método

a) Procedimiento A:

- Molde de 101,6 mm (4 pulg.) de diámetro.
- Material que pasa la malla N° 4 (4,75 mm).
- Capas: Cinco.
- Golpes por capas: 25.
- Uso: Se utiliza, si la malla N° 4 (4,75-mm) retiene el 20 % o menos del peso del material.

b) Procedimiento B:

- Molde: diámetro de 101,6 mm (4 pulg.)
- Materiales: que pasan la malla 9,5 mm (3/8 pulg.)
- Capas: Cinco.
- Golpes por capas: 25.
- Uso: Se utiliza, si la malla N° 4 (4,75-mm) retiene más del 20 % en peso del material y el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg.) retiene el 20 % o menos en peso del material.

c) Procedimiento C:

- Molde: 152,4 mm (6 pulg.) de diámetro.
- Material: que pasa el tamiz de 19,0 mm (¾ pulg.)
- Capas: Cinco.
- Golpes por capas: 56.
- Uso: Se deberá utilizar si el tamiz 9,53 mm (3/8 pulg.) retiene más del 20 % en peso del material y el tamiz 19,0 mm (¾ pulg.) retiene menos del 30 % en peso del material. (INDECOPI, 2019)

III. Calibración

1. Método de llenado de agua:

- a) Engrase ligeramente la parte inferior del molde de compactación y colóquelo en un plato de plástico o de vidrio. Engrase ligeramente la parte superior del molde.
- b) Determine la masa del molde engrasado y de los platos de plástico y vidrio lo más cerca de 1 g (0,01 lbm) y regístrelo.
- c) Coloque el molde y el plato inferior en una superficie nivelada, firme y llene el molde con agua ligeramente hasta sobre su borde.
- d) Deslice el segundo plato sobre la parte superior de la superficie del molde de manera que el molde quede completamente lleno con agua, pero sin burbujas de aire. Añada o remueva agua si es necesario con una jeringa bombilla.
- e) Seque completamente cualquier exceso de agua de la parte exterior del molde y de los platos.
- f) Determine la masa del molde, platos y agua y regístrelo lo más cerca de 1 g (0,01 lbm).
- g) Determine la temperatura del agua en el molde lo más cerca de 1 °C y regístrelo. Determine y registre la densidad absoluta del agua de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 21, Tabla de densidades de agua

Temperatura °C (°F)	Densidad del agua, g/ml
18 (64,4)	0,99862
19 (66,2)	0,99843
20 (68,0)	0,99823
21 (69,8)	0,99802
22 (71,6)	0,99779
23 (73,4)	0,99456
24 (75,2)	0,99733
25 (77,0)	0,99707
26 (78,8)	0,99681

Fuente: NTP 339.141, Norma Técnica Peruana, (2019).

- h) Calcule la masa del agua en el molde mediante la sustracción de la masa determinada en el inciso f.
- i) Calcule el volumen del agua dividiendo la masa del agua por la densidad del agua y registrándola lo más cerca de 1 cm³ (0,0001 pie³). (INDECOPI, 2019)



Fotografía 22, Calibración de molde de compactación.

Fuente: Elaboración propia

IV. Muestra de ensayo

- a) La masa de la muestra requerida para los procedimientos A y B es de aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el procedimiento C es aproximadamente de 29 kg (65 lbm) del suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener una masa húmeda mínima de 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente. (INDECOPI, 2019)

V. Preparación del ensayo

- a) Seleccione un molde de compactación apropiado que se va a utilizar de acuerdo con el procedimiento (A, B, o C). Determine y registre su masa con aproximación a 1 g. Ensamble el molde, base y collar de extensión. Revise el alineamiento de la pared interior y del molde y del collar de extensión del molde. Haga ajustes si es necesario.
- b) Revise que el ensamblado del pisón trabaje en buenas condiciones y que sus partes no estén flojas o gastadas. (INDECOPI, 2019)

VI. Procedimiento

- a) No vuelva a utilizar suelo que ha sido previamente compactado en laboratorio.
- b) Utilice el método de preparación húmeda, cuando se ensaye con suelos que contienen hallosita hidratada, o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire.
- c) Método de Preparación Húmeda (preferible): Sin secado previo de la muestra, páselo a través del tamiz N° 4 (4,75-mm), 9,5 mm (3/8 pulg.), o 19,0 mm. (¾ pulg.), en base al procedimiento (A, B, C) que se va a utilizar. Determine el contenido de agua del suelo procesado.

- d) Prepare mínimo cuatro (preferible cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cerca al óptimo. Un espécimen que tiene un contenido de agua cerca al óptimo debe ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla. Seleccione contenidos de agua para el resto de los especímenes que resulten por lo menos en dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2 %. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario. Algunos suelos con un contenido de agua óptimo muy alto o una curva de compactación relativamente plana requerirán grandes incrementos de contenido de agua para obtener un peso unitario seco máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán exceder al 4
- e) Utilice aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) de suelo tamizado en cada espécimen que se compactará utilizando el procedimiento A o B, o 5,9 kg (13 lbm) cuando se utilice el procedimiento C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en el inciso d, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C (140 °F). Mezcle continuamente el suelo durante el secado para mantener la distribución del contenido de agua. Mezcle minuciosamente cada espécimen para asegurar también la

distribución del agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la Tabla 22 antes de la compactación. Para seleccionar un tiempo de espera, el suelo debe ser clasificado mediante el método de ensayo NTP 339.134, la Práctica ASTM D 2488 o los datos de otras muestras del mismo material. Para ensayos de determinación, la clasificación deberá realizarse mediante el método de ensayo NTP 339.134.

Tabla 22, *Tiempo de permanencia requerido de especímenes en saturación*

Clasificación	Tiempo de permanencia mínimo, h
GW, GP, SW, SP	No se requiere
GM, SM	3
Todos los demás suelos	16

Fuente: NTP 339.141, Norma Técnica Peruana, (2019).

- f) Método de Preparación en Seco: Si la muestra está muy húmeda, reduzca el contenido mediante el secado al aire. El secado deberá ser al aire o utilizando un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60 °C (140 °F). Quiebre en muchas partes los agregados, pero sin quebrar las partículas individuales. Pase el material a través de un tamiz apropiado: N° 4 (4,75 mm), 9,5 mm (3/8 pulg.), o 19,0 mm (¾ pulg.).

Cuando prepare el material por el tamiz de ¾ pulg. para la compactación en un molde de 6 pulg, quiebre los agregados de modo que pasen por el tamiz de 3/8 de pulg para que facilite la distribución del agua por todo el suelo en una próxima mezcla.

- g) Prepare mínimo cuatro (preferible cinco especímenes).

- h) Utilice aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado para cada espécimen que será compactado con el procedimiento A o B, o 5,9 kg (13 lbm) utilizando el procedimiento C. Añada las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes tengan los valores descritos en el inciso d. Siga con el procedimiento de preparación del espécimen descrito en el inciso y para los suelos secos o añada agua en el suelo y cure cada muestra de ensayo.
- i) Compactación: Después de la curación, si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:
- Determine y registre la masa del molde o del molde y el plato base.
 - Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde debe descansar en un cimiento rígido y uniforme que tenga un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor a 91 kg (200 lbm). Asegure el plato base al cimiento rígido. El método de unión al cimiento rígido deberá permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después de que se concluya la compactación.
 - El suelo recortado debe incluirse con el suelo adicional para la siguiente capa. Se debe usar un cuchillo u otro aparato parecido. La cantidad total del suelo utilizado deberá ser tal que la quinta capa compactada se extienda ligeramente en el collar, pero que no exceda más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa sobrepasa la parte superior del molde más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ pulg), se debe desechar el espécimen. El espécimen debe ser

descartado cuando el último golpe del pisón de la quinta capa resulta en la parte inferior del pisón por debajo de la parte superior del molde de compactación.

- Compacte el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener casi el mismo grosor. Antes de la compactación, coloque el suelo desmenuzado en el molde y distribúyalo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisona el suelo antes de la compactación hasta que no esté esponjoso ni suelto, utilizando el pisón de compactación manual o un cilindro de 5 mm de diámetro (2 pulg). Prosiga con la compactación de cada una de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no ha sido compactado o extendido en la superficie compactada debe ser recortados.
- Compacte cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) o con 56 golpes para un molde de 152,4 mm (6 pulg).
- Al operar el pisón manual, tenga cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantenga la guía firme y a 5° de la vertical. Aplique los golpes un nivel uniforme de 25 golpes/minuto aproximadamente de modo que se asegure una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.
- Continúe con la compactación de la última capa, remueva el collar y el plato base del molde. Se debe utilizar un cuchillo para cortar el suelo adyacente del collar para soltar el suelo del collar antes

de removerlo y evitar el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.

- Determine y registre la masa del espécimen con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base, determine y registre la masa del espécimen, molde y plato base con aproximación al gramo.
- Remueva el material del molde. Obtenga un espécimen para el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se prefiere este método) o una porción representativa.
- Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera, obtenga una porción dividiendo el espécimen compactado axialmente a través del centro y removiendo 500 g. del material de los lados cortados. Obtenga el contenido de agua de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127. (INDECOPI, 2019)

VII. Cálculos

a) Peso unitario seco:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Ecuación 43, Peso Unitario Seco

Donde:

ρ_m = Densidad húmeda del espécimen compactado, Mg/m³.

M_t = Masa del espécimen húmedo y molde, kg.

M_{md} = Masa del molda compactando, kg.

V = Volumen del molde de compactación, m³.

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Ecuación 44, Densidad Seca del espécimen.

Donde:

ρ_d = Densidad seca del espécimen compactado, mg/m³.

W = Contenido de agua, %.

$$\gamma_d = 62,43 * \rho_d \text{ lbf/pie}^3$$

$$\gamma_d = 9,807 * \rho_d \text{ kN/m}^3$$

Donde:

γ_d = Peso unitario seco del espécimen compactado

b) para calcular los puntos para el ploteo de la curva

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100$$

Ecuación 45, Contenido de agua para una saturación completa

Donde:

W_{sat} = Contenido de agua para una saturación completa (%).

γ_w = Peso unitario del agua 9,807 kN/m³ o (62,43 lbf/pie³)

γ_d = Peso unitario seco del suelo.

G_s = Gravedad específica del suelo. (INDECOPI, 2019)



Fotografía 23, Ensayo de compactación de suelo NTP

Fuente: Elaboración propia

3.2.8.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E115

I. Aparatos

- a) Ensamblaje de molde: Los moldes deben ser cilíndricos, hechos de material rígido y con la capacidad y dimensiones que se indican en Ilustración 19 y 20. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas, o ahusadas. El tipo “partido” deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento, que se puede cerrar de forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo “ahusado” debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de 16,7 mm/m (0,200 pulg/pie) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y contruidos de modo que se puedan adherir de forma segura y fácil

de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos 50,8 mm (2,0 pulg) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos 19,0 mm (0,75 pulg) por debajo de ésta.

El collar de extensión debe alinearse con el interior del molde. La parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.

- b) Molde de 4 pulg: Un molde que tenga un promedio de $101,6 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$ ($4,000 \text{ pulg} \pm 0,016 \text{ pulg}$) de diámetro interior promedio, una altura de $116,4 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ ($4,584 \text{ pulg} \pm 0,018 \text{ pulg.}$) y un volumen de $944 \text{ cm}^3 \pm 14 \text{ cm}^3$ ($0,0333 \text{ pie}^3 \pm 0,0005 \text{ pie}^3$). En la ilustración 19 se muestra el ensamblaje del molde con los requisitos máximos.
- c) Molde de 6 pulg: Un molde que tenga un promedio de $152,4 \text{ mm} \pm 0,7 \text{ mm}$ ($6,000 \text{ pulg} \pm 0,026 \text{ pulg.}$) de diámetro interior promedio, una altura de $116,4 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ ($4,584 \text{ pulg} \pm 0,018 \text{ pulg}$) y un volumen de $2124 \text{ cm}^3 \pm 25 \text{ cm}^3$ ($0,075 \text{ pie}^3 \pm 0,0009 \text{ pie}^3$). En la ilustración 20 se muestra el ensamblaje del molde con los requisitos máximos.
- d) Pisón manual: El pisón debe equiparse con una guía que tenga suficiente juego modo que la caída libre del pisón y la cabeza no sea restringida. La guía debe tener por lo cuatro orificios de ventilación en cada extremo (ocho huecos en total) localizados con centros de $19,0 \text{ mm} \pm 1,6 \text{ mm}$ ($\frac{3}{4} \text{ pulg} \pm \frac{1}{16} \text{ pulg.}$) de cada extremo y espaciados a 90 grados. El diámetro mínimo de los orificios de

ventilación debe ser de 9,5 mm (3/8 pulg.) Se podrían añadir orificios adicionales o ranuras en el tubo guía.

- e) Balanza: Una balanza tipo GP5 que reúna los requisitos de la especificación ASTM D 4753 para una aproximación de 1-g.
- f) Horno de secado: Con control termostático, preferiblemente del tipo de ventilación forzada y con la capacidad de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$) a través de la cámara de secado.
- g) Regla recta: Una regla recta de metal rígido de una longitud adecuada pero no menor de 254 mm (10 pulg.). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de $\pm 0,1\text{ mm}$ (0,005 pulg.). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que 3 mm (1/8 pulg.)
- h) Tamices: De 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg.), 9,5 mm (3/8 pulg.) y N° 4 (4,75 mm) conforme a los requisitos de la especificación ASTM E11.
- i) Diferentes Herramientas: Diversas herramientas tal como mortero, cucharas, paleta, espátula, botellas de spray, etc. o un aparato mecánico apropiado para la mezcla de muestras de suelo con incrementos de agua. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

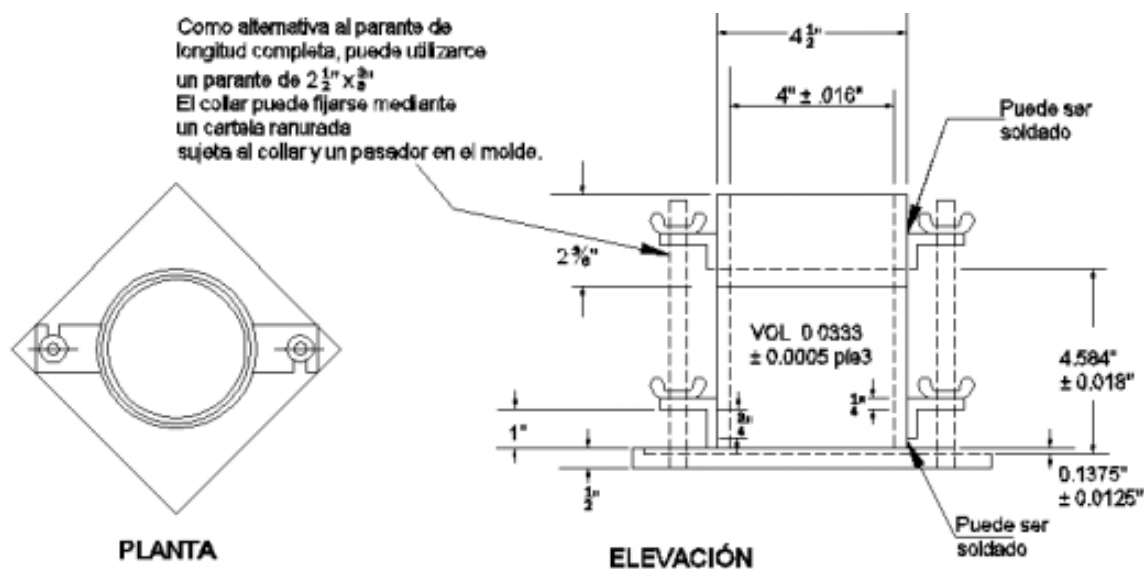


Ilustración 19, Molde cilíndrico 4,0 pulg

Fuente: MTC E 115, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

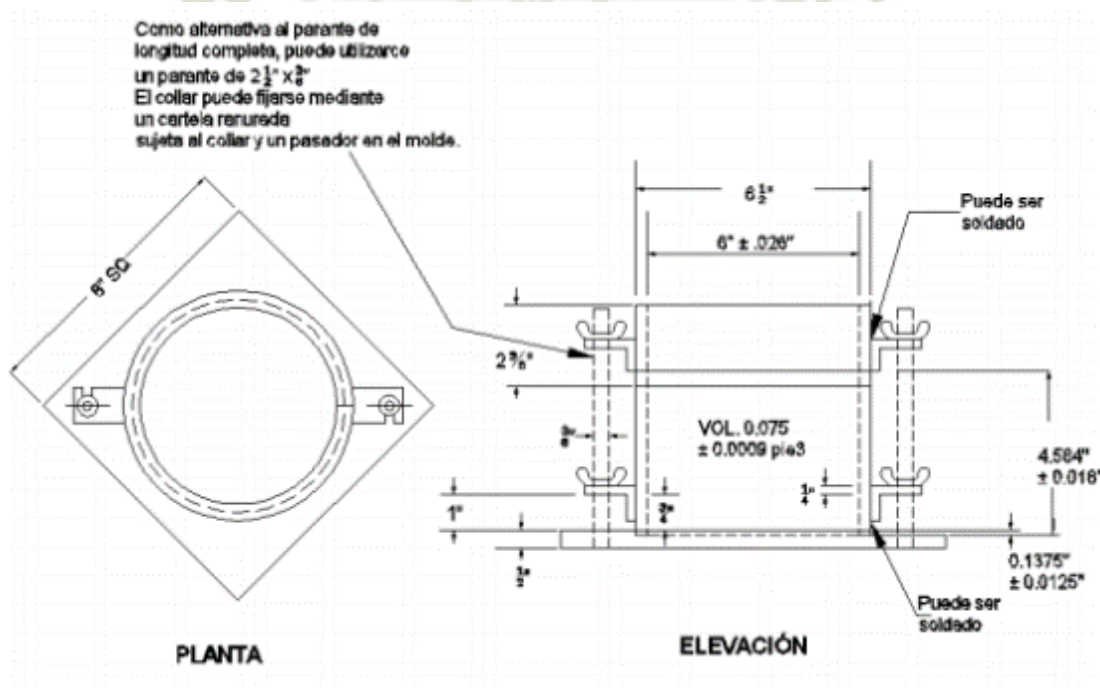


Ilustración 20, Molde cilíndrico 6,0 pulg.

Fuente: MTC E 115, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

Tabla 23, Equivalencia métrica para las lustraciones 19 y 20.

Pulgadas	milímetros
0,016	0,41
0,026	0,66
0,032	0,81
0,028	0,71
1/2	12,70
2 1/2	63,50
2 5/8	66,70
4	101,60
4 1/2	114,30
4,584	116,43
4 3/4	120,60
6	152,4
6 1/2	165,10
6 5/8	168,30
6 3/4	171,40
8 1/4	208,60

pie ³	cm ³
1/30 (0,0333)	943
0,0005	14
1/13,333 (0,0750)	2 124
0,0011	31

Fuente: MTC E 115, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

II. Selección de método

a) Procedimiento A:

- Molde de 101,6 mm (4 pulg.) de diámetro.
- Material que pasa la malla N° 4 (4,75 mm).
- Capas: Cinco.
- Golpes por capas: 25.
- Uso: Se utiliza, si la malla N° 4 (4,75-mm) retiene el 20 % o menos del peso del material.

b) Procedimiento B:

- Molde: diámetro de 101,6 mm (4 pulg.)
- Materiales: que pasan la malla 9,5 mm (3/8 pulg.)
- Capas: Cinco.
- Golpes por capas: 25.

- Uso: Se utiliza, si la malla N° 4 (4,75-mm) retiene más del 20 % en peso del material y el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg.) retiene el 20 % o menos en peso del material.

c) Procedimiento C:

- Molde: 152,4 mm (6 pulg.) de diámetro.
- Material: que pasa el tamiz de 19,0 mm (¾ pulg.)
- Capas: Cinco.
- Golpes por capas: 56.
- Uso: Se deberá utilizar si el tamiz 9,53 mm (3/8 pulg.) retiene más del 20 % en peso del material y el tamiz 19,0 mm (3/4 pulg.) retiene menos del 30 % en peso del material. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

III. Calibración

1. Método de llenado de agua:

- a) Engrase ligeramente la parte inferior del molde de compactación y colóquelo en un plato de plástico o de vidrio. Engrase ligeramente la parte superior del molde.
- b) Determine la masa del molde engrasado y de los platos de plástico y vidrio lo más cerca de 1 g (0,01 lbm) y regístrelo.
- c) Coloque el molde y el plato inferior en una superficie nivelada, firme y llene el molde con agua ligeramente hasta sobre su borde.
- d) Deslice el segundo plato sobre la parte superior de la superficie del molde de manera que el molde quede completamente lleno con agua,

pero sin burbujas de aire. Añada o remueva agua si es necesario con una jeringa bombilla.

- e) Seque completamente cualquier exceso de agua de la parte exterior del molde y de los platos.
- f) Determine la masa del molde, platos y agua y regístrelo lo más cerca de 1 g (0,01 lbm).
- g) Determine la temperatura del agua en el molde lo más cerca de 1 °C y regístrelo. Determine y registre la densidad absoluta del agua de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 24, Tabla de densidades de agua

Temperatura °C (°F)	Densidad del Agua g/mL
18 (64,4)	0,99862
19 (66,2)	0,99843
20 (68,0)	0,99823
21 (69,8)	0,99802
22 (71,6)	0,99779
23 (73,4)	0,99756
24 (75,2)	0,99733
25 (77,0)	0,99707
26 (78,8)	0,99681

Fuente: MTC E 115, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

- h) Calcule la masa del agua en el molde mediante la sustracción de la masa determinada en el inciso f.
- i) Calcule el volumen del agua dividiendo la masa del agua por la densidad del agua y registrándola lo más cerca de 1 cm³ (0,0001 pie³). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Fotografía 24, Calibración de molde de compactación

Fuente: Elaboración propia

IV. Muestra de ensayo

- a) La masa de la muestra requerida para los procedimientos A y B es de aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el procedimiento C es aproximadamente de 29 kg (65 lbm) del suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener una masa húmeda mínima de 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.

V. Preparación del ensayo

- a) Seleccione un molde de compactación apropiado que se va a utilizar de acuerdo con el procedimiento (A, B, o C). Determine y registre su masa con aproximación a 1 g. Ensamble el molde, base y collar de extensión. Revise el alineamiento de la pared interior y del molde y del collar de extensión del molde. Haga ajustes si es necesario.

- b) Revise que el ensamblado del pisón trabaje en buenas condiciones y que sus partes no estén flojas o gastadas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

VI. Procedimiento

- a) No vuelva a utilizar suelo que ha sido previamente compactado en laboratorio.
- b) Utilice el método de preparación húmeda, cuando se ensaye con suelos que contienen hallosita hidratada, o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire.
- c) Método de Preparación Húmeda (preferible): Sin secado previo de la muestra, páselo a través del tamiz N° 4 (4,75-mm), 9,5 mm (3/8 pulg.), o 19,0 mm. (¾ pulg.), en base al procedimiento (A, B, C) que se va a utilizar. Determine el contenido de agua del suelo procesado.
- d) Prepare mínimo cuatro (preferible cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cerca al óptimo. Un espécimen que tiene un contenido de agua cerca al óptimo debe ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla. Seleccione contenidos de agua para el resto de los especímenes que resulten por lo menos en dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2 %. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario. Algunos suelos con un contenido de agua óptimo muy alto o una curva de compactación

relativamente plana requerirán grandes incrementos de contenido de agua para obtener un peso unitario seco máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán exceder al 4

- e) Utilice aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) de suelo tamizado en cada espécimen que se compactará utilizando el procedimiento A o B, o 5,9 kg (13 lbm) cuando se utilice el procedimiento C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en el inciso d, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C (140 °F). Mezcle continuamente el suelo durante el secado para mantener la distribución del contenido de agua. Mezcle minuciosamente cada espécimen para asegurar también la distribución del agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la Tabla 26 antes de la compactación. Para seleccionar un tiempo de espera, el suelo debe ser clasificado mediante el método de ensayo NTP 339.134, la Práctica ASTM D 2488 o los datos de otras muestras del mismo material. Para ensayos de determinación, la clasificación deberá realizarse mediante el método de ensayo NTP 339.134.

Tabla 25, Tiempo de permanencia requerido de especímenes en saturación

Clasificación	Tiempo de permanencia mínimo en horas
GW, GP, SW, SP	No se requiere
GM, SM	3
Todos los demas suelos	16

Fuente: MTC E 115, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

f) Método de Preparación en Seco: Si la muestra está muy húmeda, reduzca el contenido mediante el secado al aire. El secado deberá ser al aire o utilizando un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60 °C (140 °F). Quiebre en muchas partes los agregados, pero sin quebrar las partículas individuales. Pase el material a través de un tamiz apropiado: N° 4 (4,75 mm), 9,5 mm (3/8 pulg.), o 19,0 mm (¾ pulg.).

Cuando prepare el material por el tamiz de ¾ pulg. para la compactación en un molde de 6 pulg, quiebre los agregados de modo que pasen por el tamiz de 3/8 de pulg para que facilite la distribución del agua por todo el suelo en una próxima mezcla.

g) Prepare mínimo cuatro (preferible cinco especímenes).

h) Utilice aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado para cada espécimen que será compactado con el procedimiento A o B, o 5,9 kg (13 lbm) utilizando el procedimiento C. Añada las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes tengan los valores descritos en el inciso d. Siga con el procedimiento de preparación del espécimen descrito en el inciso y para los suelos secos o añada agua en el suelo y cure cada muestra de ensayo.

- i) Compactación: Después de la curación, si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:
- Determine y registre la masa del molde o del molde y el plato base.
 - Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde debe descansar en un cimiento rígido y uniforme que tenga un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor a 91 kg (200 lbm). Asegure el plato base al cimiento rígido. El método de unión al cimiento rígido deberá permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después de que se concluya la compactación.
 - El suelo recortado debe incluirse con el suelo adicional para la siguiente capa. Se debe usar un cuchillo u otro aparato parecido. La cantidad total del suelo utilizado deberá ser tal que la quinta capa compactada se extienda ligeramente en el collar, pero que no exceda más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa sobrepasa la parte superior del molde más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ pulg), se debe desechar el espécimen. El espécimen debe ser descartado cuando el último golpe del pisón de la quinta capa resulta en la parte inferior del pisón por debajo de la parte superior del molde de compactación.
 - Compacte el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener casi el mismo grosor. Antes de la compactación, coloque el suelo desmenuzado en el molde y distribúyalo en una capa de espesor uniforme. Suavemente

apisone el suelo antes de la compactación hasta que no esté esponjoso ni suelto, utilizando el pisón de compactación manual o un cilindro de 5 mm de diámetro (2 pulg). Prosiga con la compactación de cada una de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no ha sido compactado o extendido en la superficie compactada debe ser recortados.

- Compacte cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) o con 56 golpes para un molde de 152,4 mm (6 pulg).
- Al operar el pisón manual, tenga cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantenga la guía firme y a 5° de la vertical. Aplique los golpes un nivel uniforme de 25 golpes/minuto aproximadamente de modo que se asegure una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.
- Continúe con la compactación de la última capa, remueva el collar y el plato base del molde. Se debe utilizar un cuchillo para cortar el suelo adyacente del collar para soltar el suelo del collar antes de removerlo y evitar el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.
- Determine y registre la masa del espécimen con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base, determine y registre la masa del espécimen, molde y plato base con aproximación al gramo.

- Remueva el material del molde. Obtenga un espécimen para el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se prefiere este método) o una porción representativa.
- Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera, obtenga una porción dividiendo el espécimen compactado axialmente a través del centro y removiendo 500 g. del material de los lados cortados. Obtenga el contenido de agua de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127.

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

VII. Cálculos

a) Peso unitario seco:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Ecuación 46, Densidad húmeda del espécimen

Donde:

ρ_m = Densidad húmeda del espécimen compactado, Mg/m³.

M_t = Masa del espécimen húmedo y molde, kg.

M_{md} = Masa del molda compactando, kg.

V = Volumen del molde de compactación, m³.

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Ecuación 47, Densidad seca del espécimen

Donde:

ρ_d = Densidad seca del espécimen compactado, Mg/m³.

W = Contenido de agua, %.

$$\gamma_d = 62,43 * \rho_d \text{ lbf/pie}^3$$

$$\gamma_d = 9,807 * \rho_d \text{ kN/m}^3$$

Donde:

γ_d = Peso unitario seco del espécimen compactado.

b) Para calcular los puntos para el ploteo de la curva

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100$$

Ecuación 48, Contenido de agua para una saturación completa

Donde:

W_{sat} = Contenido de agua para una saturación completa (%).

γ_w = Peso unitario del agua 9,807 kN/m³ o (62,43 lbf/pie³)

γ_d = Peso unitario seco del suelo.

G_s = Gravedad específica del suelo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Fotografía 25, Ensayo de compactación de suelo MTC

Fuente: Elaboración propia

3.2.8.3. American Society for Testing Materials D 1557

I. Aparatos

- a) Ensamblaje de molde: Los moldes deben ser cilíndricos, hechos de material rígido y con la capacidad y dimensiones que se indican en Ilustración 21 y 22. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas, o ahusadas. El tipo “partido” deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento, que se puede cerrar de forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo “ahusado” debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de 16,7

mm/m (0,200 pulg/pie) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y contruidos de modo que se puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos 50,8 mm (2,0 pulg) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos 19,0 mm (0,75 pulg) por debajo de ésta.

El collar de extensión debe alinearse con el interior del molde. La parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.

- b) Molde de 4 pulg: Un molde que tenga un promedio de $101,6 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$ ($4,000 \text{ pulg} \pm 0,016 \text{ pulg}$) de diámetro interior promedio, una altura de $116,4 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ ($4,584 \text{ pulg} \pm 0,018 \text{ pulg}$) y un volumen de $944 \text{ cm}^3 \pm 14 \text{ cm}^3$ ($0,0333 \text{ pie}^3 \pm 0,0005 \text{ pie}^3$). En la ilustración 21 se muestra el ensamblaje del molde con los requisitos máximos.
- c) Molde de 6 pulg: Un molde que tenga un promedio de $152,4 \text{ mm} \pm 0,7 \text{ mm}$ ($6,000 \text{ pulg} \pm 0,026 \text{ pulg}$) de diámetro interior promedio, una altura de $116,4 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ ($4,584 \text{ pulg} \pm 0,018 \text{ pulg}$) y un volumen de $2124 \text{ cm}^3 \pm 25 \text{ cm}^3$ ($0,075 \text{ pie}^3 \pm 0,0009 \text{ pie}^3$). En la ilustración 22 se muestra el ensamblaje del molde con los requisitos máximos.
- d) Pisón manual: El pisón debe equiparse con una guía que tenga suficiente juego modo que la caída libre del pisón y la cabeza no sea restringida. La guía debe tener por lo cuatro orificios de ventilación

en cada extremo (ocho huecos en total) localizados con centros de $19,0 \text{ mm} \pm 1,6 \text{ mm}$ ($\frac{3}{4}$ pulg $\pm 1/16$ pulg.) de cada extremo y espaciados a 90 grados. El diámetro mínimo de los orificios de ventilación debe ser de 9,5 mm ($3/8$ pulg.) Se podrían añadir orificios adicionales o ranuras en el tubo guía.

- e) Balanza: Una balanza tipo GP5 que reúna los requisitos de la especificación ASTM D 4753 para una aproximación de 1-g.
- f) Horno de secado: Con control termostático, preferiblemente del tipo de ventilación forzada y con la capacidad de mantener una temperatura uniforme de $110 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ ($230 \text{ °F} \pm 9 \text{ °F}$) a través de la cámara de secado.
- g) Regla recta: Una regla recta de metal rígido de una longitud adecuada pero no menor de 254 mm (10 pulg.). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de $\pm 0,1 \text{ mm}$ (0,005 pulg.). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que 3 mm ($1/8$ pulg.)
- h) Tamices: De 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg.), 9,5 mm ($3/8$ pulg.) y N° 4 (4,75 mm) conforme a los requisitos de la especificación ASTM E11.
- i) Diferentes Herramientas: Diversas herramientas tal como mortero, cucharas, paleta, espátula, botellas de spray, etc. o un aparato mecánico apropiado para la mezcla de muestras de suelo con incrementos de agua. (American Society for Testing Materials, 2017)

As an option to the full length stud, a $2\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$ stud may be used. Then as an alternative construction, the collar may be held down with a slotted bracket attached to the collar and a pin in the mold.

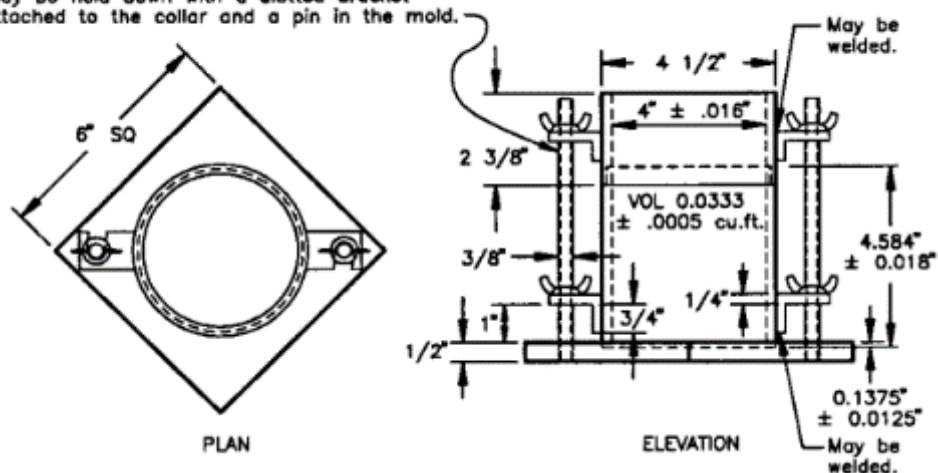


Ilustración 21, Cylindrical mold 4,0 - in

Fuente: ASTM D155, American Society for Testing Materials, (2017).

As an option to the full length stud, a $2\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$ stud may be used. Then as an alternative construction, the collar may be held down with a slotted bracket attached to the collar and a pin in the mold.

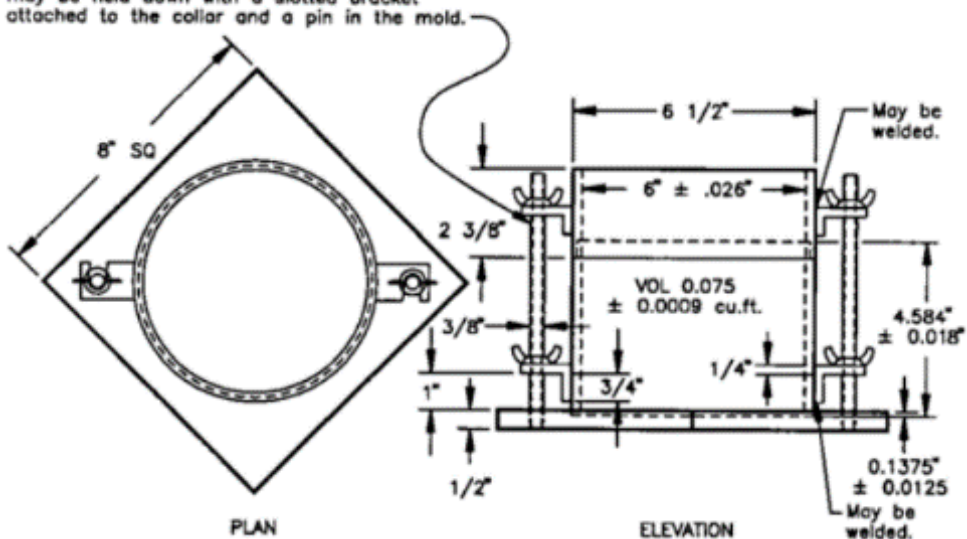


Ilustración 22, Cylindrical mold, 6-0 in.

Fuente: ASTM D1557, American Society for Testing Materials, (2017).

Tabla 26, SI Equivalents for ilustración 21 y 22..

in.	mm
0,016	0,41
0,026	0,66
0,032	0,81
0,028	0,71
1/2	12,70
2 1/2	63,50
2 5/8	66,70
4	101,60
4 1/2	114,30
4,584	116,43
4 3/4	120,60
6	152,4
6 1/2	165,10
6 5/8	168,30
6 3/4	171,40
8 1/4	208,60

ft ³	cm ³
1/30 (0,0333)	943
0,0005	14
1/13,333 (0,0750)	2 124
0,0011	31

Fuente: ASTM D1557, American Society for Testing Materials, (2017).

II. Selección de método

a) Procedimiento A:

- Molde de 101,6 mm (4 pulg.) de diámetro.
- Material que pasa la malla N° 4 (4,75 mm).
- Capas: Cinco.
- Golpes por capas: 25.
- Uso: Se utiliza, si la malla N° 4 (4,75-mm) retiene el 25 % o menos del peso del material.

b) Procedimiento B:

- Molde: diámetro de 101,6 mm (4 pulg.)
- Materiales: que pasan la malla 9,5 mm (3/8 pulg.)

- Capas: Cinco.
- Golpes por capas: 25.
- Uso: Se utiliza, si el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg.) retiene el 25 % o menos en peso del material.

c) Procedimiento C:

- Molde: 152,4 mm (6 pulg.) de diámetro.
- Material: que pasa el tamiz de 19,0 mm (¾ pulg.)
- Capas: Cinco.
- Golpes por capas: 56.
- Uso: Se deberá utilizar si el tamiz 19,0 mm (¾ pulg.) retiene menos del 30 % en peso del material. (American Society for Testing Materials, 2017)

III. Calibración

1. Método de llenado de agua:
 - a) Engrase ligeramente la parte inferior del molde de compactación y colóquelo en un plato de plástico o de vidrio. Engrase ligeramente la parte superior del molde.
 - b) Determine la masa del molde engrasado y de los platos de plástico y vidrio lo más cerca de 1 g (0,01 lbm) y regístrelo.
 - c) Coloque el molde y el plato inferior en una superficie nivelada, firme y llene el molde con agua ligeramente hasta sobre su borde.
 - d) Deslice el segundo plato sobre la parte superior de la superficie del molde de manera que el molde quede completamente lleno con agua, pero sin burbujas de aire. Añada o remueva agua si es necesario con una jeringa bombilla.

- e) Seque completamente cualquier exceso de agua de la parte exterior del molde y de los platos.
- f) Determine la masa del molde, platos y agua y regístrelo lo más cerca de 1 g (0,01 lbm).
- g) Determine la temperatura del agua en el molde lo más cerca de 1 °C y regístrelo. Determine y registre la densidad absoluta del agua de acuerdo a la tabla 15.
- h) Calcule la masa del agua en el molde mediante la sustracción de la masa determinada en el inciso f.
- i) Calcule el volumen del agua dividiendo la masa del agua por la densidad del agua y registrándola lo más cerca de 1 cm³ (0,0001 pie³). (American Society for Testing Materials, 2017)



Fotografía 26, Calibración de molde de compactación

Fuente: Elaboración propia

IV. Muestra de ensayo

- a) La masa de la muestra requerida para los procedimientos A y B es de aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el procedimiento C es aproximadamente de 29 kg (65 lbm) del suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener una masa húmeda mínima de 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.

V. Preparación del ensayo

- a) Seleccione un molde de compactación apropiado que se va a utilizar de acuerdo con el procedimiento (A, B, o C). Determine y registre su masa con aproximación a 1 g. Ensamble el molde, base y collar de extensión. Revise el alineamiento de la pared interior y del molde y del collar de extensión del molde. Haga ajustes si es necesario.
- b) Revise que el ensamblado del pisón trabaje en buenas condiciones y que sus partes no estén flojas o gastadas.

VI. Procedimiento

- a) No vuelva a utilizar suelo que ha sido previamente compactado en laboratorio.
- b) Utilice el método de preparación húmeda, cuando se ensaye con suelos que contienen hallosita hidratada, o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire.
- c) Método de Preparación Húmeda (preferible): Sin secado previo de la muestra, páselo a través del tamiz N° 4 (4,75-mm), 9,5 mm (3/8 pulg.), o 19,0 mm. (¾ pulg.), en base al procedimiento (A, B, C) que se va a utilizar. Determine el contenido de agua del suelo procesado.

- d) Prepare mínimo cuatro (preferible cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cerca al óptimo. Un espécimen que tiene un contenido de agua cerca al óptimo debe ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla. Seleccione contenidos de agua para el resto de los especímenes que resulten por lo menos en dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2 %. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario. Algunos suelos con un contenido de agua óptimo muy alto o una curva de compactación relativamente plana requerirán grandes incrementos de contenido de agua para obtener un peso unitario seco máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán exceder al 4
- e) Utilice aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) de suelo tamizado en cada espécimen que se compactará utilizando el procedimiento A o B, o 5,9 kg (13 lbm) cuando se utilice el procedimiento C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en el inciso d, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C (140 °F). Mezcle continuamente el suelo durante el secado para mantener la distribución del contenido de agua. Mezcle minuciosamente cada espécimen para asegurar también la

distribución del agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la Tabla 30 antes de la compactación. Para seleccionar un tiempo de espera, el suelo debe ser clasificado mediante el método la Práctica ASTM D 2488 o los datos de otras muestras del mismo material. Para ensayos de determinación, la clasificación deberá realizarse mediante el método de ensayo ASTM D 2487.

Tabla 27, Required standing times of moisturized specimens.

Classification	Minimum Standing Time, h
GW, GP, SW, SP	no requirement
GM, SM	3
All other soils	16

Fuente: ASTM D 1557, American Society for Testing Materials, (2017).

- f) Método de Preparación en Seco: Si la muestra está muy húmeda, reduzca el contenido mediante el secado al aire. El secado deberá ser al aire o utilizando un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60 °C (140 °F). Quiebre en muchas partes los agregados, pero sin quebrar las partículas individuales. Pase el material a través de un tamiz apropiado: N° 4 (4,75 mm), 9,5 mm (3/8 pulg.), o 19,0 mm (¾ pulg.).

Cuando prepare el material por el tamiz de ¾ pulg. para la compactación en un molde de 6 pulg, quiebre los agregados de modo que pasen por el tamiz de 3/8 de pulg para que facilite la distribución del agua por todo el suelo en una próxima mezcla.

- g) Prepare mínimo cuatro (preferible cinco especímenes).

- h) Utilice aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado para cada espécimen que será compactado con el procedimiento A o B, o 5,9 kg (13 lbm) utilizando el procedimiento C. Añada las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes tengan los valores descritos en el inciso d. Siga con el procedimiento de preparación del espécimen descrito en el inciso y para los suelos secos o añada agua en el suelo y cure cada muestra de ensayo.
- i) Compactación: Después de la curación, si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:
- Determine y registre la masa del molde o del molde y el plato base.
 - Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde debe descansar en un cimiento rígido y uniforme que tenga un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor a 91 kg (200 lbm). Asegure el plato base al cimiento rígido. El método de unión al cimiento rígido deberá permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después de que se concluya la compactación.
 - El suelo recortado debe incluirse con el suelo adicional para la siguiente capa. Se debe usar un cuchillo u otro aparato parecido. La cantidad total del suelo utilizado deberá ser tal que la quinta capa compactada se extienda ligeramente en el collar, pero que no exceda más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa sobrepasa la parte superior del molde más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ pulg), se debe desechar el espécimen. El espécimen debe ser

descartado cuando el último golpe del pisón de la quinta capa resulta en la parte inferior del pisón por debajo de la parte superior del molde de compactación.

- Compacte el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener casi el mismo grosor. Antes de la compactación, coloque el suelo desmenuzado en el molde y distribúyalo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisone el suelo antes de la compactación hasta que no esté esponjoso ni suelto, utilizando el pisón de compactación manual o un cilindro de 5 mm de diámetro (2 pulg). Prosiga con la compactación de cada una de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no ha sido compactado o extendido en la superficie compactada debe ser recortados.
- Compacte cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) o con 56 golpes para un molde de 152,4 mm (6 pulg).
- Al operar el pisón manual, tenga cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantenga la guía firme y a 5° de la vertical. Aplique los golpes un nivel uniforme de 25 golpes/minuto aproximadamente de modo que se asegure una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen. Cuando use un molde de 4 pulg y un pisón manual, siga el patrón como se muestra en la ilustración 23 y la ilustración 24. Cuando use un molde de 6 pulg y un pisón manual, siga el patrón como se muestra en la ilustración 25 hasta el noveno golpe, luego

sistemáticamente golpe alrededor del molde de acuerdo a la ilustración 24.

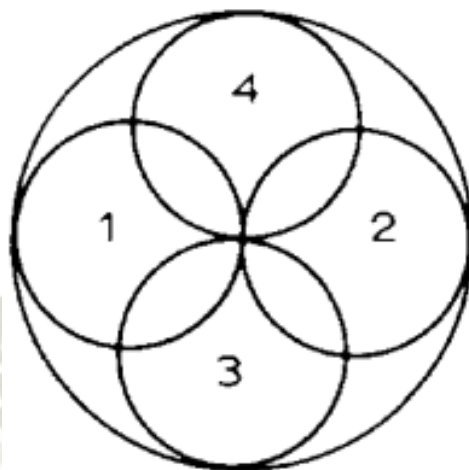


Ilustración 23, rammer pattern for compaction

Fuente: ASTM D 1557, American Society for Testing Materials, (2017).

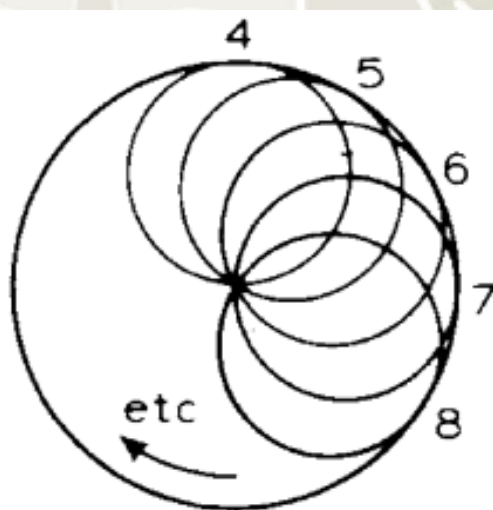


Ilustración 24, rammer pattern for compaction mold.

Fuente: ASTM D 1557, American Society for Testing Materials, (2017).

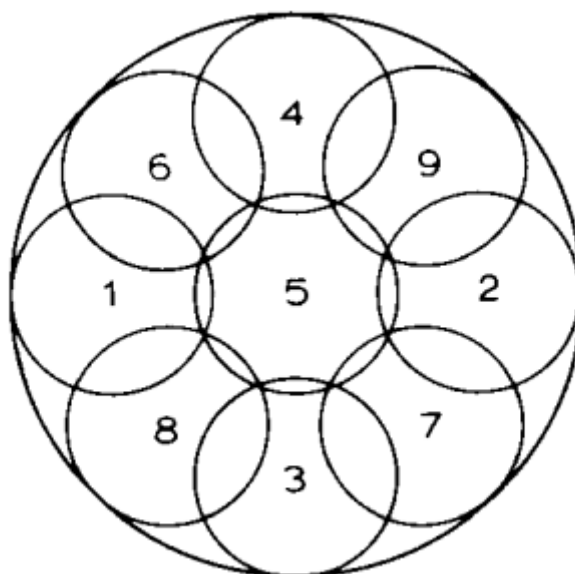


Ilustración 25, rammer for compaction in 6 in mold.

Fuente: ASTM D 1557, American Society for Testing Materials, (2017).

- Continúe con la compactación de la última capa, remueva el collar y el plato base del molde. Se debe utilizar un cuchillo para cortar el suelo adyacente del collar para soltar el suelo del collar antes de removerlo y evitar el desgarramiento del suelo bajo la parte superior del molde.
- Determine y registre la masa del espécimen con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base, determine y registre la masa del espécimen, molde y plato base con aproximación al gramo.
- Remueva el material del molde. Obtenga un espécimen para el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se prefiere este método) o una porción representativa.
- Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera, obtenga una porción dividiendo el espécimen compactado axialmente a través del centro y

removiendo 500 g. del material de los lados cortados. Obtenga el contenido de agua de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127. (American Society for Testing Materials, 2017)

VII. Cálculos

a) Peso unitario seco:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Ecuación 49, Densidad húmeda del espécimen

Donde:

ρ_m = Densidad húmeda del espécimen compactado, Mg/m³.

M_t = Masa del espécimen húmedo y molde, kg.

M_{md} = Masa del molda compactando, kg.

V = Volumen del molde de compactación, m³.

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Ecuación 50, Densidad seca del espécimen

Donde:

ρ_d = Densidad seca del espécimen compactado, Mg/m³.

W = Contenido de agua, %.

$$\gamma_d = 62,43 * \rho_d \text{ lbf/pie}^3$$

$$\gamma_d = 9,807 * \rho_d \text{ kN/m}^3$$

Donde:

γ_d = Peso unitario seco del espécimen compactado.

b) para calcular los puntos para el ploteo de la curva

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100$$

Ecuación 51, Contenido de agua para una saturación completa

Donde:

W_{sat} = Contenido de agua para una saturación completa (%).

γ_w = Peso unitario del agua 9,807 kN/m³ o (62,43 lbf/pie³)

γ_d = Peso unitario seco del suelo.

G_s = Gravedad específica del suelo. (American Society for Testing Materials, 2017)



Fotografía 27, Ensayo de compactación de suelo ASTM

Fuente: Elaboración propia

3.2.9. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena

3.2.9.1. Norma Técnica Peruana 339.143

I. Aparatos

- a) Aparato de densidad de cono de arena, el cual consiste en los siguiente:
 - Una jarra desarmable u otro contenedor de arena que tenga una capacidad de volumen que exceda el volumen requerido para llenar el orificio de prueba y el aparato durante la prueba.
 - Un dispositivo desmontable que consista de una válvula cilíndrica con un orificio de aproximadamente 1/2 pulg. (13 mm) de diámetro, unido a un embudo de metal, un contenedor de arena con terminación en punta y embudo largo de metal (cono de arena) en la otra terminación. La válvula deberá detenerse en intervalos de tiempo para prevenir las rotaciones completas. El dispositivo se construirá de un metal suficientemente rígido para prevenir la distorsión o el cambio del volumen en el cono. Las paredes del cono formaran un ángulo de aproximadamente 60° con la base, para permitir un llenado uniforme de la arena.
 - Un plato de base de metal o plantilla con un orificio central moldeado o maquinado para recibir un embudo largo (cono). El plato de base puede ser circular o cuadrado y será como mínimo 3 pulg. (75 mm) más largo que el embudo (cono de arena). El plato será plano en la parte central y será lo suficientemente grueso o tieso como para mantenerse rígido. Pueden utilizarse

platos con bordes en relieve, bordes salientes, ribetes u otros desniveles de aproximadamente 3/8 pulg. a 1/2 pulg. (10 a 13 mm).

- b) Balanzas: Deben cumplir con la especificación ASTM D4753, con 5,0 g o más de lectura, para determinar la masa de arena y los suelos excavados. Una balanza o escala que tenga una capacidad mínima de 20 kg y 5,0 g de lectura aceptable para determinar la masa de la arena y el suelo excavado.
- c) Equipo Misceláneo: Cuchillo, pico pequeño, cincel, paleta pequeña, desarmador, o cucharas para cavar los orificios de prueba, clavos o puas para asegurar el plato de base; cubetas con tapa, sacos de tela de plástico o lino, u otros contenedores aceptables para retener las muestras de densidad, la muestra húmeda y la arena calibrada respectivamente; una pequeña brocha de pintor, calculadora, cuaderno o formatos de ensayo, etc.
- d) Arena: La arena debe ser limpia, seca, uniforme en densidad y gradación, no cementada, durable y de caída libre. Puede utilizarse cualquier gradación que tenga un coeficiente de uniformidad ($C_u = D_{60}/D_{10}$) menor que 2.0, un tamaño máximo de partícula menor a 2.0 mm (malla N°10), y menos del 3 % en peso que pase el tamiz de 250 μ m (malla N°60). Se necesita arena uniformemente gradada para prevenir la segregación mientras se manipula, almacena y utiliza. Se requiere arena libre de finos y partículas de arena fina para prevenir cambios significativos de densidad con los cambios diarios normales a la unidad atmosférica. Para que la arena sea aceptable, la variación

de densidad-volumen entre cualquier determinación no debe ser mayor que el 1 % del promedio. Antes de utilizar la arena en determinaciones de densidad, ésta debe ser secada, y Juego permitirse alcanzar un estado de secado al aire en la ubicación general donde se utilizará. La arena no debe volver a utilizarse sin antes remover cualquier suelo contaminante, revisar la gradación, secar y volver a determinar la densidad y el volumen.

- e) Como regla general, no es recomendable la arena con segundo uso. (INDECOPI, 2019)

II. Calibración de la densidad de la arena

- a) Seleccione un contenedor de volumen conocido que sea aproximadamente de la misma medida y permita que la arena caiga aproximadamente la misma distancia que el orificio excavado durante la prueba de campo. Se recomienda utilizar los moldes de 1/30 pies 3 (944 cm³) y de 1/13,33 pies 3 (2124 cm³) que se especifican en el método de ensayo NTP 339.141, NTP 339.142 o el molde especificado en el método de ensayo NTP 339.137.
- b) Determine el volumen del contenedor hasta 1 % utilizando agua, según los procedimientos descritos en el método de ensayo NTP 339.137.
- c) Llene el aparato ensamblado con arena. La arena debe secarse y acondicionarse al mismo estado anterior durante el uso.
- d) Determine y anote la masa del contenedor de calibración cuando este vacío.

- e) Cuando el contenedor de calibración tenga el mismo diámetro que el orificio central rebordeado en el plato base, invierta y centre el aparato llenado de arena y el plato base en el contenedor de calibración.
- f) Abra la válvula completamente y deje que la arena llene el contenedor. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- g) Determine la masa del aparato y de la arena restante. Calcule la masa neta de la arena en el contenedor de calibración sustrayendo la masa de la arena contenida en el cono y en el plato base (tal como se determina en la calibración del aparato del cono de arena) y anótela.
- h) Calcule la densidad volumétrica de la arena de la siguiente manera:

$$\rho_1 = \frac{M_5}{V_1}$$

Ecuación 52, Densidad volumétrica de la arena

Donde:

ρ_1 = densidad volumétrica de la arena, g/cm³.

M_5 = masa de la arena para llenar el contenedor de calibración, en gramos.

V_1 = volumen del contenedor de calibración, cm³. (INDECOPI, 2019)



Fotografía 28, Calibración de la densidad de la arena NTP

Fuente: Elaboración propia

III. Calibración del aparato de cono arena

- a) Llene el aparato con la arena que esta seca y condicionada al mismo estado anterior, durante el uso en la prueba.
- b) Determine la masa del aparato llenado con arena, g.
- c) Coloque el plato base en una superficie plana, nivelada y limpia. Inserte el contenedor y coloque el embudo en el orificio central rebordeado en el plato base. Marque e identifique el aparato y el plato base de tal manera que ambos puedan identificarse y reubicarse en la misma posición durante la prueba.

- d) Abra completamente la válvula hasta que la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- e) Cierre bien la válvula, saque el aparato y determine la masa del aparato y la arena restante. Calcule la masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato base como la diferencia entre la masa inicial y final.
- f) Repita el procedimiento por lo menos tres veces. La variación máxima entre cualquiera de las determinaciones y el promedio no debe exceder el 1 %. Utilice el promedio de las tres determinaciones para este valor en los cálculos del ensayo. (INDECOPI, 2019)



Fotografía 29, Calibración del aparato de cono de arena NTP

Fuente: Elaboración propia

IV. Procedimiento

- a) Seleccione una ubicación/elevación que sea representativa del área que se va a probar y determinar la densidad del suelo in-situ.
- b) Inspeccione el cono por si hubiera algún daño, la rotación libre de la válvula y cerciórese de que el plato de base funcione apropiadamente. Llene el contenedor del cono con la arena condicionada para la cual ya se ha determinado la densidad y determine la masa total.
- c) Prepare la superficie del sitio que se va a ensayar de tal manera que sea un plano nivelado. El plato de base debe utilizarse como una herramienta para remover la superficie a un plano de nivel suave.
- d) Coloque el plato de base sobre la superficie plana, asegurándose de que existe contacto con la superficie del terreno alrededor del borde del orificio central. Marque el contorno del plato de base para revisar el movimiento durante la prueba y, si es necesario, asegure el plato contra el movimiento que se cause utilizando clavos insertados dentro del suelo adyacente al filo del plato, o, en otros términos, sin disturbar el suelo que se va a probar.
- e) En suelos donde la nivelación no es exitosa o la superficie presenta vacíos, el volumen que se expulsa horizontalmente y que está limitado por el embudo, el plato y la superficie del terreno debe determinarse mediante un ensayo preliminar. Llene el espacio con arena del aparato, determine la masa de la arena utilizada para llenar el espacio, rellene el aparato y determine una nueva masa inicial del mismo y de la arena antes de proceder con la prueba. Después de que se complete

esta medida, limpie cuidadosamente con una brocha la arena que queda sobre la superficie preparada.

- f) Cave el hoyo de prueba a través del orificio central en el plato de base, teniendo cuidado de evitar que se disturbe o se deforme el suelo que delimitara el orificio. Los volúmenes del orificio de prueba serán tan grandes como para que sean prácticos y minimicen los errores, y en ningún caso serán más pequeños que los volúmenes indicados en la tabla 1 para el tamaño máximo de la partícula del suelo removido del orificio de prueba. Los lados del orificio deben inclinarse levemente hacia adentro, y la parte central debe ser razonablemente plana o cóncava. El orificio debe mantenerse lo más libre posible de vacíos, salientes y obstrucciones fluidas ya que esto afectaría la exactitud de la prueba. Los suelos que son esencialmente granulares requieren extremo cuidado y también requieren que se cave un orificio de prueba de forma cónica. Coloque todo el suelo excavado y cualquier otro suelo que se haya soltado durante la excavación, en un contenedor hermético que este marcado para identificar el número de prueba. Tenga cuidado de evitar la pérdida de cualquier material. Proteja este material de cualquier pérdida de humedad hasta que se haya determinado la masa y se haya obtenido la muestra para la determinación del contenido de agua. (INDECOPI, 2019)

Tabla 28, Volúmenes mínimos del orificio de ensayo basados en el tamaño máximo de la partícula

Tamaño Máximo de la partícula		Volumen Mínimo del Orificio de Ensayo	
Pulgada	mm	cm ³	pies ³
1/2	12,5	1420	0,05
1	25,0	2120	0,075
2	50,0	2830	0,1

Fuente: NTP 339.143, Norma Técnica Peruana, (2019).

- g) Limpie el borde del orificio del plato base, voltee el aparato de cono de arena y coloque el embudo del mismo en un orificio redondeado en la misma posición que se marcó durante la calibración. Elimine o minimice en el área de prueba las vibraciones que pueda causar el personal que realiza la prueba o el equipo que se utiliza. Abra la válvula y deje que la arena llene el orificio, el embudo y el plato base. Trate de evitar que el aparato se sacuda o vibre mientras la arena está corriendo. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- h) Determine la masa del aparato con la arena restante, regístrela y calcule la masa de la arena utilizada.
- i) Determine y registre la masa del material húmedo que se extrajo del orificio de prueba. Cuando se requiera correcciones del material de mayor tamaño, determine la masa de este material en la malla apropiada y regístrela, teniendo cuidado de evitar pérdidas de humedad.
- j) Mezcle el material cuidadosamente y obtenga un espécimen representativo para determinar el contenido de humedad o, en todo caso, utilice una muestra completa.

k) Determine el contenido de humedad de acuerdo al Método de Ensayo NTP 339.127.

l) Los especímenes para el contenido de humedad deben ser lo suficientemente grandes y seleccionados de tal manera que representen todo el material obtenido del orificio de prueba.

La masa mínima de la muestra para determinar el contenido de agua es aquella que se requiere para dar valores del contenido de humedad exactos al 1%. (INDECOPI, 2019)

V. Cálculos

a) Calcule el volumen del orificio de prueba de la siguiente manera:

$$V = \frac{(M_1 - M_2)}{\rho_1}$$

Ecuación 53, Volumen de orificio de prueba

Donde:

V = volumen del orificio de prueba, cm^3 .

M_1 = masa de la arena utilizada para llenar el orificio de prueba, embudo y plato de base, en gramos.

M_2 = masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato de base, en gramos.

ρ_1 = densidad del volumen de la arena, g/cm^3 .

b) Calcule la masa seca del material extraído del orificio de prueba tal como sigue:

$$M_4 = 100 \times \frac{M_3}{(w + 100)}$$

Ecuación 54, Masa seca del material extraído

Donde:

w = contenido de humedad del material extraído del orificio de prueba, %.

M_3 = masa húmeda del material de hueco de ensayo, en gramos.

M_4 = masa seca del material del hueco de ensayo, en gramos.

c) Calcule la densidad húmeda y seca in-situ del material ensayado de la siguiente manera:

$$\rho_m = \frac{M_3}{V}$$

Ecuación 55, Densidad húmeda

$$\rho_d = \frac{M_4}{V}$$

Ecuación 56, Densidad seca

Donde:

V = Volumen del orificio de prueba, cm³.

M_3 = masa húmeda del material del orificio de prueba, en gramos.

M_4 = masa seca del material del orificio de prueba, en gramos.

ρ_m = densidad húmeda del material probado, o su peso unitario húmedo γ_m , en g/cm³.

ρ_d = densidad seca del material probado, o su peso unitario seco γ_d , en g/cm³.

(INDECOPI, 2019)



Fotografía 30, Ensayo de cono de arena NTP

Fuente: Elaboración propia

3.2.9.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E117

I. Aparatos

- a) Aparato de densidad de cono de arena, el cual consiste en los siguiente:

- Una jarra desarmable u otro contenedor de arena que tenga una capacidad de volumen que exceda el volumen requerido para llenar el orificio de prueba y el aparato durante la prueba.
 - Un dispositivo desmontable que consista de una válvula cilíndrica con un orificio de aproximadamente 1/2 pulg. (13 mm) de diámetro, unido a un embudo de metal, un contenedor de arena con terminación en punta y embudo largo de metal (cono de arena) en la otra terminación. La válvula deberá detenerse en intervalos de tiempo para prevenir las rotaciones completas. El dispositivo se construirá de un metal suficientemente rígido para prevenir la distorsión o el cambio del volumen en el cono. Las paredes del cono formaran un ángulo de aproximadamente 60° con la base, para permitir un llenado uniforme de la arena.
 - Un plato de base de metal o plantilla con un orificio central moldeado o maquinado para recibir un embudo largo (cono). El plato de base puede ser circular o cuadrado y será como mínimo 3 pulg. (75 mm) más largo que el embudo (cono de arena). El plato será plano en la parte central y será lo suficientemente grueso o tieso como para mantenerse rígido. Pueden utilizarse platos con bordes en relieve, bordes salientes, ribetes u otros desniveles de aproximadamente 3/8 pulg. a 1/2 pulg. (10 a 13 mm).
- b) Balanzas: Una balanza de capacidad mínima de 20 kg con una sensibilidad de 5,0 g de lectura es aceptable para determinar la masa

de la arena y el suelo excavado cuando se utiliza el aparato con las dimensiones mostrados en la ilustración 26.

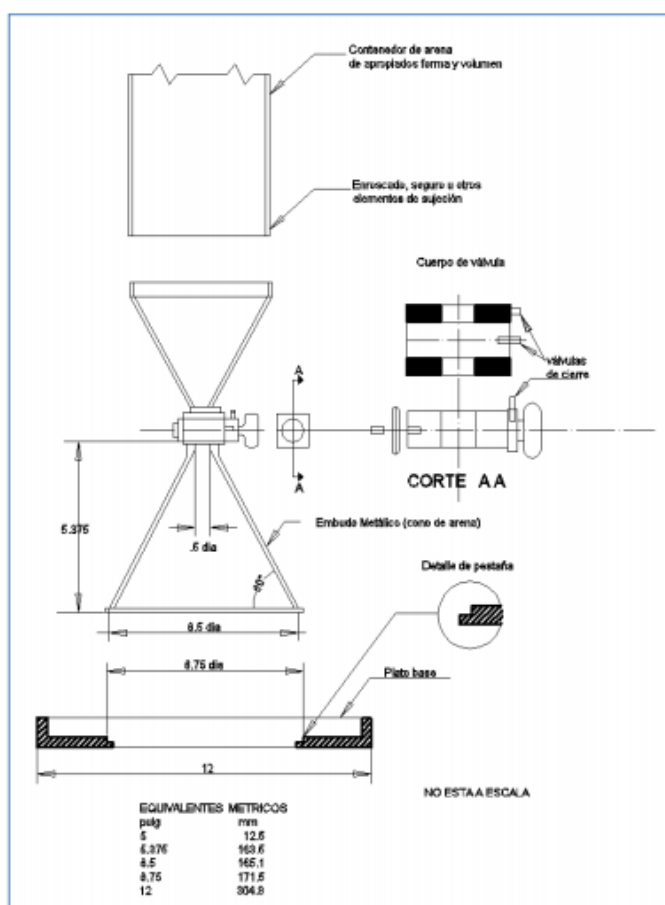


Ilustración 26, Aparato de densidad

Fuente: MTC E 117, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

- c) Equipo Misceláneo: Cuchillo, pico pequeño, cincel, paleta pequeña, desarmador, o cucharas para cavar los orificios de prueba, clavos o púas para asegurar el plato de base; cubetas con tapa, sacos de tela de plástico o lino, u otros contenedores aceptables para retener las muestras de densidad, la muestra húmeda y la arena calibrada respectivamente; una pequeña brocha de pintor, calculadora, cuaderno o formatos de ensayo, etc.

d) Arena: La arena debe ser limpia, seca, uniforme en densidad y gradación, no cementada, durable y de caída libre. Puede utilizarse cualquier gradación que tenga un coeficiente de uniformidad ($C_u = D_{60}/D_{10}$) menor que 2.0, un tamaño máximo de partícula menor a 2.0 mm (malla N°10), y menos del 3 % en peso que pase el tamiz de 250 μ m (malla N°60). Se necesita arena uniformemente gradada para prevenir la segregación mientras se manipula, almacena y utiliza. Se requiere arena libre de finos y partículas de arena fina para prevenir cambios significativos de densidad con los cambios diarios normales a la unidad atmosférica. Para que la arena sea aceptable, la variación de densidad-volumen entre cualquier determinación no debe ser mayor que el 1 % del promedio. Antes de utilizar la arena en determinaciones de densidad, ésta debe ser secada, y Juego permitirse alcanzar un estado de secado al aire en la ubicación general donde se utilizará. La arena no debe volver a utilizarse sin antes remover cualquier suelo contaminante, revisar la gradación, secar y volver a determinar la densidad y el volumen.

e) Como regla general, no es recomendable la arena con segundo uso. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

II. Calibración de la densidad de la arena

a) Seleccione un contenedor de volumen conocido que sea aproximadamente de la misma medida y permita que la arena caiga aproximadamente la misma distancia que el orificio excavado durante la prueba de campo. Se recomienda utilizar los moldes de 1/30 pies 3 (944 cm 3) y de 1/13,33 pies 3 (2124 cm3) que se especifican en el

método de ensayo MTC E 115 y MTC E 116 o el molde especificado en el método de ensayo NTP 339.137.

- b) Llene el aparato ensamblado con arena. La arena debe secarse y acondicionarse al mismo estado anterior durante el uso.
- c) Determine y anote la masa del contenedor de calibración cuando este vacío.
- d) Cuando el contenedor de calibración tenga el mismo diámetro que el orificio central rebordeado en el plato base, invierta y centre el aparato llenado de arena y el plato base en el contenedor de calibración.
- e) Abra la válvula completamente y deje que la arena llene el contenedor. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- f) Determine la masa del aparato y de la arena restante. Calcule la masa neta de la arena en el contenedor de calibración sustrayendo la masa de la arena contenida en el cono y en el plato base (tal como se determina en la calibración del aparato del cono de arena) y anótela.
- g) Calcule la densidad volumétrica de la arena de la siguiente manera:

$$\rho_1 = \frac{M_5}{V_1}$$

Ecuación 57, Densidad volumétrica

Donde:

ρ_1 = densidad volumétrica de la arena, g/cm³.

M_5 = masa de la arena para llenar el contenedor de calibración, en gramos.

V_1 = volumen del contenedor de calibración, cm³. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Fotografía 31, Calibración de la densidad de la arena MTC

Fuente: Elaboración propia

III. Calibración del aparato de cono arena

- a) Llene el aparato con la arena que esta seca y condicionada al mismo estado anterior, durante el uso en la prueba.
- b) Determine la masa del aparato llenado con arena, g.
- c) Coloque el plato base en una superficie plana, nivelada y limpia. Inserte el contenedor y coloque el embudo en el orificio central rebordeado en el plato base. Marque e identifique el aparato y el plato base de tal manera que ambos puedan identificarse y reubicarse en la misma posición durante la prueba.

- d) Abra completamente la válvula hasta que la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- e) Cierre bien la válvula, saque el aparato y determine la masa del aparato y la arena restante. Calcule la masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato base como la diferencia entre la masa inicial y final.
- f) Repita el procedimiento por lo menos tres veces. La variación máxima entre cualquiera de las determinaciones y el promedio no debe exceder el 1 %. Utilice el promedio de las tres determinaciones para este valor en los cálculos del ensayo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Fotografía 32, Calibración del aparato de cono de arena MTC

Fuente: Elaboración propia

IV. Procedimiento

- a) Seleccione una ubicación/elevación que sea representativa del área que se va a probar y determinar la densidad del suelo in-situ.
- b) Inspeccione el cono por si hubiera algún daño, la rotación libre de la válvula y cerciórese de que el plato de base funcione apropiadamente. Llene el contenedor del cono con la arena condicionada para la cual ya se ha determinado la densidad y determine la masa total.
- c) Prepare la superficie del sitio que se va a ensayar de tal manera que sea un plano nivelado. El plato de base debe utilizarse como una herramienta para remover la superficie a un plano de nivel suave.
- d) Coloque el plato de base sobre la superficie plana, asegurándose de que existe contacto con la superficie del terreno alrededor del borde del orificio central. Marque el contorno del plato de base para revisar el movimiento durante la prueba y, si es necesario, asegure el plato contra el movimiento que se cause utilizando clavos insertados dentro del suelo adyacente al filo del plato, o, en otros términos, sin disturbar el suelo que se va a probar.
- e) En suelos donde la nivelación no es exitosa o la superficie presenta vacíos, el volumen que se expulsa horizontalmente y que está limitado por el embudo, el plato y la superficie del terreno debe determinarse mediante un ensayo preliminar. Llene el espacio con arena del aparato, determine la masa de la arena utilizada para llenar el espacio, rellene el aparato y determine una nueva masa inicial del mismo y de la arena antes de proceder con la prueba. Después de que se complete

esta medida, limpie cuidadosamente con una brocha la arena que queda sobre la superficie preparada.

- f) Cave el hoyo de prueba a través del orificio central en el plato de base, teniendo cuidado de evitar que se disturbe o se deforme el suelo que delimitara el orificio. Los volúmenes del orificio de prueba serán tan grandes como para que sean prácticos y minimicen los errores, y en ningún caso serán más pequeños que los volúmenes indicados en la tabla 1 para el tamaño máximo de la partícula del suelo removido del orificio de prueba. Los lados del orificio deben inclinarse levemente hacia adentro, y la parte central debe ser razonablemente plana o cóncava. El orificio debe mantenerse lo más libre posible de vacíos, salientes y obstrucciones fluidas ya que esto afectaría la exactitud de la prueba. Los suelos que son esencialmente granulares requieren extremo cuidado y también requieren que se cave un orificio de prueba de forma cónica. Coloque todo el suelo excavado y cualquier otro suelo que se haya soltado durante la excavación, en un contenedor hermético que este marcado para identificar el número de prueba. Tenga cuidado de evitar la pérdida de cualquier material. Proteja este material de cualquier pérdida de humedad hasta que se haya determinado la masa y se haya obtenido la muestra para la determinación del contenido de agua.

Tabla 29, Volúmenes mínimos del orificio de ensayo basados en el tamaño máximo de la partícula

Tamaño Máximo de la partícula		Volumen Mínimo del Orificio de Ensayo	
Pulgada	mm	cm ³	pies ³
1/2	12,5	1420	0,05
1	25,0	2120	0,075
2	50,0	2830	0,1

Fuente: MTC E 117, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

- g) Limpie el borde del orificio del plato base, voltee el aparato de cono de arena y coloque el embudo del mismo en un orificio redondeado en la misma posición que se marcó durante la calibración. Elimine o minimice en el área de prueba las vibraciones que pueda causar el personal que realiza la prueba o el equipo que se utiliza. Abra la válvula y deje que la arena llene el orificio, el embudo y el plato base. Trate de evitar que el aparato se sacuda o vibre mientras la arena está corriendo. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- h) Determine la masa del aparato con la arena restante, regístrela y calcule la masa de la arena utilizada.
- i) Determine y registre la masa del material húmedo que se extrajo del orificio de prueba. Cuando se requiera correcciones del material de mayor tamaño, determine la masa de este material en la malla apropiada y regístrela, teniendo cuidado de evitar pérdidas de humedad.
- m) Mezcle el material cuidadosamente y obtenga un espécimen representativo para determinar el contenido de humedad o, en todo caso, utilice una muestra completa.

n) Determine el contenido de humedad de acuerdo al Método de Ensayo MTC E 108.

o) Los especímenes para el contenido de humedad deben ser lo suficientemente grandes y seleccionados de tal manera que representen todo el material obtenido del orificio de prueba.

La masa mínima de la muestra para determinar el contenido de agua es aquella que se requiere para dar valores del contenido de humedad exactos al 1%. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

V. Cálculos

a) Calcule el volumen del orificio de prueba de la siguiente manera:

$$V = \frac{(M_1 - M_2)}{\rho_1}$$

Ecuación 58, Volumen del orificio de prueba

Donde:

V = volumen del orificio de prueba, cm^3 .

M_1 = masa de la arena utilizada para llenar el orificio de prueba, embudo y plato de base, en gramos.

M_2 = masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato de base, en gramos.

ρ_1 = densidad del volumen de la arena, g/cm^3 .

b) Calcule la masa seca del material extraído del orificio de prueba tal como sigue:

$$M_4 = 100 \times \frac{M_3}{(w + 100)}$$

Ecuación 59, Contenido de humedad del material extraído

Donde:

w = contenido de humedad del material extraído del orificio de prueba, %.

M_3 = masa húmeda del material de hueco de ensayo, en gramos.

M_4 = masa seca del material del hueco de ensayo, en gramos.

c) Calcule la densidad húmeda y seca in-situ del material ensayado de la siguiente manera:

$$\rho_m = \frac{M_3}{V}$$

Ecuación 60, Densidad húmeda

$$\rho_d = \frac{M_4}{V}$$

Ecuación 61, Densidad seca

Donde:

V = Volumen del orificio de prueba, cm^3 .

M_3 = masa húmeda del material del orificio de prueba, en gramos.

M_4 = masa *seca* del material del orificio de prueba, en gramos.

ρ_m = *densidad* húmeda del material probado, o su peso unitario húmedo γ_m , en g/cm^3 .

ρ_d = densidad seca del material probado, o su peso unitario seco γ_d , en g/cm^3 . (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Fotografía 33, Ensayo de cono de arena MTC

Fuente: Elaboración propia

3.2.9.3. American Society for Testing Materials D1556

I. Aparatos

- a) Aparato de densidad de cono de arena, el cual consiste en los siguiente:
 - Una jarra desarmable u otro contenedor de arena que tenga una capacidad de volumen que exceda el volumen requerido para llenar el orificio de prueba y el aparato durante la prueba.
 - Un dispositivo desmontable que consista de una válvula cilíndrica con un orificio de aproximadamente 1/2 pulg. (13 mm) de diámetro, unido a un embudo de metal, un contenedor de arena

con terminación en punta y embudo largo de metal (cono de arena) en la otra terminación. La válvula deberá detenerse en intervalos de tiempo para prevenir las rotaciones completas. El dispositivo se construirá de un metal suficientemente rígido para prevenir la distorsión o el cambio del volumen en el cono. Las paredes del cono formaran un ángulo de aproximadamente 60° con la base, para permitir un llenado uniforme de la arena.

- Un plato de base de metal o plantilla con un orificio central moldeado o maquinado para recibir un embudo largo (cono). El plato de base puede ser circular o cuadrado y será como mínimo 3 pulg. (75 mm) más largo que el embudo (cono de arena). El plato será plano en la parte central y será lo suficientemente grueso o tieso como para mantenerse rígido. Pueden utilizarse platos con bordes en relieve, bordes salientes, ribetes u otros desniveles de aproximadamente $3/8$ pulg. a $1/2$ pulg. (10 a 13 mm).

- b) Balanzas: Una balanza de capacidad mínima de 20 kg con una sensibilidad de 5,0 g de lectura es aceptable para determinar la masa de la arena y el suelo excavado cuando se utiliza el aparato con las dimensiones mostrados en la ilustración 27.

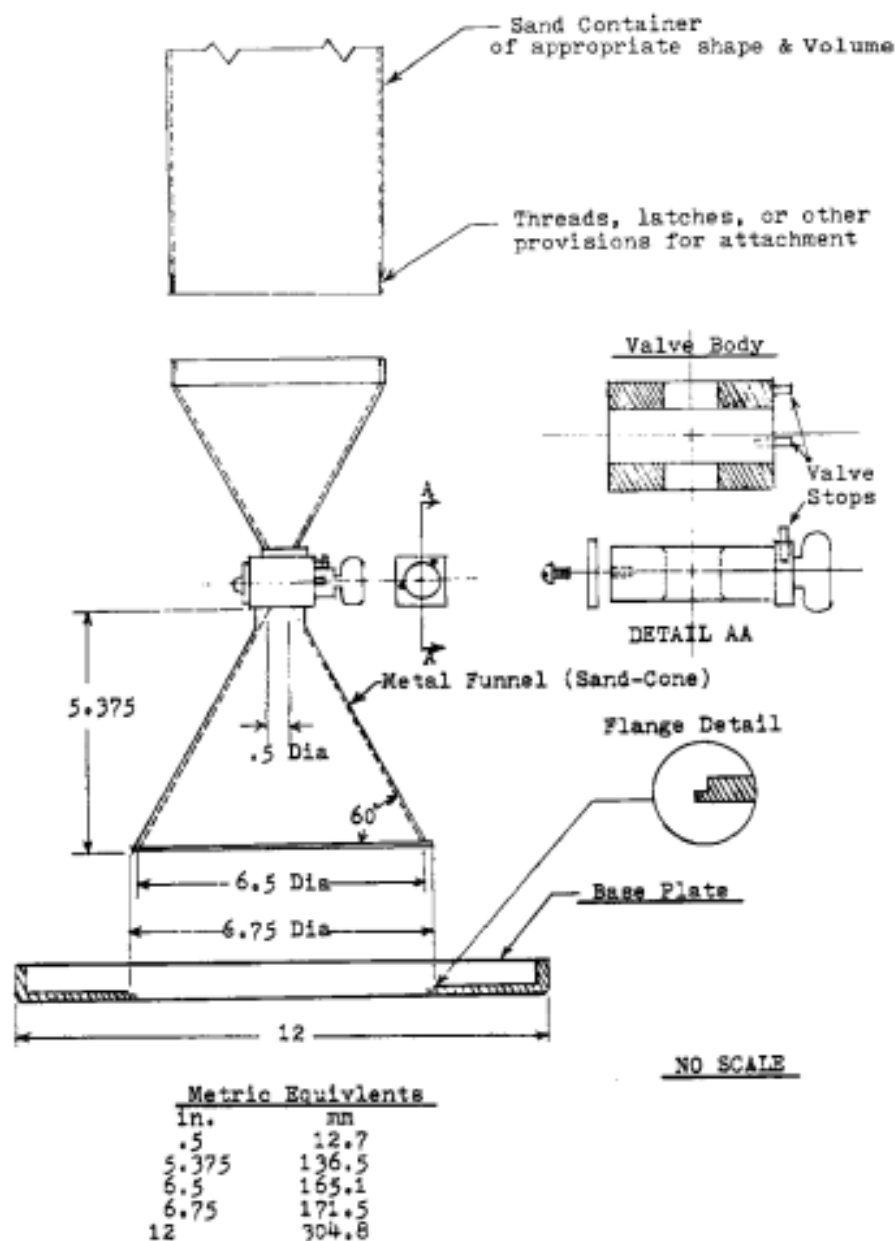


Ilustración 27, Density apparatus

Fuente: ASTM D1556, American Society for Testing Materials, (2015).

- c) Equipo Misceláneo: Cuchillo, pico pequeño, cincel, paleta pequeña, desarmador, o cucharas para cavar los orificios de prueba, clavos o púas para asegurar el plato de base; cubetas con tapa, sacos de tela de plástico o lino, u otros contenedores aceptables para retener las muestras de densidad, la muestra húmeda y la arena calibrada

respectivamente; una pequeña brocha de pintor, calculadora, cuaderno o formatos de ensayo, etc.

- d) Arena: La arena debe ser limpia, seca, uniforme en densidad y gradación, no cementada, durable y de caída libre. Puede utilizarse cualquier gradación que tenga un coeficiente de uniformidad ($C_u = D_{60}/D_{10}$) menor que 2.0, un tamaño máximo de partícula menor a 2.0 mm (malla N°10), y menos del 3 % en peso que pase el tamiz de 250 μ m (malla N°60). Se necesita arena uniformemente gradada para prevenir la segregación mientras se manipula, almacena y utiliza. Se requiere arena libre de finos y partículas de arena fina para prevenir cambios significativos de densidad con los cambios diarios normales a la unidad atmosférica. Para que la arena sea aceptable, la variación de densidad-volumen entre cualquier determinación no debe ser mayor que el 1 % del promedio. Antes de utilizar la arena en determinaciones de densidad, ésta debe ser secada, y Juego permitirse alcanzar un estado de secado al aire en la ubicación general donde se utilizará. La arena no debe volver a utilizarse sin antes remover cualquier suelo contaminante, revisar la gradación, secar y volver a determinar la densidad y el volumen.
- e) Como regla general, no es recomendable la arena con segundo uso. (American Society for Testing Materials, 2017)

II. Calibración de la densidad de la arena

- a) Seleccione un contenedor de volumen conocido que sea aproximadamente de la misma medida y permita que la arena caiga aproximadamente la misma distancia que el orificio excavado durante

la prueba de campo. Se recomienda utilizar los moldes de 1/30 pies 3 (944 cm³) y de 1/13,33 pies 3 (2124 cm³) que se especifican en el método de ensayo ASTM D698 o el molde especificado en el método de ensayo ASTM D4253.

- b) Llene el aparato ensamblado con arena. La arena debe secarse y acondicionarse al mismo estado anterior durante el uso.
- c) Determine y anote la masa del contenedor de calibración cuando este vacío.
- d) Cuando el contenedor de calibración tenga el mismo diámetro que el orificio central rebordeado en el plato base, invierta y centre el aparato llenado de arena y el plato base en el contenedor de calibración.
- e) Abra la válvula completamente y deje que la arena llene el contenedor. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- f) Determine la masa del aparato y de la arena restante. Calcule la masa neta de la arena en el contenedor de calibración sustrayendo la masa de la arena contenida en el cono y en el plato base (tal como se determina en la calibración del aparato del cono de arena) y anótela.
- g) Calcule la densidad volumétrica de la arena de la siguiente manera:

$$\rho_1 = \frac{M_5}{V_1}$$

Ecuación 62, Densidad volumétrica

Donde:

ρ_1 = densidad volumétrica de la arena, g/cm³.

M_5 = masa de la arena para llenar el contenedor de calibración, en gramos. (American Society for Testing Materials, 2017)

V_1 = volumen del contenedor de calibración, cm^3 .



Fotografía 34, Calibración de la densidad de la arena ASTM

Fuente: Elaboración propia

III. Calibración del aparato de cono arena

- a) Llene el aparato con la arena que esta seca y condicionada al mismo estado anterior, durante el uso en la prueba.
- b) Determine la masa del aparato llenado con arena, g.
- c) Coloque el plato base en una superficie plana, nivelada y limpia. Inserte el contenedor y coloque el embudo en el orificio central rebordeado en el plato base. Marque e identifique el aparato y el plato base de tal manera que ambos puedan identificarse y reubicarse en la misma posición durante la prueba.

- d) Abra completamente la válvula hasta que la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- e) Cierre bien la válvula, saque el aparato y determine la masa del aparato y la arena restante. Calcule la masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato base como la diferencia entre la masa inicial y final.
- f) Repita el procedimiento por lo menos tres veces. La variación máxima entre cualquiera de las determinaciones y el promedio no debe exceder el 1 %. Utilice el promedio de las tres determinaciones para este valor en los cálculos del ensayo. (American Society for Testing Materials, 2017)



Fotografía 35, Calibración del aparato de cono de arena ASTM

Fuente: Elaboración propia

IV. Procedimiento

- a) Seleccione una ubicación/elevación que sea representativa del área que se va a probar y determinar la densidad del suelo in-situ.
- b) Inspeccione el cono por si hubiera algún daño, la rotación libre de la válvula y cerciórese de que el plato de base funcione apropiadamente. Llene el contenedor del cono con la arena condicionada para la cual ya se ha determinado la densidad y determine la masa total.
- c) Prepare la superficie del sitio que se va a ensayar de tal manera que sea un plano nivelado. El plato de base debe utilizarse como una herramienta para remover la superficie a un plano de nivel suave.
- d) Coloque el plato de base sobre la superficie plana, asegurándose de que existe contacto con la superficie del terreno alrededor del borde del orificio central. Marque el contorno del plato de base para revisar el movimiento durante la prueba y, si es necesario, asegure el plato contra el movimiento que se cause utilizando clavos insertados dentro del suelo adyacente al filo del plato, o, en otros términos, sin disturbar el suelo que se va a probar.
- e) En suelos donde la nivelación no es exitosa o la superficie presenta vacíos, el volumen que se expulsa horizontalmente y que está limitado por el embudo, el plato y la superficie del terreno debe determinarse mediante un ensayo preliminar. Llene el espacio con arena del aparato, determine la masa de la arena utilizada para llenar el espacio, rellene el aparato y determine una nueva masa inicial del mismo y de la arena antes de proceder con la prueba. Después de que se complete esta medida, limpie cuidadosamente con una brocha la arena que queda sobre la superficie preparada.

- f) Cave el hoyo de prueba a través del orificio central en el plato de base, teniendo cuidado de evitar que se disturbe o se deforme el suelo que delimitara el orificio. Los volúmenes del orificio de prueba serán tan grandes como para que sean prácticos y minimicen los errores, y en ningún caso serán más pequeños que los volúmenes indicados en la tabla 1 para el tamaño máximo de la partícula del suelo removido del orificio de prueba. Los lados del orificio deben inclinarse levemente hacia adentro, y la parte central debe ser razonablemente plana o cóncava. El orificio debe mantenerse lo más libre posible de vacíos, salientes y obstrucciones fluidas ya que esto afectaría la exactitud de la prueba. Los suelos que son esencialmente granulares requieren extremo cuidado y también requieren que se cave un orificio de prueba de forma cónica. Coloque todo el suelo excavado y cualquier otro suelo que se haya soltado durante la excavación, en un contenedor hermético que este marcado para identificar el número de prueba. Tenga cuidado de evitar la pérdida de cualquier material. Proteja este material de cualquier pérdida de humedad hasta que se haya determinado la masa y se haya obtenido la muestra para la determinación del contenido de agua.

Tabla 30, Minimum test hole volumes based on maximum size of included particle

Maximum Particle Size		Minimum Test Hole Volumes	
in.	(mm)	cm ³	ft ³
1/2	(12.7)	1415	0.05
1	(25.4)	2125	0.075
1 1/2	(38)	2830	0.1

Fuente: ASTM D1556 American Society for Testing Materials, (2015).

- g) Limpie el borde del orificio del plato base, voltee el aparato de cono de arena y coloque el embudo del mismo en un orificio redondeado en la misma posición que se marcó durante la calibración. Elimine o minimice en el área de prueba las vibraciones que pueda causar el personal que realiza la prueba o el equipo que se utiliza. Abra la válvula y deje que la arena llene el orificio, el embudo y el plato base. Trate de evitar que el aparato se sacuda o vibre mientras la arena está corriendo. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- h) Determine la masa del aparato con la arena restante, regístrela y calcule la masa de la arena utilizada.
- i) Determine y registre la masa del material húmedo que se extrajo del orificio de prueba. Cuando se requiera correcciones del material de mayor tamaño, determine la masa de este material en la malla apropiada y regístrela, teniendo cuidado de evitar pérdidas de humedad.
- p) Mezcle el material cuidadosamente y obtenga un espécimen representativo para determinar el contenido de humedad o, en todo caso, utilice una muestra completa.
- q) Determine el contenido de humedad de acuerdo al Método de Ensayo ASTM D 2216, D 4643, D 4944 o D 4959.
- r) Los especímenes para el contenido de humedad deben ser lo suficientemente grandes y seleccionados de tal manera que representen todo el material obtenido del orificio de prueba.
- La masa mínima de la muestra para determinar el contenido de agua es aquella que se requiere para dar valores del contenido de humedad

exactos al 1%. (American Society for Testing Materials, 2017)

V. Cálculos

a) Calcule el volumen del orificio de prueba de la siguiente manera:

$$V = \frac{(M_1 - M_2)}{\rho_1}$$

Ecuación 63, Volumen del orificio de prueba

Donde:

V = volumen del orificio de prueba, cm^3 .

M_1 = masa de la arena utilizada para llenar el orificio de prueba, embudo y plato de base, en gramos.

M_2 = masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato de base, en gramos.

ρ_1 = densidad del volumen de la arena, g/cm^3 .

b) Calcule la masa seca del material extraído del orificio de prueba tal como sigue:

$$M_4 = 100 \times \frac{M_3}{(w + 100)}$$

Ecuación 64, Calcule la masa seca del material

Donde:

w = contenido de humedad del material extraído del orificio de prueba, %.

M_3 = masa húmeda del material de hueco de ensayo, en gramos.

M_4 = masa seca del material del hueco de ensayo, en gramos.

- c) Calcule la densidad húmeda y seca in-situ del material ensayado de la siguiente manera:

$$\rho_m = \frac{M_3}{V}$$

Ecuación 65, Densidad húmeda

$$\rho_d = \frac{M_4}{V}$$

Ecuación 66, Densidad Seca

Donde:

V = Volumen del orificio de prueba, cm^3 .

M_3 = masa húmeda del material del orificio de prueba, en gramos.

M_4 = masa seca del material del orificio de prueba, en gramos.

ρ_m = densidad húmeda del material probado, o su peso unitario húmedo γ_m , en g/cm^3 .

ρ_d = densidad seca del material probado, o su peso unitario seco γ_d , en g/cm^3 . (American Society for Testing Materials, 2017)



Fotografía 36, Ensayo de cono de arena ASTM

Fuente: Elaboración propia

3.2.10. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

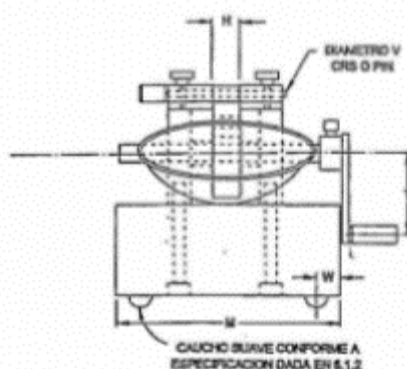
3.2.10.1. Norma Técnica Peruana 339.129

I. Aparatos

- a) Dispositivo de límite líquido: es un dispositivo mecánico consistente de una copa de bronce suspendida de un soporte diseñado para controlar su caída sobre una base de caucho duro. La ilustración 28

muestra los rasgos esenciales y las dimensiones críticas del dispositivo. El dispositivo puede ser operado tanto manualmente como con un motor eléctrico.

LETRA	A ^Δ	B ^Δ	C ^Δ	E ^Δ	F	G	H	J ^Δ	K ^Δ	L ^Δ	M ^Δ
MM	54 ± 0.5	2 ± 0.1	27 ± 0.5	56 ± 2.0	32	10	16	60 ± 1.0	50 ± 2.0	150 ± 2.0	125 ± 2.0
LETRA	N	P	R	T	U ^Δ	V	W	Z			
MM	24	28	24	45	47 ± 1.0	3.8	1.3	6.5			



ANGULO DE LEVA GRADOS	RADIO DE LEVA
0	0.742 R
30	0.743 R
60	0.764 R
90	0.773 R
120	0.784 R
150	0.796 R
180	0.818 R
210	0.854 R
240	0.901 R
270	0.945 R
300	0.974 R
330	0.995 R
360	1.000 R

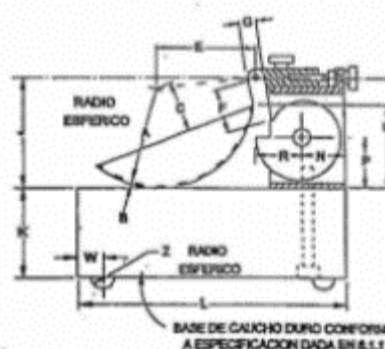


Ilustración 28, Dispositivo manual para límite líquido

Fuente: NTP 339.129, Norma Técnica Peruana, (2019).

- b) Acanalador, herramienta hecha de plástico o metal no corrosible que tenga las dimensiones mostradas en la Ilustración 29.

- c) Contenedores, resistentes a la corrosión para especímenes de contenido de humedad. Son apropiados recipientes de aluminio de 2.5 cm de alto por 5 cm de diámetro.

LETRA	A ^Δ	B ^Δ	C ^Δ	D ^Δ	E ^Δ	F ^Δ
MM	2 ± 0.1	11 ± 0.2	40 ± 0.5	8 ± 0.1	50 ± 0.5	2 ± 0.1
LETRA	G	H	J	K ^Δ	L ^Δ	N
MM	10 MINIMO	13	60	10 ± 0.05	60 DEG ± 1 DEG	20

^Δ DIMENSIONES ESENCIALES

^Δ AL DORSO POR LO MENOS A 15 MM DE LA PUNTA

NOTA: La dimensión A debe estar de 1,9 – 2,0 y la dimensión D debería ser 8,0 – 8,1 cuando este nueva para permitir un servicio adecuado

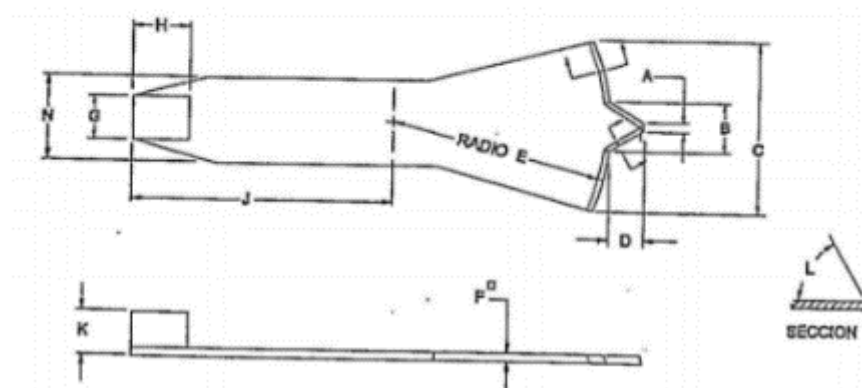


Ilustración 29, Acanalador (Calibre opcional para altura de caída)

Fuente: NTP 339.129, Norma Técnica Peruana, (2019).

- d) Balanza, con una aproximación de 0.01 g.
- e) Contenedor para almacenaje, para almacenar el espécimen de suelo preparado, y para prevenir la pérdida de humedad. Es adecuado un plato de porcelana, vidrio o plástico de 11.4 cm de diámetro y una bolsa plástica lo suficientemente grande para envolver el plato y ser doblada.
- f) Placa de vidrio pulido, una placa de vidrio pulido cuadrada de 30 cm de lado, 1 cm de espesor para enrollar los hilos de límite plástico.

- g) Espátula con hoja flexible y dimensiones aproximadas de 2 cm de ancho y de 10 cm a 13 cm de longitud.
- h) Tamiz N° 40.
- i) Frasco de lavado, o contenedor similar para añadir cantidades controladas de agua al suelo y lavar los finos de las partículas gruesas.
- j) Horno de secado, termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- k) Recipiente de lavado, circular, de base plana, de por lo menos 7.6 cm de profundidad, y un diámetro ligeramente mayor en la base que un tamiz de 20.3 cm.
- l) Agua destilada. (INDECOPI, 2019)

II. Calibración del aparato

- a) Desgaste de la base: la huella sobre la base donde hace contacto la copa debería tener no más de 10 mm (3/8 pulg) de diámetro. Si la huella es mayor, la base puede ser pulida para remover la huella del uso.
- b) Desgaste de la copa: Reemplazar la copa cuando el ranurador ha originado en la copa una depresión de 0,1 mm de profundidad o cuando la copa se haya reducido a la mitad de su espesor original.
- c) Desgaste del sujetador de la Copa: Verificar que el pivote del sujetador de la copa no se trabe y que no se haya desgastado en una extensión tal que permita un movimiento de lado a lado de más de 3 mm desde el punto más bajo de la copa.

- d) Desgaste de la leva: La leva no se desgastará en una extensión tal que la copa caiga antes que el sujetador de la copa (manubrio de leva) pierda contacto con la leva.
- e) Herramientas de ranuración: Se inspeccionarán con cierta frecuencia las herramientas de ranuración. La rapidez del desgaste depende del material del cual está hecha la herramienta y los tipos de suelo ensayados.
- f) Ajuste de la altura de caída: ajustar la altura de caída de la copa tal que la punta de la copa en contacto con la base de eleve a una altura de $10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. (INDECOPI, 2019)



Fotografía 37, Calibración del aparato de límite líquido.

Fuente: Elaboración propia.

III. Preparación de especímenes de ensayo

1. Preparación húmeda de muestras que contienen material retenido en el tamiz 0,425 mm (N°40):
 - a) Seleccionar una cantidad suficiente de suelo a un contenido de humedad natural para obtener 150 g a 200 g de material que pase el tamiz N°40. Colocarlo en un recipiente o plato y añadir suficiente agua para cubrir el suelo. dejarlo sumergido hasta que todos los grumos se hayan suavizado y los finos no se adhieran a las superficies de las partículas gruesas.
 - b) Cuando la muestra contiene un elevado porcentaje de material retenido en el tamiz N°40, realizar la siguiente operación de lavado por incrementos, lavando no más de 0.5 kg de material a la vez. Colocar el tamiz N°40 en la base del recipiente limpio. Vaciar la mezcla suelo-agua en el tamiz. Si existen partículas de grava o arena gruesa, enjuagarlas tanto como sea posible, con pequeñas cantidades de agua usando un frasco de lavado y descártalas. Alternativamente, vaciar la mezcla suelo-agua en un tamiz de 2 mm (N°10) colocado sobre un tamiz N°40, enjuagar el material fino y remover el tamiz N°10.
 - c) Después de lavar y remover tanto material grueso como sea posible, añadir suficiente agua al recipiente para elevar el nivel 13 mm por encima de la superficie del tamiz N°40. Agitar la mezcla revolviéndola con los dedos mientras se eleva y desciende el tamiz en el recipiente permitiendo que el material fino sea lavado de las partículas más gruesas. Disgregar los terrones de suelo fino que no

se hayan desintegrado frotándolos suavemente sobre el tamiz con la yema de los dedos. Completar la operación de lavado elevando el tamiz sobre la superficie de agua y enjuagando el material retenido con una pequeña cantidad de agua limpia. Descartar el material retenido en el tamiz de N°40.

- d) Reducir el contenido de agua del material que pasa el tamiz N°40 hasta que se aproxime al límite líquido. La reducción del contenido de agua puede ser dada por exposición a corrientes de aire a temperatura ambiente. Durante la evaporación y el enfriamiento, se agitará la muestra lo suficientemente frecuente para evitar el sobre secado de los bordes y pináculo de suelo sobre la superficie de la mezcla.
- e) Mezclar totalmente el material que pasa el tamiz N° 40 sobre la placa de vidrio usando la espátula. Ajustar el contenido de agua de la mezcla, si es necesario, añadiendo pequeños incrementos de agua destilada permitiendo que la mezcla se seque a temperatura ambiente mientras se mezcla sobre la placa de vidrio. El suelo debería estar a un contenido de agua que resulte en el cierre de la ranura de 25 a 35 golpes. Colocar el suelo mezclado en el plato de mezclado, cubrirlo para prevenir la pérdida de humedad, y permitirlo reposar por 16 horas. Luego del período de reposo e inmediatamente antes de iniciar el ensayo, remezcla totalmente el suelo. (INDECOPI, 2019)

2. Preparación Seca:

- a) Seleccionar suficiente suelo para obtener de 150 g a 200 g de material que pase el tamiz N° 40 después de procesado. Secar la muestra a temperatura ambiente o en un horno a una temperatura que

no exceda 60 °C hasta que los terrones de suelo se pulvericen con facilidad.

- b) Pulverizar la muestra en un mortero con un mazo con punta de caucho o en alguna otra forma que no cause la ruptura de los graos individuales. Cuando encontremos partículas gruesas durante la pulverización, removerlas manualmente o por otro medio, como el lavado.
- c) Separar la muestra por el tamiz N° 40, agitando el tamiz con la mano para asegurar toda la separación de la fracción más fina. Regresar el material retenido en el tamiz N° 40 al aparato de pulverización y repetir las operaciones de pulverización y tamizado las veces que sean necesarias para asegurar que todo el material fino ha sido disgregado.
- d) Colocar el material remanente en el tamiz N° 40, luego de las operaciones de pulverización final en un plato y sumergir en una pequeña cantidad de agua. Agitar la mezcla suelo agua y vaciar sobre un tamiz N°40, recibiendo el agua y los finos suspendidos en un recipiente de lavado. Vaciar esta suspensión en un plato que contenga el suelo seco tamizado previamente por el tamiz N° 40. Descartar el material retenido en el tamiz
- e) Reducir el contenido de agua del material que pasa el tamiz N° 40 hasta que se aproxime al límite líquido. La reducción del contenido de agua puede estar acompañada por una exposición a corrientes de aire a temperaturas ambiente. Durante la evaporación y el enfriamiento, se agitará la muestra lo suficientemente frecuente para

evitar el sobre secado de los bordes y pináculo de suelo sobre la superficie de la mezcla.

- f) Mezclar totalmente el material que pasa el tamiz N° 40 sobre a placa de vidrio usando la espátula. Ajustar el contenido de agua de la mezcla, si es necesario, añadiendo pequeños incrementos de agua destilada permitiendo que la mezcla se seque a temperatura ambiente mientras se mezcla sobre la placa de vidrio. El suelo debería estar a un contenido de agua que resulte en el cierre de la ranura de 25 a 35 golpes. Colocar el suelo mezclado, cubrirlo para prevenir la pérdida de humedad, y permitirlo reposar por 16 horas. Luego del periodo de reposo e inmediatamente antes de iniciar el ensayo, re mezclar totalmente el suelo. (INDECOPI, 2019)

IV. Procedimiento para determinar el límite líquido

- a) Colocar una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de limite liquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal. Verificar que no se dejen burbujas de aire atrapadas en la pasta de suelo, formando la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible. No olvidar mantener el suelo no usado cubierto con un paño húmedo para retener la humedad de la muestra.
- b) Utilizando el acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando

se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la herramienta perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento. En los suelos en los que no se puede hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, cortar la ranura con varias pasadas del acanalador.

- c) Verificar que no existen restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm. Se recomienda utilizar una regla graduada para verificar que la ranura se cerró 13 mm.
- d) Verificar que no se haya producido un cierre adelantado de la ranura debido a burbujas de aire, observando que ambos lados de la ranura se hayan desplazado en conjunto aproximadamente con la misma forma. Si una burbuja hubiera causado el cierre prematuro de la ranura, formar nuevamente el suelo en la copa, añadiendo una pequeña cantidad de suelo para compensar la pérdida en la operación de rasuración y repetir los procedimientos (a, b y c). Si el suelo se desliza sobre la superficie de la copa, repetir los procedimientos (a, b y c) a un contenido de humedad más elevado. Si luego de varias pruebas a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registrará que el límite líquido no pudo determinarse, y se reportará al suelo como no plástico sin realizar el ensayo de límite plástico.

- e) Registrar el número de golpes, N , necesarios para cerrar la ranura.
Tomar una tajada de suelo aproximadamente el ancho de la espátula, extendiéndola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos rectos a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo se deslizo en conjuntos, colocarlo en un recipiente de peso conocido, y cubrirlo.
- f) Regresar el suelo sobrante de la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador y fijar la copa nuevamente a su soporte cómo preparación para la siguiente prueba.
- g) Mezclar nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir el ensayo para al menos dos pruebas adicionales produciendo números de golpes sucesivamente más bajos para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se realizará para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.
- h) Determinar el contenido de humedad, del espécimen de suelo de cada prueba. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo. Si el ensayo se interrumpe por más de 15 minutos, el espécimen ya obtenido debe pesarse en el momento de la interrupción. (INDECOPI, 2019)

V. Cálculos para determinar el límite líquido

- a) Representar la relación entre el contenido de humedad, W y el número de golpes correspondientes, N , de la copa sobre un gráfico

semilogarítmico con el contenido de humedad como ordena sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres o más puntos graficados.

- b) Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido. (INDECOPI, 2019)

VI. Procedimiento para determinar el límite plástico

- a) Seleccionar una porción de 20 g de suelo del material preparado para el ensayo de límite líquido, del suelo restante al terminar el ensayo. Reducir el contenido de humedad del suelo a una consistencia a la cual pueda enrollarse sin que se pegue a las manos esparciéndolo o mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio o en el plato de mezclado. El proceso de secado puede acelerarse exponiendo el suelo a la corriente de aire de un ventilador eléctrico, o secándolo con papel que no añada fibras al suelo, como papel de filtro de alta resistencia al humedecimiento.
- b) De la masa de 20 g, tomar una porción de 1.5 a 2.0 g. Formar una masa elipsoidal con el espécimen de ensayo. Enrollar la masa entre la palma o los dedos y la placa de vidrio con la presión necesaria para enrollar la masa en un hilo de diámetro uniforme en toda su longitud. El hilo debe ser deformado en cada movimiento hasta que su diámetro sea de 3.2 mm, en no más de 2 minutos. La magnitud de la presión de

la mano o de los dedos necesarios variará grandemente, de acuerdo al suelo. Los suelos frágiles de baja plasticidad se enrollan mejor bajo el borde exterior de la palma o en la base del pulgar. La velocidad normal de enrollado para la mayoría de suelos debe estar entre 80 y 90 pasadas por minuto, contando una pasada como un movimiento completo de la mano hacia adelante y de regreso a la posición inicial.

- c) Cuando el diámetro del hilo alcanza 3.2 mm, romper el hilo en varios pedazos. Se reúnen los pedazos en una sola porción y se moldean los pedazos entre los dedos pulgares y demás dedos de ambas manos, en una masa uniforme elipsoidal y se le enrolla nuevamente. Se continúa este enrollado alternando cuantas veces sea necesario, hasta que el suelo se desmenuce o presente signos de fisuras cuando es llevado a hilos de 3.2 mm de diámetro. No tiene importancia si el hilo se rompe en hilos de longitud más corta. Cada uno de los hilos más cortos deberán enrollarse hasta llegar a 3.2 mm de diámetro. El único requisito para continuar el ensayo es que sea posible llevarlos nuevamente a la forma de una masa elipsoidal y enrollarlos otra vez. El manipulador no debe intentar que la falla se produzca exactamente al llegar a 3.2 mm, permitiendo que el hilo alcance 3.2 mm, reduciendo la velocidad de enrollado, o la presión de la mano, o ambos, mientras se continúa el enrollado sin mayor deformación hasta que el hilo se separe. Se permite, sin embargo, reducir la cantidad total de deformación en suelos plásticos débiles haciendo que el diámetro inicial de la masa elipsoidal sea cercano al diámetro final de 3.2 mm. Si el agrietamiento se presenta cuando el hilo tiene un diámetro mayor

a 3.2 mm, este debe considerarse como un punto final satisfactorio, dado que el suelo fue enrollado previamente a 3.2 mm de diámetro. El agrietamiento del hilo se manifiesta de diferentes formas en los diversos tipos de suelos. Algunos suelos se separan en numerosos pequeños conjuntos de partículas, otros pueden formar una capa tubular exterior que comience a dividirse en ambos extremos. La separación comienza hacia la mitad, y finalmente, el hilo se separa en varias partículas laminadas. Los suelos arcillosos grasos requieren mucha presión para deformar el hilo, particularmente cuando se acercan al límite plástico. Con estos suelos, el hilo se separa en una serie de segmentos en forma de barril en una longitud de 3.2 mm a 9.5 mm.

- d) Juntar los pedazos del hilo agrietado y colocarlos en un recipiente de peso conocido. Cubrir inmediatamente el recipiente.
- e) Repetir el ensayo hasta que en el recipiente de peso conocido se tenga no menos de 6 g de muestra.
- f) Repetir los pasos (a, b, c, d y e) para tener otro recipiente de no menos de 6g de suelo. Determinar el contenido de humedad de suelo contenido en los recipientes. (INDECOPI, 2019)

VII. Cálculos para determinar el límite plástico

- a) Calcular el promedio de dos contenidos de humedad. Repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para dos resultados listados en la Tabla 31 para la precisión de un operador. El límite plástico es el promedio de los dos contenidos de humedad. (INDECOPI, 2019)

Tabla 31, Estimados de precisión.

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
Precisión de un operador simple:		
Limite líquido	0,8	2,4
Limite plástico	0,9	2,6
Precisión Multilaboratorio:		
Limite líquido	3,5	9,9
Limite plástico	3,7	10,6

Fuente: NTP 339.129, Norma Técnica Peruana ,(2019).

VIII. Cálculos para determinar el Índice Plástico

a) Se calcula el índice de plasticidad de la siguiente forma:

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 67, Índice Plástico

Donde:

IP = índice de plasticidad

LL = limite liquido

LP = limite plástico

Tanto el límite líquido como el límite plástico son números enteros.

Si no puede determinarse uno de ellos, o si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, se reportara al suelo como no plástico, NP. (INDECOPI, 2019)



Fotografía 38, Ensayo de límite líquido NTP

Fuente: Elaboración propia

3.2.10.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E110-E111

I. Aparatos

1. Recipiente para almacenaje
2. Aparato de límite líquido (o Casagrande), de operación manual, es un aparato consistente en una taza de bronce, construido de acuerdo con las dimensiones señaladas en la Ilustración 30.
3. Acanalador, conforme con las dimensiones críticas indicadas en la Ilustración 30.

4. Balanza, con sensibilización de 0.01 g.
5. Recipientes de material resistente a la corrosión, cuya masa no cambie con repetidos cambios de temperatura. Debe tener tapas que cierren bien, sin costuras, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmosfera tras el secado de la pesada final.
6. Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.
7. Espátula con hoja flexible y dimensiones aproximadas de 75 a 100 mm de longitud por 20 mm de ancho.
8. Tamiz N° 40.
9. Frasco de lavado.
10. Horno de secado, termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
11. Agua destilada o agua desmineralizada. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

II. Obtención de la muestra para límite líquido

- a) Obtener una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz N° 40. Las muestras que fluyen libremente pueden ser reducidas por los métodos de cuarteo o división de muestras. Las muestras cohesivas deben ser mezcladas totalmente en un recipiente con una espátula, o cuchará y se obtendrá una porción representativa de la masa total extrayéndola dos veces con la cuchara. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

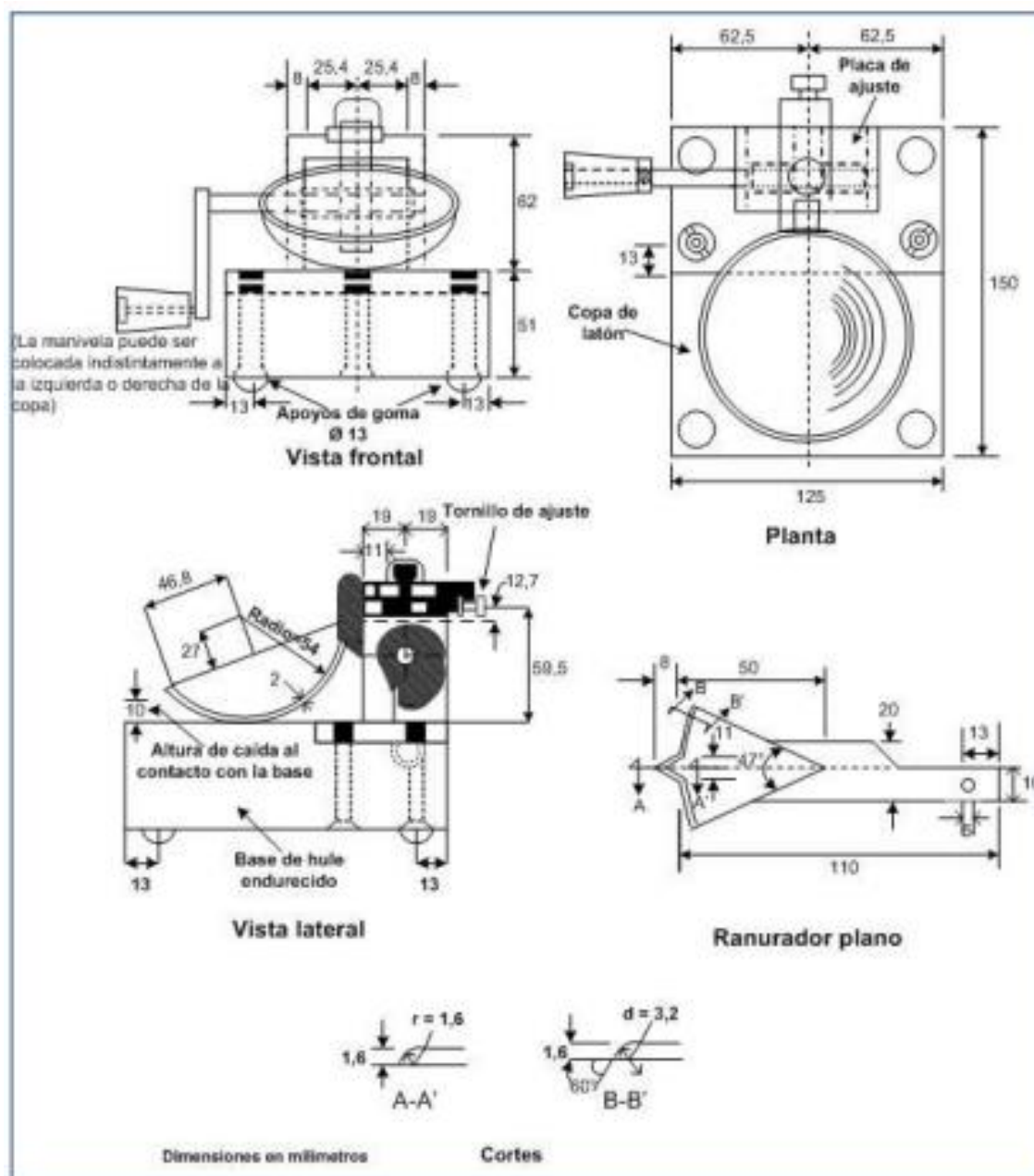


Ilustración 30, Aparato manual para limite liquido

Fuente: MTC E110, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

III. Procedimiento para determinar el límite líquido (Multipunto)

- a) Colocar una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de limite liquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad

aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal. Verificar que no se dejen burbujas de aire atrapadas en la pasta de suelo, formando la pasta con el menor número de pasas de espátula. No olvidar mantener el suelo no usado cubierto con un paño húmedo para retener la humedad de la muestra.

- b) Utilizando el acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la herramienta perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento. En los suelos en los que no se puede hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, cortar la ranura con varias pasadas del acanalador.
- c) Verificar que no existen restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm. Se recomienda utilizar una regla graduada para verificar que la ranura se cerró 13 mm.
- d) Verificar que no se haya producido un cierre adelantado de la ranura debido a burbujas de aire, observando que ambos lados de la ranura se hayan desplazado en conjunto aproximadamente con la misma forma. Si una burbuja hubiera causado el cierre prematuro de la ranura, formar nuevamente el suelo en la copa, añadiendo una

pequeña cantidad de suelo para compensar la pérdida en la operación de ranuración y repetir los procedimientos (a,b y c). Si luego de varias pruebas a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo se sigue deslizado en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registrará que el límite líquido no pudo determinarse, y se reportara al suelo como no plástico sin realizar el ensayo de límite plástico.

- e) Registrar el número de golpes, N, necesarios para cerrar la ranura. Tomar una tajada de suelo aproximadamente el ancho de la espátula, extendiéndola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos rectos a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo se deslizo en conjuntos, colocarlo en un recipiente de peso conocido, y cubrirlo.
- f) Regresar el suelo sobrante de la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador y fijar la copa nuevamente a su soporte cómo preparación para la siguiente prueba.
- g) Mezclar nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir el ensayo para al menos dos pruebas adicionales produciendo números de golpes sucesivamente más bajos para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se realizará para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.

- h) Determinar el contenido de humedad, del espécimen de suelo de cada prueba. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo. Si el ensayo se interrumpe por más de 15 minutos, el espécimen ya obtenido debe pesarse en el momento de la interrupción. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

IV. Cálculos (Multipunto) para límite líquido

- a) Representar la relación entre el contenido de humedad, W y el número de golpes correspondientes, N , de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordena sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres o más puntos graficados.
- b) Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido

Obtención de la muestra

- a) Si se requiere solo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz 0,426 mm ($N^{\circ}40$), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1.5 a 2.0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.

- b) Si se requiere el límite líquido y límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparado para el ensayo de límite líquido.

V. Procedimiento

- a) Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- b) Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de uno 3.2 mm no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

- c) La porción obtenida se coloca en vidrios de reloj, se continua el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad del suelo.
- d) Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado de a, b y c. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

VI. Cálculos de Límite Plástico (L.P.)

- a) Calcular el promedio de dos contenidos de humedad. Repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para dos resultados listados en la Tabla 32 para

la precisión de un operador. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Tabla 32, Estimados de precisión.

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
Precisión de un operador simple: Limite plástico	0,9	2,6
Precisión Multilaboratorio: Limite plástico	3,7	10,6

Fuente: MTC E110, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula:

$$\text{Limite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

Ecuación 68, Limite Plástico

VII. Cálculos de índice de plasticidad (I.P.)

- a) Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I. P. = L. L. - L. P.$$

Ecuación 69, Índice de Plasticidad

Donde:

IP = índice de plasticidad

LL = limite líquido, número entero.

LP = limite plástico, número entero.

- b) Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).
- c) Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informara como NP (no plástico). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Fotografía 39, Ensayo de límite líquido MTC

Fuente: Elaboración propia

3.2.10.3. American Society for Testing Materials D4318

I. Aparatos

1. Dispositivo de límite líquido: es un dispositivo mecánico consistente de una copa de bronce suspendida de un soporte diseñado para controlar su caída sobre una base de caucho duro. La ilustración 31 muestra los rasgos esenciales y las dimensiones críticas del dispositivo. El dispositivo puede ser operado tanto manualmente como con un motor eléctrico.
2. Acanalador, herramienta hecha de plástico o metal no corrosible. La ilustración 32, muestra las dimensiones indicadas.
3. Contenedores, resistentes a la corrosión con tapas de cierre hermético para especímenes de contenido de humedad. Son apropiados recipientes de aluminio de 2.5 cm de alto por 5 cm de diámetro.
4. Balanza, con una aproximación de 0.01 g.

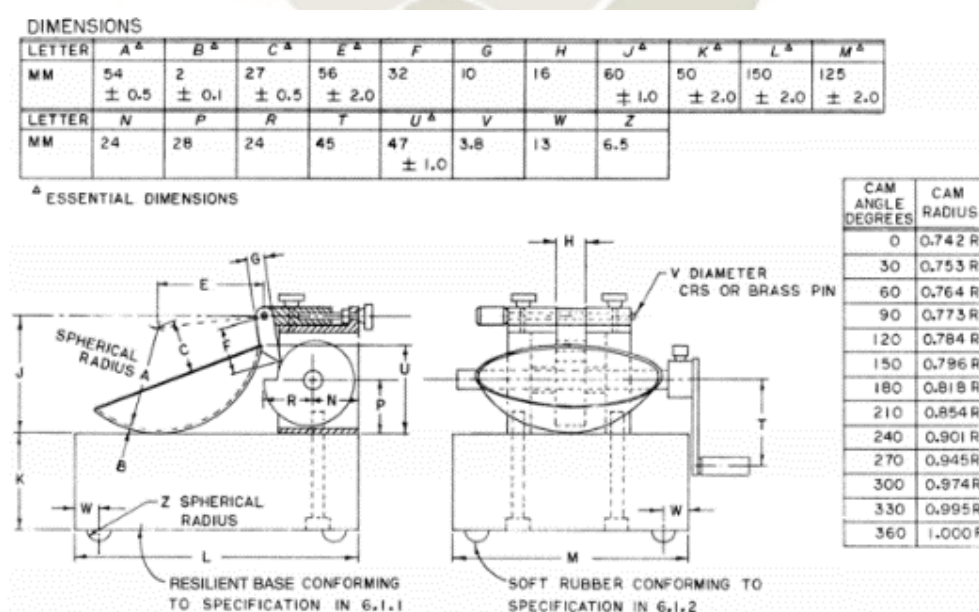


Ilustración 31, Hand – Operated liquid límite device.

Fuente: ASTM D4318, American Society for Testing Materials, (2018),

5. Contenedor para almacenaje, para almacenar el espécimen de suelo preparado, y para prevenir la pérdida de humedad. Es adecuado un plato de porcelana, vidrio o plástico de 11.4 cm de diámetro y una bolsa plástica lo suficientemente grande para envolver el plato y ser doblada.
6. Placa de vidrio pulido, una placa de vidrio pulido cuadrada de 30 cm de lado, 1 cm de espesor para enrollar los hilos de limite plástico.
7. Espátula con hoja flexible y dimensiones aproximadas de 2 cm de ancho y de 10 cm a 13 cm de longitud.
8. Tamiz N° 40.
9. Botellas de agua o recipiente similar para agregar cantidades controladas de agua en el suelo.
10. Horno de secado, termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
11. Recipiente de lavado, circular, de base plana, de por lo menos 7.6 cm de profundidad, y un diámetro ligeramente mayor en la base que un tamiz de 20.3 cm.
12. Agua destilada o agua desmineralizada. (American Society for Testing Materials, 2018)

DIMENSIONS

LETTER	A ^Δ	B ^Δ	C ^Δ	D ^Δ	E ^Δ	F ^Δ
MM	2 ± 0.1	11 ± 0.2	40 ± 0.5	8 ± 0.1	50 ± 0.5	2 ± 0.1
LETTER	G	H	J	K ^Δ	L ^Δ	N
MM	10 MINIMUM	13	60	10 ± 0.05	60 DEG ± 1 DEG	20

^Δ ESSENTIAL DIMENSIONS

[□] BACK AT LEAST 15 MM FROM TIP

NOTE : DIMENSION A SHOULD BE 1.9–2.0 AND DIMENSION D SHOULD BE 8.0–8.1 WHEN NEW TO ALLOW FOR ADEQUATE SERVICE LIFE

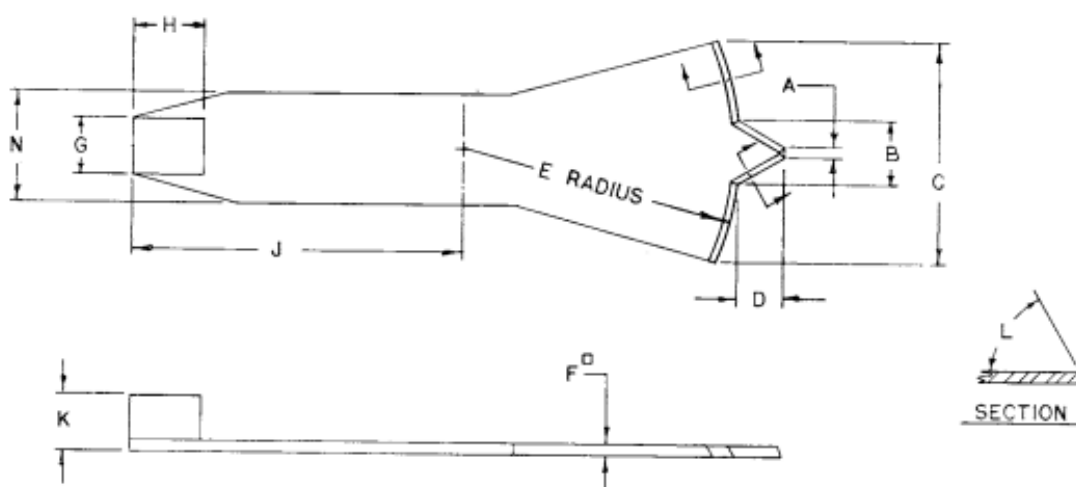


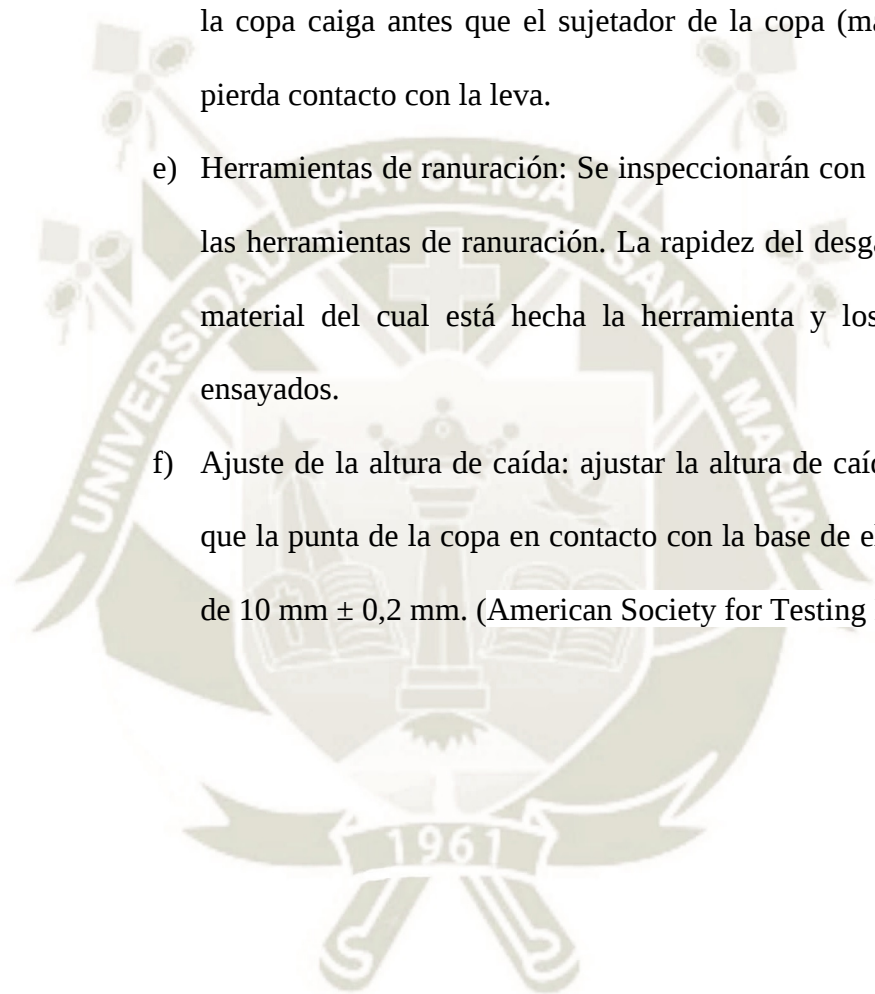
Ilustración 32, Grooving tool (Optional height – of – drop gauge attached)

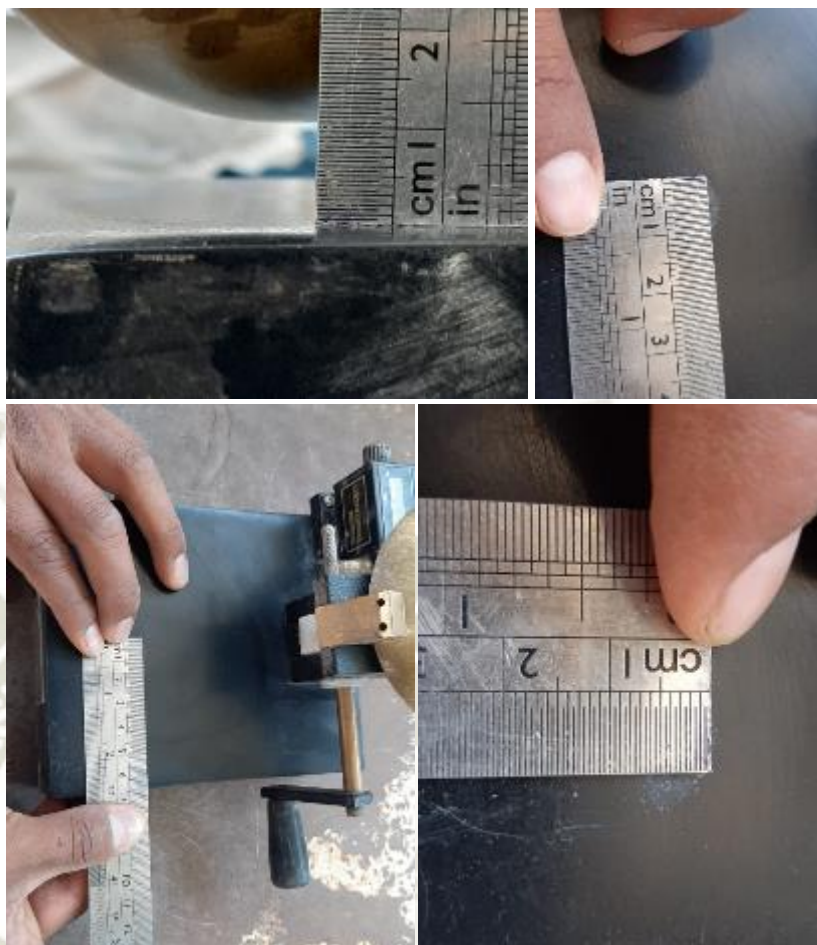
Fuente: ASTM D4318, American Society for Testing Materials, (2018),

II. Calibración del aparato

- Desgaste de la base: la huella sobre la base donde hace contacto la copa debería tener no más de 10 mm (3/8 pulg) de diámetro. Si la huella es mayor, la base puede ser pulida para remover la huella del uso.
- Desgaste de la copa: Reemplazar la copa cuando el ranurador ha originado en la copa una depresión de 0,1 mm de profundidad o cuando la copa se haya reducido a la mitad de su espesor original.

- c) Desgaste del sujetador de la Copa: Verificar que el pivote del sujetador de la copa no se trabe y que no se haya desgastado en una extensión tal que permita un movimiento de lado a lado de más de 3 mm desde el punto más bajo de la copa.
- d) Desgaste de la leva: La leva no se desgastará en una extensión tal que la copa caiga antes que el sujetador de la copa (manubrio de leva) pierda contacto con la leva.
- e) Herramientas de ranuración: Se inspeccionarán con cierta frecuencia las herramientas de ranuración. La rapidez del desgaste depende del material del cual está hecha la herramienta y los tipos de suelo ensayados.
- f) Ajuste de la altura de caída: ajustar la altura de caída de la copa tal que la punta de la copa en contacto con la base de eleve a una altura de $10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. (American Society for Testing Materials, 2018)





Fotografía 40, Calibración del aparato de límite líquido

Fuente: Elaboración propia.

III. Preparación de especímenes de ensayo

1. Preparación húmeda de muestras que contienen material retenido en el tamiz 0,425 mm (N°40):

- a) Seleccionar una cantidad suficiente de suelo a un contenido de humedad natural para obtener 150 g a 200 g de material que pase el tamiz N°40. Colocarlo en un recipiente o plato y añadir suficiente agua para cubrir el suelo. dejarlo sumergido hasta que todos los grumos se hayan suavizado y los finos no se adhieran a las superficies de las partículas gruesas.

- b) Cuando la muestra contiene un elevado porcentaje de material retenido en el tamiz N°40, realizar la siguiente operación de lavado por incrementos, lavando no más de 0.5 kg de material a la vez. Colocar el tamiz N°40 en la base del recipiente limpio. Vaciar la mezcla suelo-agua en el tamiz. Si existen partículas de grava o arena gruesa, enjuagarlas tanto como sea posible, con pequeñas cantidades de agua usando un frasco de lavado y descártalas. Alternativamente, vaciar la mezcla suelo-agua en un tamiz de 2 mm (N°10) colocado sobre un tamiz N°40, enjuagar el material fino y remover el tamiz N°10.
- c) Después de lavar y remover tanto material grueso como sea posible, añadir suficiente agua al recipiente para elevar el nivel 13 mm por encima de la superficie del tamiz N°40. Agitar la mezcla revolviéndola con los dedos mientras se eleva y desciende el tamiz en el recipiente permitiendo que el material fino sea lavado de las partículas más gruesas. Disgregar los terrones de suelo fino que no se hayan desintegrado frotándolos suavemente sobre el tamiz con la yema de los dedos. Completar la operación de lavado elevando el tamiz sobre la superficie de agua y enjuagando el material retenido con una pequeña cantidad de agua limpia. Descartar el material retenido en el tamiz de N°40.
- d) Reducir el contenido de agua del material que pasa el tamiz N°40 hasta que se aproxime al límite líquido. La reducción del contenido de agua puede ser dada por exposición a corrientes de aire a temperatura ambiente. Durante la evaporación y el enfriamiento,

se agitará la muestra lo suficientemente frecuente para evitar el sobre secado de los bordes y pináculo de suelo sobre la superficie de la mezcla.

- e) Mezclar totalmente el material que pasa el tamiz N° 40 sobre la placa de vidrio usando la espátula. Ajustar el contenido de agua de la mezcla, si es necesario, añadiendo pequeños incrementos de agua destilada permitiendo que la mezcla se seque a temperatura ambiente mientras se mezcla sobre la placa de vidrio. El suelo debería estar a un contenido de agua que resulte en el cierre de la ranura de 25 a 35 golpes. Colocar el suelo mezclado en el plato de mezclado, cubrirlo para prevenir la perdida de humedad, y permitirlo reposar por 16 horas. Luego del período de reposo e inmediatamente antes de iniciar el ensayo, remezclar totalmente el suelo. (American Society for Testing Materials, 2018)

2. Preparación Seca:

- a) Seleccionar suficiente suelo para obtener de 150 g a 200 g de material que pase el tamiz N° 40 después de procesado. Secar la muestra a temperatura ambiente o en un horno a una temperatura que no exceda 60 °C hasta que los terrones de suelo se pulvericen con facilidad.
- b) Pulverizar la muestra en un mortero con un mazo con punta de caucho o en alguna otra forma que no cause la ruptura de los graos individuales. Cuando encontremos partículas gruesas durante la pulverización, removerlas manualmente o por otro medio, como el lavado.

- c) Separar la muestra por el tamiz N° 40, agitando el tamiz con la mano para asegurar toda la separación de la fracción más fina. Regresar el material retenido en el tamiz N° 40 al aparato de pulverización y repetir las operaciones de pulverización y tamizado las veces que sean necesarias para asegurar que todo el material fino ha sido disgregado.
- d) Colocar el material remanente en el tamiz N° 40, luego de las operaciones de pulverización final en un plato y sumergir en una pequeña cantidad de agua. Agitar la mezcla suelo agua y vaciar sobre un tamiz N°40, recibiendo el agua y los finos suspendidos en un recipiente de lavado. Vaciar esta suspensión en un plato que contenga el suelo seco tamizado previamente por el tamiz N° 40. Descartar el material retenido en el tamiz
- e) Reducir el contenido de agua del material que pasa el tamiz N° 40 hasta que se aproxime al límite líquido. La reducción del contenido de agua puede estar acompañada por una exposición a corrientes de aire a temperaturas ambiente. Durante la evaporación y el enfriamiento, se agitará la muestra lo suficientemente frecuente para evitar el sobre secado de los bordes y pináculo de suelo sobre la superficie de la mezcla.
- f) Mezclar totalmente el material que pasa el tamiz N° 40 sobre a placa de vidrio usando la espátula. Ajustar el contenido de agua de la mezcla, si es necesario, añadiendo pequeños incrementos de agua destilada permitiendo que la mezcla se seque a temperatura ambiente mientras se mezcla sobre la placa de vidrio. El suelo

debería estar a un contenido de agua que resulte en el cierre de la ranura de 25 a 35 golpes. Colocar el suelo mezclado, cubrirlo para prevenir la pérdida de humedad, y permitirlo reposar por 16 horas. Luego del periodo de reposo e inmediatamente antes de iniciar el ensayo, re mezclar totalmente el suelo. (American Society for Testing Materials, 2018)

IV. Procedimiento para determinar el límite líquido (Multipunto)

- a) Mezclar minuciosamente la muestra en el plato, y, si es necesario, ajustar el contenido de agua hasta que la consistencia requiera alrededor de 25 a 35 golpes para que el aparato de límite líquido cierre el surco. Usando la espátula, coloque una porción de muestra preparada en el dispositivo en el punto donde la base de la copa descansa, presione la muestra y espárcela hasta que alcance una altura de 10 mm en su parte más profunda y va disminuyendo hasta formar una superficie aproximadamente horizontal. Verificar que no se dejen burbujas de aire atrapadas en la pasta de suelo, formando la pasta con el menor número de pasadas de espátula. No olvidar mantener el suelo no usado cubierto con un paño húmedo para retener la humedad de la muestra.
- b) Utilizando el acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la herramienta perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento véase la Ilustración 33.

En los suelos en los que no se puede hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, cortar la ranura con varias pasadas del acanalador.

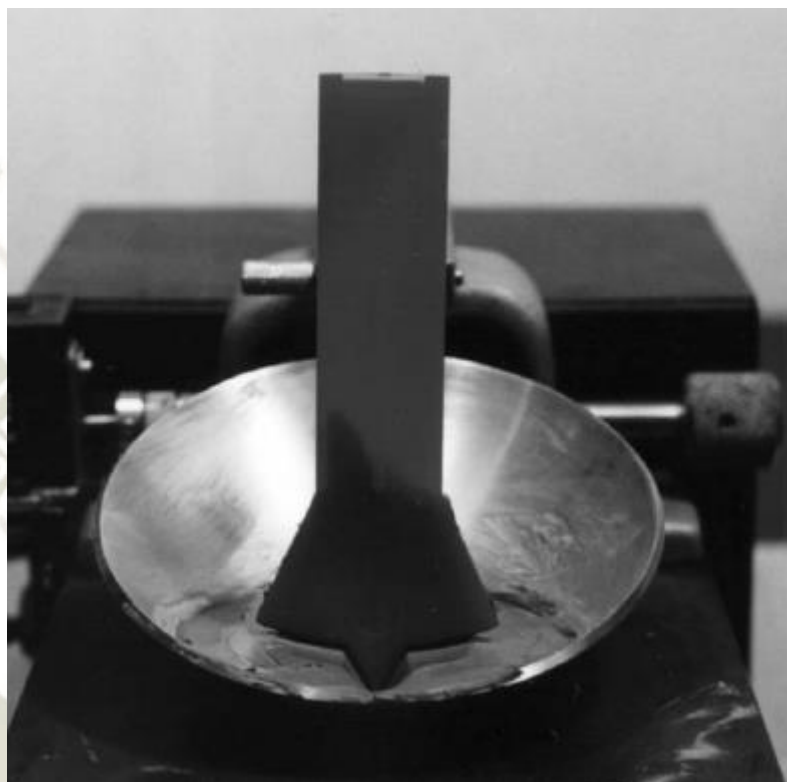


Ilustración 33, Example of grooving tool placed in a properly grooved soil pat

Fuente: ASTM D4318, American Society for Testing Materials, (2018),

- c) Verificar que no existen restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm véase la Ilustración 34 y la Ilustración 35. Se recomienda utilizar una regla graduada para verificar que la ranura se cerró 13 mm.

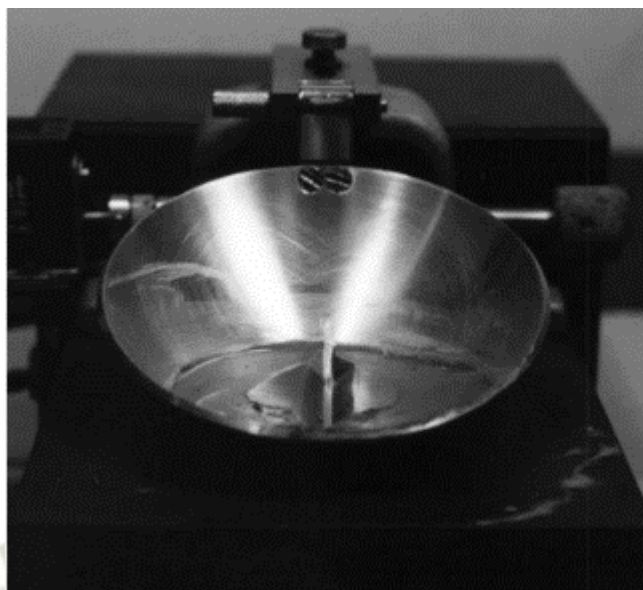


Ilustración 34, Grooved Soil Pat in Liquid Device

Fuente: ASTM D4318, American Society for Testing Materials, (2018),

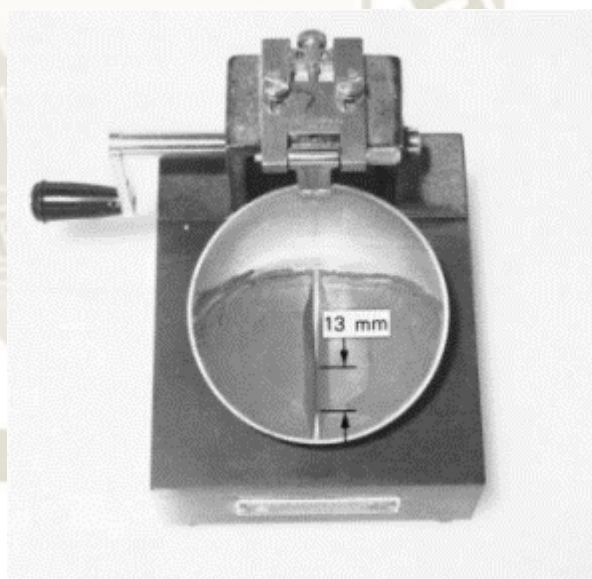


Ilustración 35, Soil pat after Groove has closed

Fuente: ASTM D4318, American Society for Testing Materials, (2018),

- d) Verificar que no se haya producido un cierre adelantado de la ranura debido a burbujas de aire, observando que ambos lados de la ranura se hayan desplazado en conjunto aproximadamente con la misma forma. Si una burbuja hubiera causado el cierre prematuro de la ranura, formar nuevamente el suelo en la copa, añadiendo una

pequeña cantidad de suelo para compensar la pérdida en la operación de ranuración y repetir los procedimientos (a, b y c). Si el suelo se desliza sobre la superficie de la copa, repetir los procedimientos (a, b y c) a un contenido de humedad más elevado. Si luego de varias pruebas a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registrará que el límite líquido no pudo determinarse, y se reportará al suelo como no plástico sin realizar el ensayo de límite plástico.

- e) Registrar el número de golpes, N, necesarios para cerrar la ranura. Tomar una tajada de suelo aproximadamente el ancho de la espátula, extendiéndola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos rectos a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo se deslizó en conjuntos, colocarlo en un recipiente de peso conocido, y cubrirlo.
- f) Regresar el suelo sobrante de la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador y fijar la copa nuevamente a su soporte cómo preparación para la siguiente prueba.
- g) Mezclar nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir el ensayo para al menos dos pruebas adicionales produciendo números de golpes sucesivamente más bajos para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se realizará para un cierre que requiera

de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.

- h) Determinar el contenido de humedad, del espécimen de suelo de cada prueba. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo. Si el ensayo se interrumpe por más de 15 minutos, el espécimen ya obtenido debe pesarse en el momento de la interrupción. (American Society for Testing Materials, 2018)

V. Cálculos para determinar el límite líquido

- a) Representar la relación entre el contenido de humedad, W y el número de golpes correspondientes, N , de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordena sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres o más puntos graficados.
- b) Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido. (American Society for Testing Materials, 2018)

VI. Procedimiento para determinar el límite plástico

- a) Seleccionar una porción de 20 g de suelo del material preparado para el ensayo de límite líquido, del suelo restante al terminar el ensayo. Reducir el contenido de humedad del suelo a una consistencia a la cual pueda enrollarse sin que se pegue a las manos esparciéndolo o mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio o en el plato de

mezclado. El proceso de secado puede acelerarse exponiendo el suelo a la corriente de aire de un ventilador eléctrico, o secándolo con papel que no añada fibras al suelo, como papel de filtro de alta resistencia al humedecimiento.

- b) De la masa de 20 g, tomar una porción de 1.5 a 2.0 g. Formar una masa elipsoidal con el espécimen de ensayo.

Método a mano:

Enrollar la masa entre la palma o los dedos y la placa de vidrio con la presión necesaria para enrollar la masa en un hilo de diámetro uniforme en toda su longitud. El hilo debe ser deformado en cada movimiento hasta que su diámetro sea de 3.2 mm, en no más de 2 minutos. La cantidad de amasado o la presión del dedo requerida variará mucho de acuerdo al suelo que se pruebe. Los suelos frágiles de baja plasticidad se enrollan mejor bajo el borde exterior de la palma o en la base del pulgar.

La velocidad normal de enrollado para la mayoría de suelos debe estar entre 80 y 90 pasadas por minuto, contando una pasada como un movimiento completo de la mano hacia adelante y de regreso a la posición inicial.

- c) Cuando el diámetro del hilo alcanza 3.2 mm, romper el hilo en varios pedazos. Se reúnen los pedazos en una sola porción y se moldean los pedazos entre los dedos pulgares y demás dedos de ambas manos, en una masa uniforme elipsoidal y se le enrolla nuevamente. Se continua este enrollado alternando cuantas veces sea necesario, hasta que el suelo se desmenuce o presente signos de fisuras cuando es llevado a

hilos de 3.2 mm de diámetro. No tiene importancia si el hilo se rompe en hilos de longitud más corta. Cada uno de los hilos más cortos deberán enrollarse hasta llegar a 3.2 mm de diámetro. El único requisito para continuar el ensayo es que sea posible llevarlos nuevamente a la forma de una masa elipsoidal y enrollarlos otra vez. El manipulador no debe intentar que la falla se produzca exactamente al llegar a 3.2 mm, permitiendo que el hilo alcance 3.2 mm, reduciendo la velocidad de enrollado, o la presión de la mano, o ambos, mientras se continua el enrollado sin mayor deformación hasta que el hilo se separe. Se permite, sin embargo, reducir la cantidad total de deformación en suelos plásticos débiles haciendo que el diámetro inicial de la masa elipsoidal sea cercano al diámetro final de 3.2 mm. Si el agrietamiento se presenta cuando el hilo tiene un diámetro mayor a 3.2 mm, este debe considerarse como un punto final satisfactorio, dado que el suelo fue enrollado previamente a 3.2 mm de diámetro. El agrietamiento del hilo se manifiesta de diferentes formas en los diversos tipos de suelos. Algunos suelos se separan en numerosos pequeños conjuntos de partículas, otros pueden formar una capa tubular exterior que comience a dividirse en ambos extremos. La separación comienza hacia la mitad, y finalmente, el hilo se separa en varias partículas laminadas, Los suelos arcillosos grasos requieren mucha presión para deformar el hilo, particularmente cuando se acercan al límite plástico. Con estos suelos, el hilo se separa en una serie de segmentos en forma de barril en una longitud de 3.2 mm a 9.5 mm.

- d) Juntar los pedazos del hilo agrietado y colocarlos en un recipiente de peso conocido. Cubrir inmediatamente el recipiente.
- e) Repetir el ensayo hasta que en el recipiente de peso conocido se tenga no menos de 6 g de muestra.
- f) Repetir los pasos (a, b, c, d y e) para tener otro recipiente de no menos de 6g de suelo. Determinar el contenido de humedad de suelo contenido en los recipientes. (American Society for Testing Materials, 2018)

VII. Cálculos para determinar el límite plástico

- a) Calcular el promedio de los dos contenidos de agua y redondear en el número entero más próximo. Este valor es el límite plástico L.P.
Repita la prueba si la diferencia entre los dos límites de plástico de prueba es mayor que el rango aceptable de dos resultados que figuran en la Tabla 33 para la precisión de un solo operador, es decir, 1.4 puntos porcentuales. (American Society for Testing Materials, 2018)

Tabla 33, Summary of test results from triplicate test laboratories (Atterberg limits)

(1)	(2)			(3)			(4)			(5)		
Soil Type	Number of Triplicate Test Laboratories			Average Value (Percentage Points)			Standard Deviation (Percentage Points)			Acceptable Range of Two Results (Percentage Points)		
	LL	PL	PI	LL	PL	PI	LL	PL	PI	LL	PL	PI
	Single - Operator Results (Within - Laboratory Repeatability)											
CH	13	13	13	59.8	20.6	39.2	0.7	0.5	0.8	2	1	2
CL	14	13	13	33.4	19.9	13.6	0.3	0.4	0.5	1	1	1
ML	12	11	11	27.4	23.4	4.1	0.5	0.3	0.6	2	1	2
	Multilaboratory Results (Between - Laboratory Reproducibility)											
CH	13	13	13	59.8	20.6	39.2	1.3	2.0	2.5	4	6	7
CL	14	13	13	33.4	19.9	13.6	1.0	1.2	1.7	3	3	5
ML	12	11	11	27.4	23.4	4.1	1.3	0.9	1.9	4	3	5

Fuente: ASTM D4318, American Society for Testing Materials, (2018),

VIII. Cálculos para determinar el Índice Plástico

b) Se calcula el índice de plasticidad de la siguiente forma:

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 70, Índice de plasticidad

Donde:

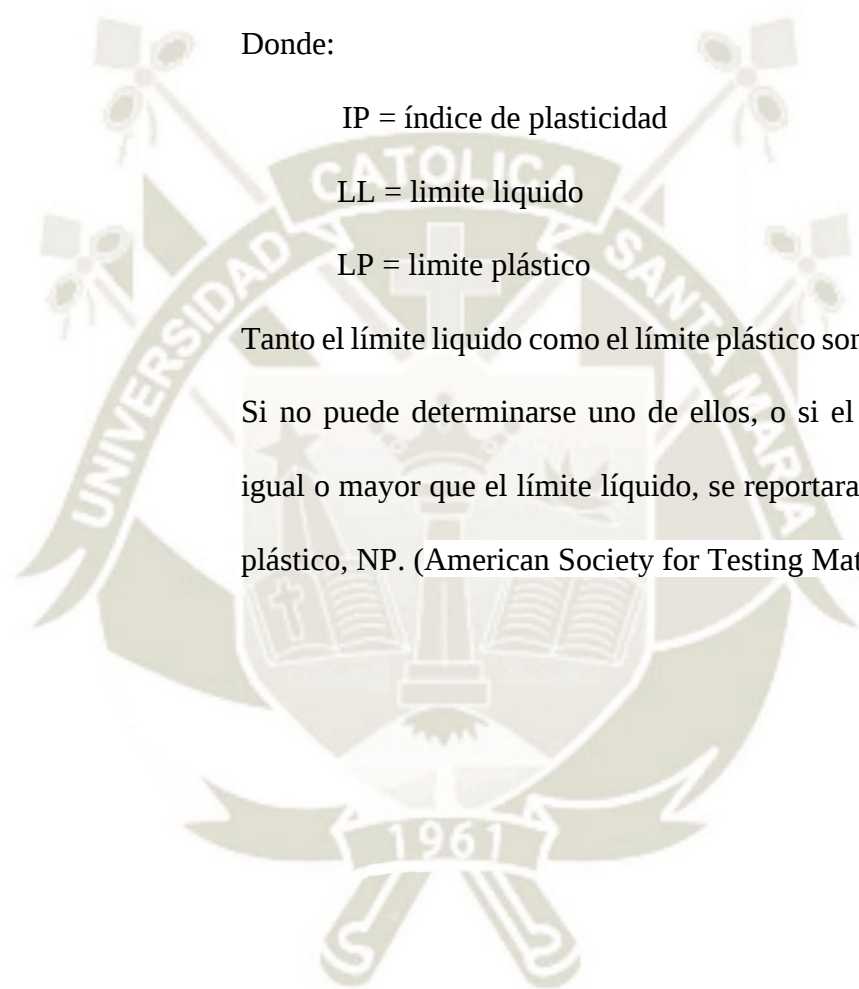
IP = índice de plasticidad

LL = límite líquido

LP = límite plástico

Tanto el límite líquido como el límite plástico son números enteros.

Si no puede determinarse uno de ellos, o si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, se reportara al suelo como no plástico, NP. (American Society for Testing Materials, 2018)





Fotografía 41, Ensayo de límite líquido ASTM

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO IV.

4. ANÁLISIS DE VALORES OBTENIDOS

4.1. Determinación de la variación en la utilización de equipo y herramientas.

4.1.1. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo

Tabla 34, Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizadas para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo

Ensayo	Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo		
Ítems / Normas	NTP 339.126	MTC E 103	ASTM C 702
Equipos y herramientas	- Cucharon metálico - Pala o badilejo - Lona de 2.0 m x 2.5 m.	- Cucharon metálico - Pala o badilejo - Lona de 2.0 m x 2.5 m.	- Cucharon metálico - Pala o badilejo - Lona de 2.0 m x 2.5 m.
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El equipo y herramientas utilizadas para reducción de muestras de campo a tamaño de muestras de ensayo es el mismo, tanto para NTP 339.126 (Norma Técnica Peruana), MTC E 103 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM (American Society for Testing Materials).

4.1.2. Obtención en laboratorios de muestras representativas

Tabla 35, Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizadas para la obtención en laboratorio de muestras representativas

Ensayo	Obtención en laboratorio de muestras representativas		
Ítems / Normas	NTP 339.089	MTC E 105	ASTM C 702
Equipos y herramientas	- Pala - Combo - Cucharon metálico o badilejo - Lona de 2.0 m x 2.5 m.	- Pala - Combo - Cucharon metálico o badilejo - Lona de 2.0 m x 2.5 m.	- Pala - Combo - Cucharon metálico o badilejo - Lona de 2.0 m x 2.5 m.
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El equipo y herramientas utilizadas para la obtención en laboratorio de muestras representativas es el mismo, tanto para NTP 339.089 (Norma Técnica Peruana), MTC E 105 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM C 702 (American Society for Testing Materials).

4.1.3. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

Tabla 36, Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados para determinar el contenido de humedad de un suelo

Ensayo	Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo		
Items / Normas	NTP 339.127	MTC E 108	ASTM D 2216
Equipos y herramientas	- Homo de secado ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) -Balanzas de aproximacion 0.01 g y 0.1 g - Recipientes resistentes a la corrosion - Guantes	- Homo de secado ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) -Balanzas de aproximacion 0.01 g y 0.1 g - Recipientes resistentes a la corrosion - Guantes	- Homo de secado ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) -Balanzas de aproximacion 0.01 g y 0.1 g - Recipientes resistentes a la corrosion - Guantes
Resultados	=	=	=

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El equipo y herramientas utilizadas para determinar el contenido de humedad de un suelo es el mismo, tanto para NTP 339.127 (Norma Técnica Peruana), MTC E 108 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 2216 (American Society for Testing Materials).

4.1.4. Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo

Tabla 37, Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados para la preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo

Ensayo	Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo.		
Ítems / Normas	NTP 339.090	MTC E 106	ASTM D 421
Equipos y herramientas	- Balanza con aproximación de 0.1 g - Combo de goma - Tamices N° 4, N°10 y N°40	- Balanza con aproximación de 0.1 g - Combo de goma - Tamices N° 4, N°10 y N°40	- Balanza con aproximación de 0.1 g - Combo de goma - Tamices N° 4, N°10 y N°40
Procedimiento	=	=	=

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El equipo y herramientas utilizadas para la preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo es el mismo, tanto para NTP 339.090 (Norma Técnica Peruana), MTC E 106 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 421 (American Society for Testing Materials).

4.1.5. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico

Tabla 38, Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados en el método de ensayo para el análisis granulométrico

Ensayo	Método de ensayo para el Análisis Granulométrico		
Items / Normas	NTP 339.128	MTC E 107	ASTM D 422
Equipos y herramientas	- Balanza de aproximación a 0.01 g y 0.1 % de la masa de la muestra - Horno de secado ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) - Tamices: 3", 1 1/2 ", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N° 100 y N°200	- Balanza de aproximación a 0.01 g y 0.1 % de la masa de la muestra - Horno de secado ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) - Tamices: 3", 1 1/2 ", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N° 100 y N°200	- Balanza de aproximación a 0.01 g y 0.1 % de la masa de la muestra - Horno de secado ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) - Tamices: 3", 1 1/2 ", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N° 100 y N°200
Resultados	=	=	=

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El equipo y herramientas utilizadas para utilizados en el método de ensayo para el análisis granulométrico es el mismo, tanto para NTP 339.128 (Norma Técnica Peruana), MTC E 107 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 422 (American Society for Testing Materials).

4.1.5.1. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo

Tabla 39, Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados en el método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo

Ensayo	Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo		
Ítems / Normas	NTP 339.131	MTC E 113	ASTM D 854
Equipos y herramientas.	- Picnómetro o frasco volumétrico de 100 cm³ - Balanzas de aproximación 0.01 g y 0.1 g - Capsulas de porcelana o metal - Pipeta -Termómetro - Tamiz N° 4	- Picnómetro o frasco volumétrico de 100 cm³ - Balanzas de aproximación 0.01 - Horno de secado (110 ± 50°C) - Contenedor aislado styrofoam - Capsulas de porcelana o metal - Pipeta -Termómetro (0.1 °C) - Tamiz N° 4	- Picnómetro o frasco volumétrico de 100 cm³ - Balanzas de aproximación 0.01 - Horno de secado (110 ± 50°C) - Contenedor aislado styrofoam - Capsulas de porcelana o metal - Pipeta -Termómetro (0.1 °C) - Tamiz N° 4
Resultados	≠	=	=

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Para la norma NTP 339.131 (Norma Técnica Peruana), en el apartado de aparatos y equipos no menciona la utilización de un termómetro con precisión de 0.1 °C, a su vez no menciona que se utilizará un contenedor aislado styrofoam, como si se

encuentra mencionado en las normas MTC E113 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D854 (American Society for Testing Materials).

4.1.6. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)

Tabla 40, Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados en el método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)

Ensayo	Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)		
Ítems / Normas	NTP 339.134	MTC	ASTM D2487
Equipos y herramientas	- Balanza de aproximación a 0.01 g - Tamices: 3", 3/4", N°4, N° 10, N° 40 y N° 200	- Balanza de aproximación a 0.01 g - Tamices: 3", 3/4", N°4, N° 10, N° 40 y N° 200	- Balanza de aproximación a 0.01 g - Tamices: 3", 3/4", N°4, N° 10, N° 40 y N° 200
Resultados	=	=	=

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El equipo y herramientas utilizadas para utilizados en el método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS) es el mismo, tanto para NTP 339.134 (Norma Técnica Peruana) y ASTM D 2487 (American Society for Testing Materials).

4.1.7. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.

Tabla 41, Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados en el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.

Ensayo	Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada		
Items / Normas	NTP 339.141	MTC E 115	ASTM D1557
Equipos y herramientas	- Molde de 4 pulgadas. - Molde de 6 pulgadas - Pison manual - Balanza GP5 - Horno de secado ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) - Regla recta no menor de 10 pulg. - Tamices: 3/4" y N° 4 - Mortero, cucharas, espátula, recipientes	- Molde de 4 pulgadas. - Molde de 6 pulgadas - Pison manual - Balanza GP5 - Horno de secado ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) - Regla recta no menor de 10 pulg. - Tamices: 3/4" y N° 4 - Mortero, cucharas, espátula, recipientes	- Molde de 4 pulgadas. - Molde de 6 pulgadas - Pison manual - Balanza GP5 - Horno de secado ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) - Regla recta no menor de 10 pulg. - Tamices: 3/4" y N° 4 - Mortero, cucharas, espátula, recipientes
Resultados	=	=	=

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El equipo y herramientas utilizados en el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada, es el mismo, tanto para NTP 339.141 (Norma Técnica Peruana), MTC E 115 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 1557 (American Society for Testing Materials).

4.1.8. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena

Tabla 42, Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados en el método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena

Ensayo	Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena		
Ítems / Normas	NTP 339.143	MTC E 117	ASTM D 1556
Equipos y herramientas.	-Aparato de densidad de cono de arena - Arena calibrada - Balanza con aproximación a 1 g - Cucharon, pico, combo, clavos, - Regla - Bolsas herméticas	-Aparato de densidad de cono de arena - Arena calibrada - Balanza con aproximación a 1 g - Cucharon, pico, combo, clavos, - Regla - Bolsas herméticas	-Aparato de densidad de cono de arena - Arena calibrada - Balanza con aproximación a 1 g - Cucharon, pico, combo, clavos, - Regla - Bolsas herméticas
Resultados	=	=	=

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El equipo y herramientas utilizados en el método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena, es el mismo, tanto para NTP 339.143 (Norma Técnica Peruana), MTC E 117 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 1556 (American Society for Testing Materials).

4.1.9. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

Tabla 43, Resumen de los diferentes equipos y/o herramientas utilizados en el método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

Ensayo	Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos		
Items / Normas	NTP 339.129	MTC E 110 - E 111	ASTM D4318
Equipos y herramientas.	-Dispositivo de límite líquido - Acanalador o ranurador - Capsulas de porcelona o metal - Balanza con aproximacion 0.01g - Contenedor para almacenaje - Placa de vidrio pulido - Espatula con hoja flexible - Tamiz N°40 - Frasco de lavado - Horno de secado ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) - Agua destilada	-Dispositivo de límite líquido - Acanalador o ranurador - Capsulas de porcelona o metal - Balanza con aproximacion 0.01g - Contenedor para almacenaje - Placa de vidrio pulido - Espatula con hoja flexible - Tamiz N°40 - Frasco de lavado - Horno de secado ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) - Agua destilada	-Dispositivo de límite líquido - Acanalador o ranurador - Capsulas de porcelona o metal - Balanza con aproximacion 0.01g - Contenedor para almacenaje - Placa de vidrio pulido - Espatula con hoja flexible - Tamiz N°40 - Frasco de lavado - Horno de secado ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) - Agua destilada
Resultados	=	=	=

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El equipo y herramientas utilizados en el método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos, es el mismo, tanto para NTP 339.129 (Norma Técnica Peruana), MTC E 110 -111 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 4318 (American Society for Testing Materials).

4.2. Determinación de la variación con respecto a la selección de la muestra.

4.2.1. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo.

Tabla 44, Resumen de la selección de muestras para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo

Ensayo	Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo		
Ítems / Normas	NTP 339.126	MTC E 103	ASTM C 702
Muestra	El cuarteo se realiza con las mismas condiciones de campo que llega la muestra.	El cuarteo se realiza con las mismas condiciones de campo que llega la muestra.	Indica secado de la muestra antes del cuarteo.
Resultados	=	=	≠

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas no indican una cantidad específica de muestra a ensayar, más si, indican el estado en que estas deben de estar para ser ensayadas. Las normas NTP 339.126 (Norma Técnica Peruana) y MTC 103 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones), indican que la muestra debe ser ensayada en las mismas condiciones que llega de campo, a comparación de la norma ASTM C 702 (American Society for Testing Materials), en donde nos indica que la muestra debe ser secada antes de ensayarse.

4.2.2. Obtención en laboratorios de muestras representativas

Tabla 45, Resumen de la selección de muestras para la obtención en laboratorios de muestras representativas.

Ensayo	Obtención en laboratorio de muestras representativas		
Ítems / Normas	NTP 339.089	MTC E 105	ASTM C 702
Muestra	Indica secado al aire y pulverización de los terrones de la muestra antes del cuarteo.	Indica secado al aire y pulverización de los terrones de la muestra antes del cuarteo.	Indica secado de la muestra antes del cuarteo.
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- En todas las normas nos indican el secado de las muestras antes de ser ensayadas, notándose la diferencia en que las normas NTP 339.089 (Norma Técnica Peruana) y MTC E 105 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones), indican la pulverización de los terrones existentes después del secado, lo cual la norma ASTM C 702 (American Society for Testing Materials) no indica.

4.2.3. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

Tabla 46, Resumen de la selección de muestras para determinar el contenido de humedad de un suelo.

Ensayo	Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo		
Ítems / Normas	NTP 339.127	MTC E 108	ASTM D 2216
Muestra	2.5 kg	2.5 kg	2,5 kg
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- En las normas NTP 339.127 (Norma Técnica Peruana), MTC E 108 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y el ASTM D2216 (American Society for Testing Materials) nos indican una misma cantidad de muestra a ensayar, esta cantidad se muestra en una tabla que brindan las tres normas, dicha tabla trabaja con el tamaño máximo de las partículas de la muestra versus la precisión con la que se desea obtener el resultado (dicha precisión es de 1% y 0.1%).

4.2.4. Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo

Tabla 47, Resumen de la selección de muestras para la preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo.

Ensayo	Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo.		
Ítems / Normas	NTP 339.090	MTC E 106	ASTM D 421
Muestra	Muestra con presencia mínima de 500 g material retenido en el tamiz N°4	Muestra con presencia mínima de 500 g material retenido en el tamiz N°4	Muestra dependerá del tamaño máximo de partículas y cantidad de gruesos
Resultado	=	=	≠

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- En las normas NTP 339.127 (Norma Técnica Peruana), MTC E 108 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) nos indica que la muestra que vaya a ser preparada para el ensayo debe de contener una presencia mínima de 500 g. de material grueso retenido en el tamiz N° 4, lo cual no indica la norma ASTM D2216 (American Society for Testing Materials). La norma ASTM D2216 solo indica que la cantidad de muestra dependerá del tamaño máximo de partículas y cantidad de gruesos, no mostrando una tabla de donde poder obtener valores para la cantidad de muestra.

4.2.5. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico

Tabla 48, Resumen de la selección de muestras para el ensayo de análisis granulométrico

Ensayo	Método de ensayo para el Análisis Granulométrico		
Ítems / Normas	NTP 339.128	MTC E 107	ASTM D 422
Muestra	Muestra con presencia mínima de 500 g material retenido en el tamiz N°4	Muestra con presencia mínima de 500 g material retenido en el tamiz N°4	Muestra con presencia mínima de 500 g material retenido en el tamiz N°4
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- En las normas NTP 339.128 (Norma Técnica Peruana) y ASTM D 422 (American Society for Testing Materials) y la norma MTC E 107 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) nos muestra lo mismo.

4.2.6. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo

Tabla 49, Resumen de la selección de muestras para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo.

Ensayo	Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo		
Ítems / Normas	NTP 339.131	MTC E 113	ASTM D 854
Muestra	Mínimo 25 g	La cantidad de muestra depende del frasco volumétrico y el tipo de suelo. Siendo 75 ± 10 .	La cantidad de muestra depende del frasco volumétrico y el tipo de suelo. Siendo 75 ± 10 .
Resultado	$\neq$	$=$	$=$

Fuente, Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas MTC E 113 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM D 854 (American Society for Testing Materials), nos indican que la cantidad de muestra a ensayar es de 75 ± 10 g (este valor es obtenido por la tabla que nos brindan las normas, donde ambas tablas trabajan en base al tipo de suelo y el volumen del frasco volumétrico que se vaya a utilizar); muy distinto a la norma NTP 339.131 (Norma Técnica Peruana) donde se nos pide que la cantidad de muestra a ensayar sea como mínimo 25 g, sin hacer referencia al tipo de suelo o volumen del frasco volumétrico que se vaya a utilizar.

4.2.7. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)

Tabla 50, Resumen de la selección de muestras para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).

Ensayo	Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)		
Ítems / Normas	NTP 339.134	MTC	ASTM D2487
Muestra	1 kg	-	1 kg
Resultado	=	-	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- La norma ASTM D 2487 (American Society for Testing Materials) y la norma NTP 339.134 (Norma Técnica Peruana) indican que la cantidad de muestra a ensayar es de 1 kg (esto de acuerdo al tamaño máximo de nuestra partícula).

4.2.8. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.

Tabla 51, Resumen de la selección de muestras para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.

Ensayo	Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada		
Ítems / Normas	NTP 339.141	MTC E 115	ASTM D1557
Muestra	2,3 kg	2,3 kg	2,3 kg
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas NTP 339.141 (Norma Técnica Peruana), MTC E 115 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM D1557 (American Society for Testing Materials), nos indican la cantidad de muestra a ensayar es 2.3 kg.

4.2.9. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.

Tabla 52, Resumen de la selección de muestras para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.

Ensayo	Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos		
Ítems / Normas	NTP 339.129	MTC E 110 - E 111	ASTM D4318
Muestra	150 a 200 g	150 a 200 g	150 a 200 g
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas NTP 339.129 (Norma Técnica Peruana), MTC E 110 – E 111 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM D 4318 (American Society for Testing Materials), nos indican la cantidad de muestra pasante de la malla N° 40 a ensayar es de 150 a 200 g.

4.3. Determinación de la variación con respecto al procedimiento del ensayo.

4.3.1. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo.

Tabla 53, Resumen del procedimiento del ensayo para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo.

Ensayo	Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo		
Ítems / Normas	NTP 339.126	MTC E 103	ASTM C 702
Procedimiento	-Colocado de la muestra sobre lona de 2.0 m x 2.5 m. -Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación tres veces. -Cuidadosamente se aplana el cono, extendiéndolo hasta conseguir una base circular de espesor y diámetro uniforme. -Se procede a dividir el material en cuatro partes iguales, de los cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos. - Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente. - Se repiten los pasos hasta obtener la cantidad de muestra requerida.	-Colocado de la muestra sobre lona de 2.0 m x 2.5 m. -Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación tres veces. -Cuidadosamente se aplana el cono, extendiéndolo hasta conseguir una base circular de espesor y diámetro uniforme. -Se procede a dividir el material en cuatro partes iguales, de los cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos. - Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente. - Se repiten los pasos hasta obtener la cantidad de muestra requerida.	-La muestra se seca al aire. Se coloca la muestra sobre una lona de 2.0 m x 2.5 m. -Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación tres veces. -Cuidadosamente se aplana el cono, extendiéndolo hasta conseguir una base circular de espesor y diámetro uniforme. -Se procede a dividir el material en cuatro partes iguales, de los cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos. - Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente. - Se repiten los pasos hasta obtener la cantidad de muestra requerida.
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas NTP 339.126 (Norma Técnica Peruana), MTC E 103 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM D 702 (American Society for Testing Materials), muestran el mismo procedimiento de realización del ensayo.



4.3.2. Obtención en laboratorios de muestras representativas

Tabla 54, Resumen del procedimiento del ensayo para la obtención en laboratorio de muestras representativas.

Ensayo	Obtención en laboratorio de muestras representativas		
Ítems / Normas	NTP 339.089	MTC E 105	ASTM C 702
Procedimiento	-Colocado de la muestra sobre lona de 2.0 m x 2.5 m. -Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación tres veces. -Cuidadosamente se aplan el cono, extendiéndolo hasta conseguir una base circular de espesor y diámetro uniforme. -Se procede a dividir el material en cuatro partes iguales, de los cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos. - Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente. - Se repiten los pasos hasta obtener la cantidad de muestra requerida.	-Colocado de la muestra sobre lona de 2.0 m x 2.5 m. -Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación tres veces. -Cuidadosamente se aplan el cono, extendiéndolo hasta conseguir una base circular de espesor y diámetro uniforme. -Se procede a dividir el material en cuatro partes iguales, de los cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos. - Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente. - Se repiten los pasos hasta obtener la cantidad de muestra requerida.	-La muestra se seca al aire. Se coloca la muestra sobre una lona de 2.0 m x 2.5 m. -Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación tres veces. -Cuidadosamente se aplan el cono, extendiéndolo hasta conseguir una base circular de espesor y diámetro uniforme. -Se procede a dividir el material en cuatro partes iguales, de los cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos. - Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente. - Se repiten los pasos hasta obtener la cantidad de muestra requerida.
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas NTP 339.089 (Norma Técnica Peruana), MTC E 105 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM D 702 (American Society for Testing Materials), muestran el mismo procedimiento de realización del ensayo.



4.3.3. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

Tabla 55, Resumen del procedimiento del ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

Ensayo	Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo		
Ítems / Normas	NTP 339.127	MTC E 108	ASTM D 2216
Procedimiento	-Utilizar la muestra que ha sido conservada en una bola hermética. -Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco. -Seleccionar el espécimen de ensayo representativo de acuerdo al tamaño máximo de las partículas. -Colocar la muestra de suelo en el contenedor y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. -Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno. -Realizar los cálculos pertinentes.	-Utilizar la muestra que ha sido conservada en una bola hermética. -Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco. -Seleccionar el espécimen de ensayo representativo de acuerdo al tamaño máximo de las partículas. -Colocar la muestra de suelo en el contenedor y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. -Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno. -Realizar los cálculos pertinentes.	-Utilizar la muestra que ha sido conservada en una bola hermética. -Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco. -Seleccionar el espécimen de ensayo representativo de acuerdo al tamaño máximo de las partículas. -Colocar la muestra de suelo en el contenedor y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. -Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno. -Realizar los cálculos pertinentes.
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas NTP 339.127 (Norma Técnica Peruana), MTC E 108 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM D 2216 (American Society for Testing Materials), muestran el mismo procedimiento de realización del ensayo.

4.3.4. Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo

Tabla 56, Resumen del procedimiento del ensayo para la preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo

Ensayo	Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo.		
Ítems / Normas	NTP 339.090	MTC E 106	ASTM D 421
Procedimiento	- Se pesa la porción de muestra secada al aire y se anota este valor. - Separar la muestra por el Tamiz N°4 * Retenido Tamiz N°4 - Se desmenuza utilizando el combo de goma - Se tamiza por la malla N° 4 - La porción retenida en el segundo tamizado, se lava, se seca y anota el peso. * Pasante Tamiz N° 4 - Se separa una porción para determinar la humedad higroscópica. - Se separa 115 g para suelos arenosos y para suelos arenosos limosos y arcillosos 65 g, para el análisis granulométrico.	- Se pesa la porción de muestra secada al aire y se anota este valor. - Separar la muestra por el Tamiz N°4 * Retenido Tamiz N°4 - Se desmenuza utilizando el combo de goma - Se tamiza por la malla N° 4 - La porción retenida en el segundo tamizado, se lava, se seca y anota el peso. * Pasante Tamiz N° 4 - Se separa una porción para determinar la humedad higroscópica. - Se separa 115 g para suelos arenosos y para suelos arenosos limosos y arcillosos 65 g, para el análisis granulométrico.	- Se pesa la porción de muestra secada al aire y se anota este valor. - Separar la muestra por el Tamiz N°4 * Retenido Tamiz N°4 - Se desmenuza utilizando el combo de goma - Se tamiza por la malla N° 4 - La porción retenida en el segundo tamizado, se lava, se seca y anota el peso. * Pasante Tamiz N° 4 - Se separa una porción para determinar la humedad higroscópica. - Se separa 115 g para suelos arenosos y para suelos arenosos limosos y arcillosos 65 g, para el análisis granulométrico.
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas NTP 339.090 (Norma Técnica Peruana), MTC E 106 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM D 421 (American Society for Testing Materials), muestran el mismo procedimiento de realización del ensayo.



4.3.5. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico

Tabla 57, Resumen del procedimiento del ensayo para el análisis granulométrico.

Ensayo	Método de ensayo para el Análisis Granulométrico		
Ítems / Normas	NTP 339.128	MTC E 107	ASTM D 422
Procedimiento	- Utilizar la muestra de suelo determinada en NTP 339.090 - Separar el material por el tamiz N° 4 * Retenido Tamiz N° 4 - Pasar la muestra por los tamices a usar. * Pasante Tamiz N° 4 - Hallar la humedad higroscópica con 10 a 15 g aproximados de muestra. - Seleccionar 115 g de muestra, después de cuartear. - Lavar la muestra representativa sobre el tamiz N° 200 (no botar el pasante). - Pasarla por los tamices correspondientes. - Registrar cada uno de los pesos retenidos en las mallas. - Calcular y realizar la curva granulométrica.	- Utilizar la muestra de suelo determinada en NTP 339.090 - Separar el material por el tamiz N° 4 * Retenido Tamiz N° 4 - Pasar la muestra por los tamices a usar. * Pasante Tamiz N° 4 - Hallar la humedad higroscópica con 10 a 15 g aproximados de muestra. - Seleccionar 115 g de muestra, después de cuartear. - Lavar la muestra representativa sobre el tamiz N° 200 (no botar el pasante). - Pasarla por los tamices correspondientes. - Registrar cada uno de los pesos retenidos en las mallas. - Calcular y realizar la curva granulométrica.	- Utilizar la muestra de suelo determinada en NTP 339.090 - Separar el material por el tamiz N° 4 * Retenido Tamiz N° 4 - Pasar la muestra por los tamices a usar. * Pasante Tamiz N° 4 - Hallar la humedad higroscópica con 10 a 15 g aproximados de muestra. - Seleccionar 115 g de muestra, después de cuartear. - Lavar la muestra representativa sobre el tamiz N° 200 (no botar el pasante). - Pasarla por los tamices correspondientes. - Registrar cada uno de los pesos retenidos en las mallas. - Calcular y realizar la curva granulométrica.
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas NTP 339.128 (Norma Técnica Peruana), MTC E 107 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM D 422 (American Society for Testing Materials), muestran el mismo procedimiento de realización del ensayo.



4.3.6. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo.

Tabla 58, Resumen del procedimiento del ensayo para el análisis granulométrico.

Ensayo	Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo		
Ítems / Normas	NTP 339.131	MTC E 113	ASTM D 854
Procedimiento	- Calibrar el picnómetro o frasco volumétrico. - Separar la muestra por el tamiz N° 4. - Seleccionar como mínimo 25 g de suelo pasante del tamiz N° 4. - Colocar la muestra en el picnómetro, y llenarlo hasta la altura indicada. - Eliminar el aire atrapado, poniendo el frasco en la cocina. - Se llena el picnómetro con agua destilada, se limpia y se seca la parte externa con una tela seca. - Se realizan los cálculos.	- Calibrar el picnómetro o frasco volumétrico. - Separar la muestra por el tamiz N° 4. - Seleccionar como mínimo 75 ± 10 g de suelo pasante del tamiz N° 4. - Colocar la muestra en el picnómetro, y llenarlo hasta la altura indicada. - Eliminar el aire atrapado, poniendo el frasco en la cocina. - Dejar en el contenedor para que se equilibre termalmente. - Se llena el picnómetro con agua destilada, se limpia y se seca la parte externa con una tela seca. - Se realizan los cálculos.	- Calibrar el picnómetro o frasco volumétrico. - Separar la muestra por el tamiz N° 4. - Seleccionar como mínimo 75 ± 10 g de suelo pasante del tamiz N° 4. - Colocar la muestra en el picnómetro, y llenarlo hasta la altura indicada. - Eliminar el aire atrapado, poniendo el frasco en la cocina. - Dejar en el contenedor para que se equilibre termalmente. - Se llena el picnómetro con agua destilada, se limpia y se seca la parte externa con una tela seca. - Se realizan los cálculos.
Resultado	≠	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas MTC E 113 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM D 854 (American Society for Testing Materials), muestran el uso de un contenedor o Styrofoam para que la muestra de suelo con agua llegue a un equilibrio termal sin ser afectada por los cambios de temperatura a lo largo del día, también nos muestra que el proceso de calibración del frasco volumétrico tiene una duración de 15 horas en comparación a la calibración del frasco volumétrico de la norma NTP 339.131 (Norma Técnica Peruana) que dura uno simples minutos. NTP 339.131 no usa el contenedor o Styrofoam para la calibración ni para conseguir el equilibrio termal de la muestra.

4.3.7. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)

Tabla 59, Resumen del procedimiento del ensayo para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería

Ensayo	Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)		
Ítems / Normas	NTP 339.134	MTC	ASTM D2487
Procedimiento	- Selecciona la cantidad de muestra requerida según el tamaño máximo de partícula. - Determine el análisis granulométrico, usando un grupo de tamices que se muestran en la norma. - Calcular y realizar la curva granulométrica. - Clasificar el suelo según las cartas de clasificación de suelos.	Referencia a la norma NTP 339.134	- Selecciona la cantidad de muestra requerida según el tamaño máximo de partícula. - Determine el análisis granulométrico, usando un grupo de tamices que se muestran en la norma. - Calcular y realizar la curva granulométrica. - Clasificar el suelo según las cartas de clasificación de suelos.
Resultado	=	=	=

Fuente, Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas NTP 339.134 (Norma Técnica Peruana) y ASTM D 487 (American Society for Testing Materials), muestran el mismo procedimiento de realización del ensayo.

4.3.8. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.

Tabla 60, Resumen del procedimiento del ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.

Ensayo	Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada		
Ítems / Normas	NTP 339.141	MTC E 115	ASTM D1557
Procedimiento	- Se selecciona el método a utilizar A, B o C. - Calibrar y verificar el equipo a utilizar según el método elegido. - Seleccionar el tamaño de muestra requerido por A, B o C - Se selecciona el método de preparación húmedo o seco según corresponda. - Curar la muestra según el tipo de suelo. (tabla 22 de la norma) - Realizar el compactado del suelo en 5 capas, y un N° de golpes según sea el método. - Retirar el anillo, enrazar y pesar. - Extraer la muestra completa y llevarla al horno. - Calcular y realizar la curva de compactación.	- Se selecciona el método a utilizar A, B o C. - Calibrar y verificar el equipo a utilizar según el método elegido. - Seleccionar el tamaño de muestra requerido por A, B o C - Se selecciona el método de preparación húmedo o seco según corresponda. - Curar la muestra según el tipo de suelo. (tabla 22 de la norma) - Realizar el compactado del suelo en 5 capas, y un N° de golpes según sea el método. - Retirar el anillo, enrazar y pesar. - Extraer la muestra completa y llevarla al horno. - Calcular y realizar la curva de compactación.	- Se selecciona el método a utilizar A, B o C. - Calibrar y verificar el equipo a utilizar según el método elegido. - Seleccionar el tamaño de muestra requerido por A, B o C - Se selecciona el método de preparación húmedo o seco según corresponda. - Curar la muestra según el tipo de suelo. (tabla 22 de la norma) - Realizar el compactado del suelo en 5 capas, y un N° de golpes según sea el método. - Retirar el anillo, enrazar y pesar. - Extraer la muestra completa y llevarla al horno. - Calcular y realizar la curva de compactación.
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas NTP 339.141 (Norma Técnica Peruana), MTC E 115 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM D 1557 (American Society for Testing Materials), muestran el mismo procedimiento de realización del ensayo.



4.3.9. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena

Tabla 61, Resumen del procedimiento del ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena.

Ensayo	Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena		
Ítems / Normas	NTP 339.143	MTC E 117	ASTM D 1556
Procedimiento	- Calibrar la densidad de la arena según los procedimientos mencionados en la norma. - Calibrar el aparato de cono de arena. - Calibrar el aparato de arena. - Seleccionar una ubicación nivelada. - Coloque el plato de base sobre la superficie plana. Asegúrelo con clavos o estacas. - Cave el hoyo de prueba a través del orificio central en el plato de base, teniendo cuidado de que se disturbe. (según tabla de la norma). - La muestra excavada se almacena en una bolsa hermética y se pesa. - Limpie los bordes del plato, coloque el cono de arena y abra la válvula. - Cuando ya no caiga mas arena, cierre la válvula y pese el aparato de cono de arena - Realizar los cálculos.	- Calibrar la densidad de la arena según los procedimientos mencionados en la norma. - Calibrar el aparato de cono de arena. - Calibrar el aparato de arena. - Seleccionar una ubicación nivelada. - Coloque el plato de base sobre la superficie plana. Asegúrelo con clavos o estacas. - Cave el hoyo de prueba a través del orificio central en el plato de base, teniendo cuidado de que se disturbe. (según tabla de la norma). - La muestra excavada se almacena en una bolsa hermética y se pesa. - Limpie los bordes del plato, coloque el cono de arena y abra la válvula. - Cuando ya no caiga mas arena, cierre la válvula y pese el aparato de cono de arena - Realizar los cálculos.	- Calibrar la densidad de la arena según los procedimientos mencionados en la norma. - Calibrar el aparato de cono de arena. - Calibrar el aparato de arena. - Seleccionar una ubicación nivelada. - Coloque el plato de base sobre la superficie plana. Asegúrelo con clavos o estacas. - Cave el hoyo de prueba a través del orificio central en el plato de base, teniendo cuidado de que se disturbe. (según tabla de la norma). - La muestra excavada se almacena en una bolsa hermética y se pesa. - Limpie los bordes del plato, coloque el cono de arena y abra la válvula. - Cuando ya no caiga mas arena, cierre la válvula y pese el aparato de cono de arena - Realizar los cálculos.
Resultado	=	=	=

Fuente, Elaboración Propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas NTP 339.143 (Norma Técnica Peruana), MTC E 117 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM D 1556 (American Society for Testing Materials), muestran el mismo procedimiento de realización del ensayo.



4.3.10. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

Tabla 62, Resumen del procedimiento del ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.

Ensayo	Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos		
Ítems / Normas	NTP 339.129	MTC E 110 - E 111	ASTM D4318
Procedimiento	- Verificar las condiciones del aparato de casa grande. - Preparar la muestra ya sea por método seco o húmedo, pasante N°40. - Curar la muestra 16 horas. * Límite Líquido. - Colocar la muestra en la copa de Casagrande. - Trazar con el ranurador una grieta. - Girar la manivela para producir los golpes determinados. - Realizar ajustes sucesivos de el w%. - Cuando se cierre la muestra en 13 mm, registrar los golpes y llevar la muestra al horno. - Se pesa la muestra seca. - Calcular y realizar la curva. * Límite Plástico. - Secar la muestra con los aparatos mencionados en la norma. - Se coloca en la placa de vidrio se forman los rollos. - Cuando los rollos, se empiezan a romper en 3.2 mm de diámetro, se lleva la muestra al horno (aprox. 6 g.). - Se pesa la muestra seca. - Calcular y realizar la curva.	- Verificar las condiciones del aparato de casa grande. - Preparar la muestra ya sea por método seco o húmedo, pasante N°40. - Curar la muestra 16 horas. * Límite Líquido. - Colocar la muestra en la copa de Casagrande. - Trazar con el ranurador una grieta. - Girar la manivela para producir los golpes determinados. - Realizar ajustes sucesivos de el w%. - Cuando se cierre la muestra en 13 mm, registrar los golpes y llevar la muestra al horno. - Se pesa la muestra seca. - Calcular y realizar la curva. * Límite Plástico. - Secar la muestra con los aparatos mencionados en la norma. - Se coloca en la placa de vidrio se forman los rollos. - Cuando los rollos, se empiezan a romper en 3.2 mm de diámetro, se lleva la muestra al horno (aprox. 6 g.). - Se pesa la muestra seca. - Calcular y realizar la curva.	- Verificar las condiciones del aparato de casa grande. - Preparar la muestra ya sea por método seco o húmedo, pasante N°40. - Curar la muestra 16 horas. * Límite Líquido. - Colocar la muestra en la copa de Casagrande. - Trazar con el ranurador una grieta. - Girar la manivela para producir los golpes determinados. - Realizar ajustes sucesivos de el w%. - Cuando se cierre la muestra en 13 mm, registrar los golpes y llevar la muestra al horno. - Se pesa la muestra seca. - Calcular y realizar la curva. * Límite Plástico. - Secar la muestra con los aparatos mencionados en la norma. - Se coloca en la placa de vidrio se forman los rollos. - Cuando los rollos, se empiezan a romper en 3.2 mm de diámetro, se lleva la muestra al horno (aprox. 6 g.). - Se pesa la muestra seca. - Calcular y realizar la curva.
Resultado	=	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Las normas NTP 339.129 (Norma Técnica Peruana), MTC E 110-E 111 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM D 4318 (American Society for Testing Materials), muestran el mismo procedimiento de realización del ensayo.



4.4. Determinación de la variación con respecto al análisis y resultados.

4.4.1. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

Tabla 63, Resumen de datos obtenidos en el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

NORMA	NTP 339.127	MTC E108	ASTM D 2216
Contenido de humedad (%)	8.5	8.24	8.23

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El contenido de humedad para NTP 339.127 (Norma Técnica Peruana) fue de 8.5%.
- El contenido de humedad para MTC E 108 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) fue de 8.24%.
- El contenido de humedad para ASTM D 2216 (American Society for Testing Materials) fue de 8.23%.
- Se puede observar que el contenido de humedad para las normas mencionadas varia en 0.27 %, representando un porcentaje bajo o despreciable.

4.4.2. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico

Tabla 64, Resumen de datos obtenidos en el ensayo para el Análisis Granulométrico

TAMICES		NTP 339.128			MTC E107			ASTM D422		
DESIGNACION	ABERTURA (mm)	% retenido 0.01%	% retenido 0.01%	% retenido 0.01%	% retenido 0.01%	% retenido 0.01%	% retenido 0.01%	% retenido 0.01%	% retenido 0.01%	% retenido 0.01%
3"	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2"	37.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/4"	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/8"	9.5	7.76	7.20	7.57	7.84	8.35	7.09	16.85	5.60	7.90
N.º 4	4.75	8.82	10.78	11.72	13.01	11.79	14.34	10.19	9.93	10.85
N.º 8	2.36	7.96	7.55	7.85	5.56	7.44	7.13	6.27	7.79	7.38
N.º 16	1.18	8.53	9.92	8.38	7.94	7.51	8.53	7.36	9.79	8.95
N.º 30	0.6	10.38	10.03	9.08	8.90	8.53	9.19	8.83	9.85	9.74
N.º 50	0.3	13.89	13.85	13.25	13.31	13.24	13.46	11.75	14.01	13.27
Nº100	0.15	14.96	15.55	15.55	16.11	16.24	15.78	13.25	16.08	15.55
N.º 200	0.075	14.45	12.05	12.67	13.17	13.35	12.29	13.02	12.81	12.36
FONDO		13.25	13.08	13.92	14.18	13.55	12.19	12.48	14.15	14.00
% GRAVA		16.58	17.98	19.29	20.85	20.14	21.43	27.04	15.53	18.76
% ARENA		70.17	68.95	66.79	64.98	66.31	66.38	60.48	70.32	67.25
% FINO		13.25	13.08	13.92	14.18	13.55	12.19	12.48	14.15	14.00
% PROMEDIO GRAVA		17.95			20.81			20.44		
% PROMEDIO ARENA		68.63			65.89			66.02		
% PROMEDIO FINO		13.42			13.30			13.54		
TIPO DE SUELO		SM			SM			SM		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65, Variación de resultados del análisis granulométrico

	NTP VS MTC	NTP VS ASTM	MTC VS ASTM
VARIACIÓN DE % DE GRAVAS	2.86	2.49	0.37
VARIACIÓN DE % DE ARENAS	2.75	2.62	0.13
VARIACIÓN DE % DE FINOS	0.11	0.13	0.24

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El porcentaje promedio de gravas para NTP 339.128 (Norma Técnica Peruana) fue de 17.95 %.
- El porcentaje promedio de arenas para NTP 339.128 (Norma Técnica Peruana) fue de 68.63%.
- El porcentaje promedio de finos para NTP 339.128 (Norma Técnica Peruana) fue de 13.42%.
- El porcentaje promedio de gravas para MTC E 107 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) fue de 20.81 %.
- El porcentaje promedio de arenas para MTC E 107 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) fue de 65.89 %.
- El porcentaje promedio de finos para MTC E 107 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) fue de 13.30 %.
- El porcentaje promedio de gravas para ASTM D 422 (American Society for Testing Materials) fue de 20.44 %.
- El porcentaje promedio de arenas para ASTM D 422 (American Society for Testing Materials) fue de 66.02 %.
- El porcentaje promedio de finos para ASTM D 422 7 (American Society for Testing Materials) fue de 13.54 %.

- El porcentaje promedio de gravas para NTP 339.128 (Norma Técnica Peruana) varia en 2.86 % respecto a MTC E 107 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y 2.49 % respecto a ASTM D 422 (American Society for Testing Materials), mientras que la variación de porcentajes obtenidos para MTC E 107 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 422 (American Society for Testing Materials) varia en 0.37%.
- El porcentaje promedio de arenas para NTP 339.128 (Norma Técnica Peruana) varia en 2.75 % respecto a MTC E 107 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y 2.62 % respecto a ASTM D 422 (American Society for Testing Materials), mientras que la variación de porcentajes obtenidos para MTC E 107 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 422 (American Society for Testing Materials) varia en 0.13%.
- El porcentaje promedio de fino para NTP 339.128 (Norma Técnica Peruana) varia en 0.11 % respecto a MTC E 107 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y 0.13 % respecto a ASTM D 422 (American Society for Testing Materials), mientras que la variación de porcentajes obtenidos para MTC E 107 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 422 (American Society for Testing Materials) varia en 0.24%.

4.4.3. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo

Tabla 66, Resumen de datos obtenidos en el ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo

NORMA	NTP 339.131	MTC E-113	ASTM D854
Gravedad específica promedio (Tx/20°C)	2.71	2.82	2.82
RESULTADO	≠	=	=

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- La gravedad específica para NTP 339.131 (Norma Técnica Peruana) fue de 2.71.
- La gravedad específica para MTC E 113 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 854 (American Society for Testing Materials) fue de 2.82.
- La variación de las gravedades específicas obtenidas varían en 0.11.

4.4.4. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)

Tabla 67, Resumen de datos obtenidos en el ensayo para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería
(sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)

NORMA	NTP 339.134	ASTM D2487
% Gravas	21.33	21.20
% Arenas	64.92	64.54
% Finos	13.75	14.26
Descripción de la muestra	Arena limosa con grava	Arena limosa con grava
Cod. Muestra	SM	SM

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- La descripción de la muestra tanto para NTP 339.134 (Norma Técnica Peruana) y ASTM D2487 (American Society for Testing Materials) fue de arena limosa con grava (SM).
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) referencia a la norma NTP 339.134.

4.4.5. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.

Tabla 68, Resumen de datos obtenidos en el ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.

NORMA	NTP 339.141			MTC E115			ASTM D1557		
γ_d lbf/pie ³	125.4	122.8	120.4	122.1	124.2	123	124.3	125	120.6
ω_0 (%)	8.7	10.8	9.5	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	10.4
γ_d Promedio	122.9			123.1			123.3		
ω_0 Promedio	9.7			9.1			9.5		
COMPARACIÓN	NTP VS MTC			NTP VS ASTM			MTC VS ASTM		
Variación γ_d	0.2			0.4			0.2		
Variación ω_0	0.6			0.1			0.4		

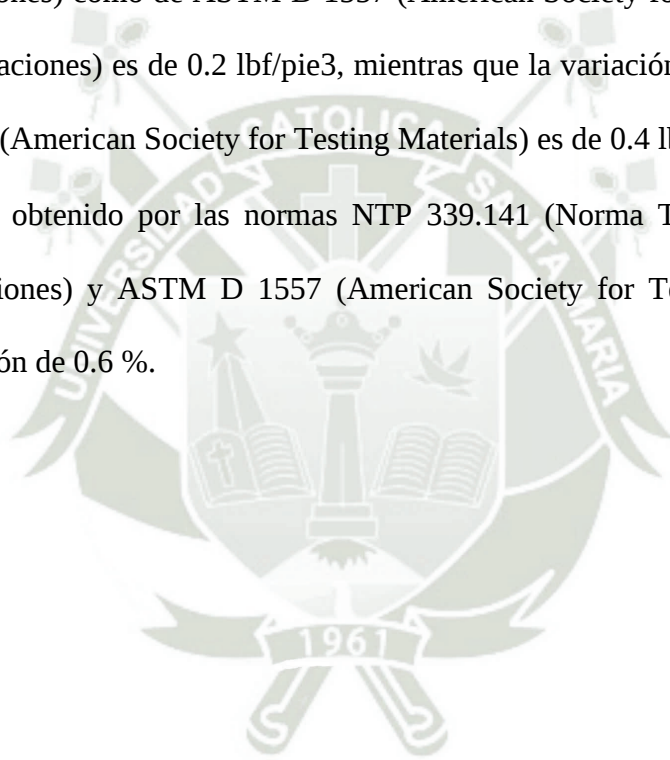
Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El peso unitario óptimo para NTP 339.141 (Norma Técnica Peruana) es de 122.9 lbf /pie³.
- El contenido de humedad óptimo para NTP 339.141 (Norma Técnica Peruana) es de 9.7 %.
- El peso unitario óptimo para MTC E 115 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) es de 123.1 lbf /pie³.
- El contenido de humedad óptimo para MTC E 115 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) es de 9.1 %.
- El peso unitario óptimo para ASTM D 1557 (American Society for Testing Materials) es de 123.9 lbf /pie³.

- El contenido de humedad óptimo para ASTM D 1557 (American Society for Testing Materials) es de 9.5 %.
- La variación de pesos unitarios obtenidos por las normas NTP 339.141 (Norma Técnica Peruana) y MTC E 115 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) como de ASTM D 1557 (American Society for Testing Materials) y MTC E 115 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) es de 0.2 lbf/pie³, mientras que la variación obtenida entre NTP 339.141 (Norma Técnica Peruana) y ASTM D 1557 (American Society for Testing Materials) es de 0.4 lbf/pie³.
- El contenido de humedad obtenido por las normas NTP 339.141 (Norma Técnica Peruana), MTC E 115 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 1557 (American Society for Testing Materials) varía entre 9.1 % y 9.7 %, representando una dispersión de 0.6 %.



4.4.6. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena

Tabla 69, Resumen de datos obtenidos en el ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena

NORMA	NTP 339.143	MTC E 117	ASTM D1556
Densidad húmeda / Peso unitario húmedo del material probado. (g/cm ³)	1.88	1.88	1.88
Densidad seca / Peso unitario seco del material probado. (g/cm ³)	1.79	1.79	1.79
RESULTADOS	=	=	=

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- La densidad húmeda para las normas NTP 339.143(Norma Técnica Peruana), MTC E 117 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 1556 (American Society for Testing Materials) es 1.88 g/cm³.
- La densidad seca para las normas NTP 339.143(Norma Técnica Peruana), MTC E 117 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 1556 (American Society for Testing Materials) es 1.88 g/cm³.

4.4.7. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

Tabla 70, Resumen de datos obtenidos en el ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

RESULTADOS	NORMA		
	NTP 339.129	MTC E 110 y E 111	ASTM D 4318
LÍMITE LÍQUIDO	-	-	-
LÍMITE PLÁSTICO	NP	NP	NP
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	NP	NP	NP
GRADO DE PLASTICIDAD	NO PLÁSTICO	NO PLÁSTICO	NO PLÁSTICO

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- Para las normas NTP 339.129 (Norma Técnica Peruana), MTC E 110 – E 111 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones), ASTM D 4318 (American Society for Testing Materials) el suelo se caracterizó como no plástico.

NOTA: Debido a que el suelo ensayado no cuenta con cohesión, se ha decidido tomar una muestra representativa de suelo cohesivo para realizar la comparación debida de las normas NTP (Norma Técnica Peruana), MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM (American Society for Testing Materials).

Tabla 71, Resumen de datos obtenidos en el ensayo para determinar el limite líquido, limite plástico, e índice de plasticidad de suelos

RESULTADOS	NORMAS		
	NTP 330.129	MTC E 110 y E 111	ASTM D 4318
LÍMITE LÍQUIDO	29.4	28.2	28.2
LÍMITE PLÁSTICO	19.0	19.0	18.7
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	10.4	9.2	9.5
CLASIFICACIÓN DE SUELO FINO	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD

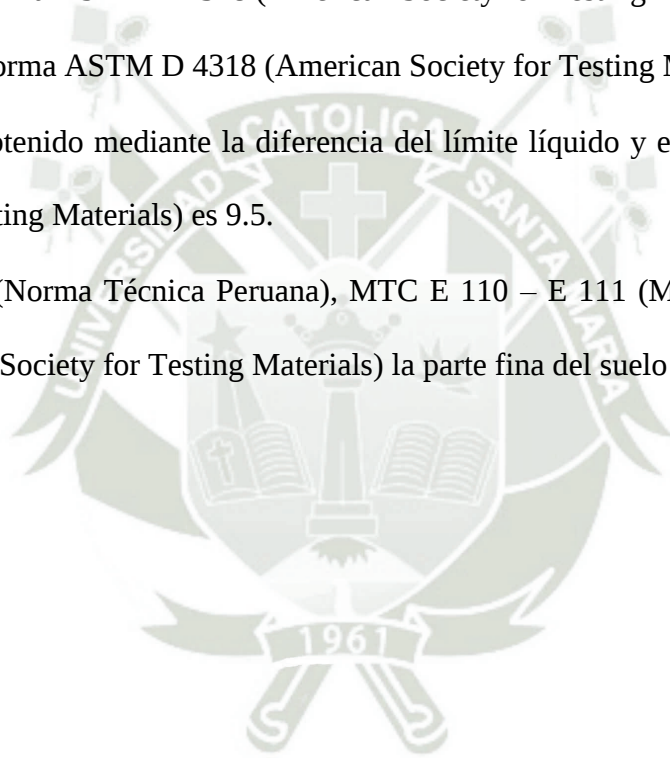
Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos

A partir de la tabla anterior se observa que:

- El límite líquido para la norma NTP 339.129 (Norma Técnica Peruana) es 29.4.
- El límite plástico para la norma NTP 339.129 (Norma Técnica Peruana) es 19.0.
- El índice de plasticidad obtenido mediante la diferencia del límite líquido y el límite plástico para la norma NTP 339.129 (Norma Técnica Peruana) es 10.4.
- El límite líquido para la norma MTC E 110 y E 111 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) es 28.2.
- El límite plástico para la norma MTC E 110 y E 111 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) es 19.0.

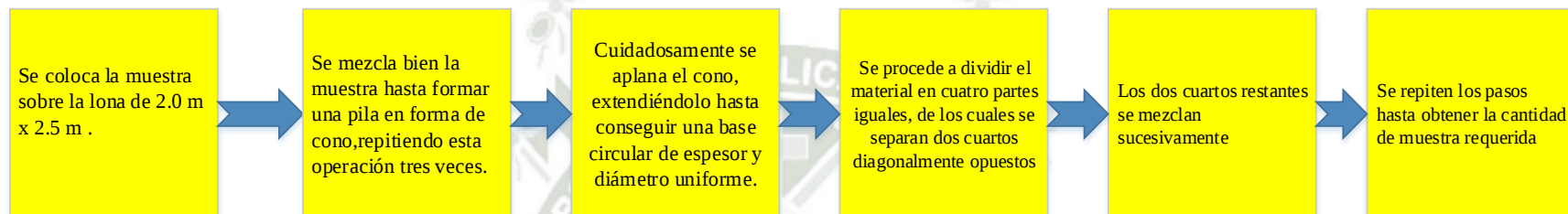
- El índice de plasticidad obtenido mediante la diferencia del límite líquido y el límite plástico para la norma MTC E 110 y E 111 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) es 9.2.
- El límite líquido para la norma ASTM D 4318 (American Society for Testing Materials) es 28.2.
- El límite plástico para la norma ASTM D 4318 (American Society for Testing Materials) es 18.7.
- El índice de plasticidad obtenido mediante la diferencia del límite líquido y el límite plástico para la norma ASTM D 4318 (American Society for Testing Materials) es 9.5.
- Tanto para NTP 339.129 (Norma Técnica Peruana), MTC E 110 – E 111 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y ASTM D 4318 (American Society for Testing Materials) la parte fina del suelo se caracterizó como arcilla de baja plasticidad.



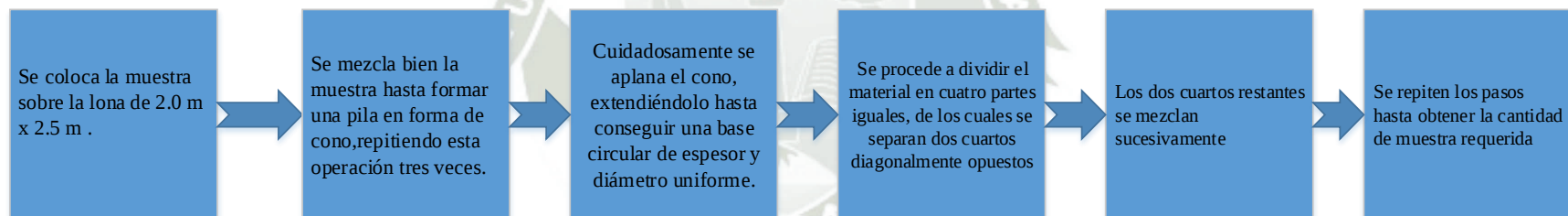
4.5. Diagramas de flujo de procesos de cada ensayo

4.5.1. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo

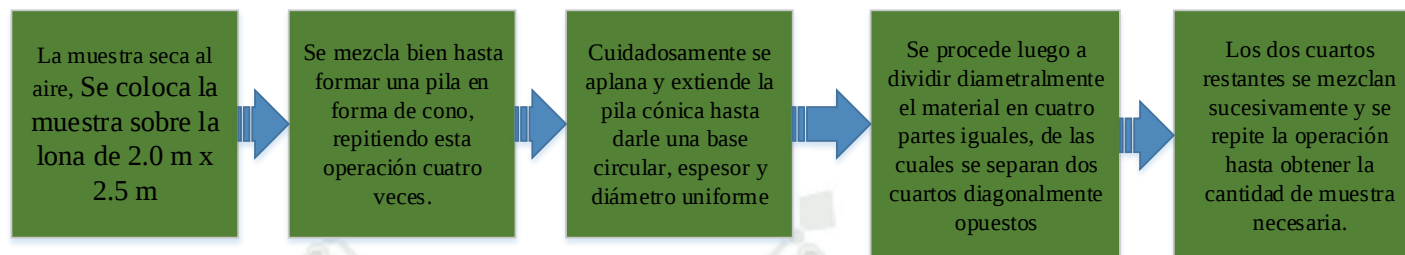
4.5.1.1. Norma Técnica Peruana 339.126



4.5.1.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 103

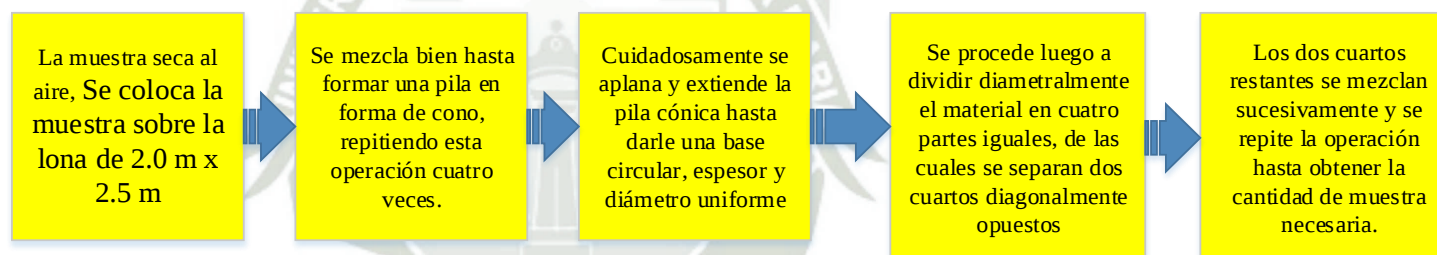


4.5.1.3. American Society for Testing Materials C 702

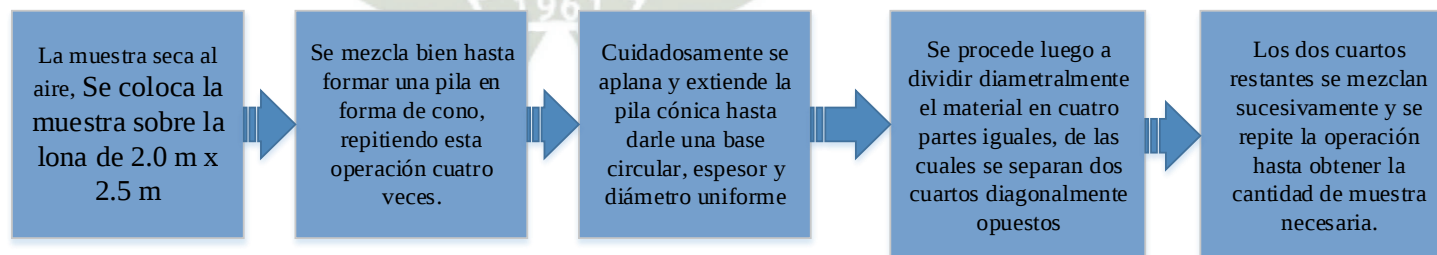


4.5.2. Obtención en laboratorios de muestras representativas

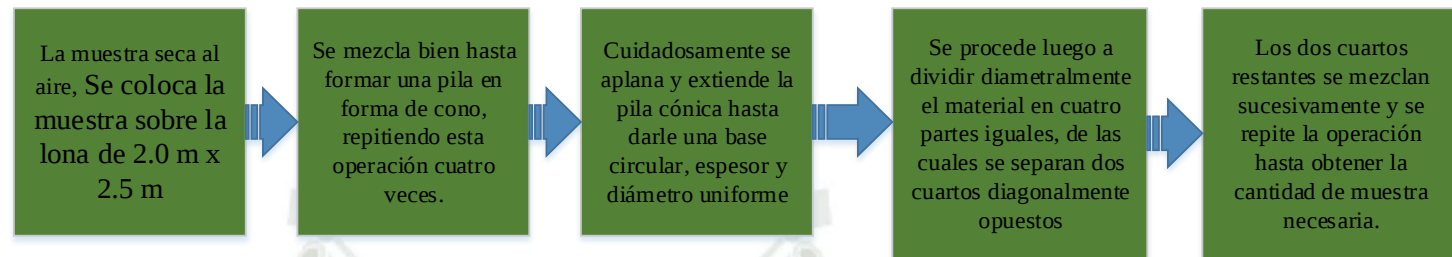
4.5.2.1. Norma Técnica Peruana 339.089



4.5.2.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 105

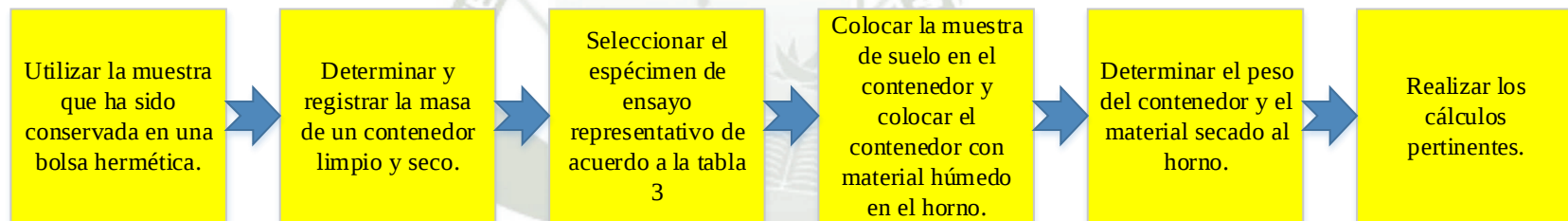


4.5.2.3. American Society for Testing Materials C 702

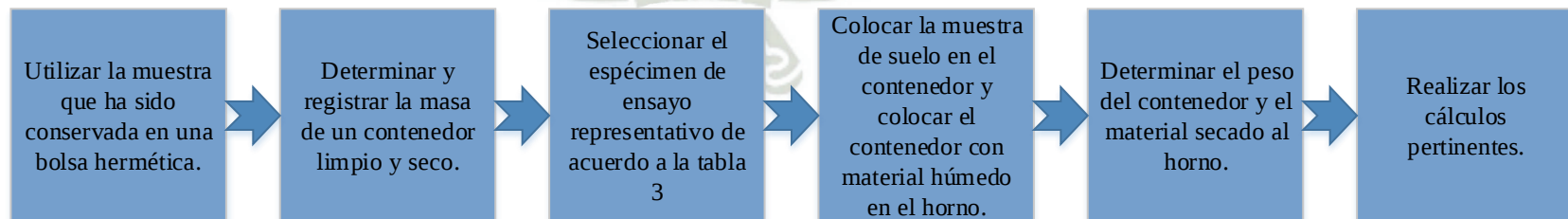


4.5.3. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

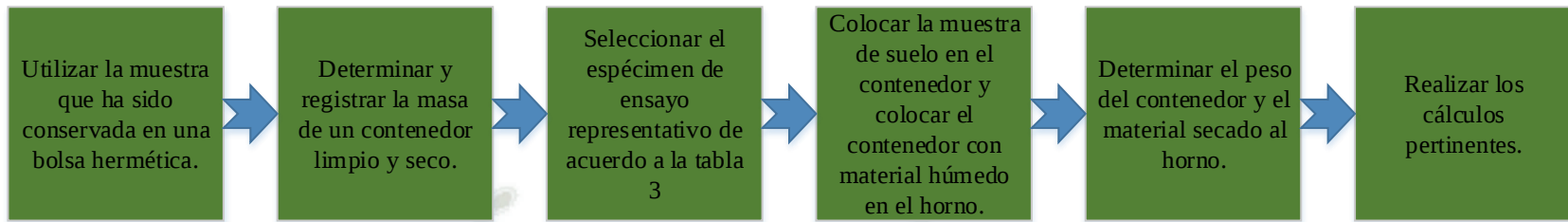
4.5.3.1. Norma Técnica Peruana 339.127



4.5.3.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E108

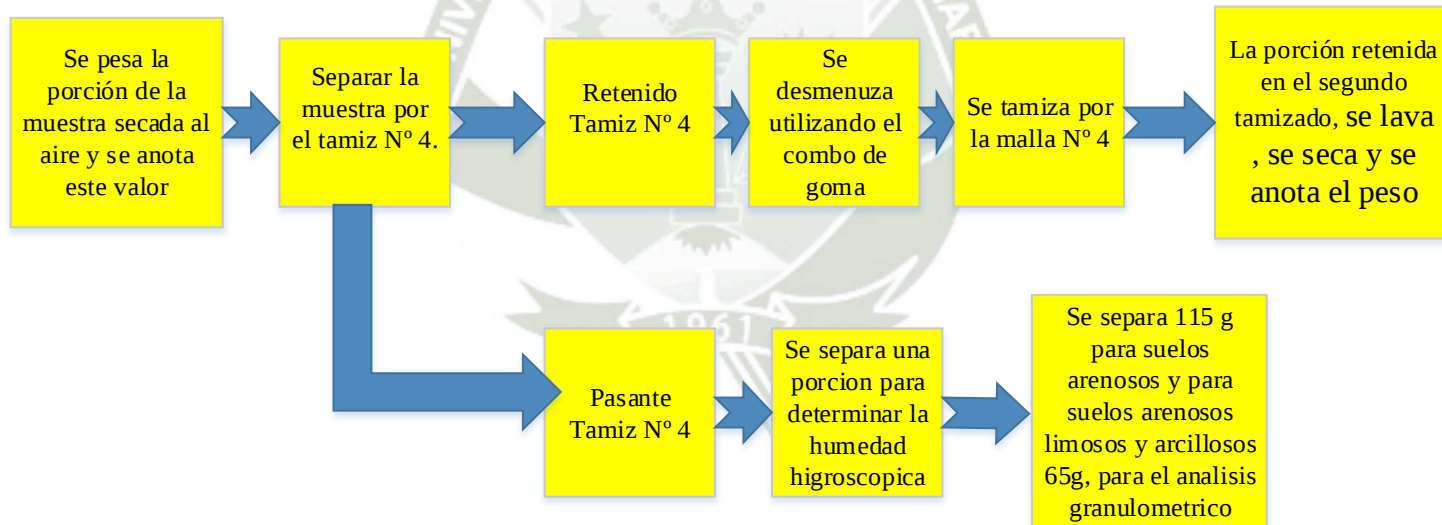


4.5.3.3. American Society for Testing Materials D 2216

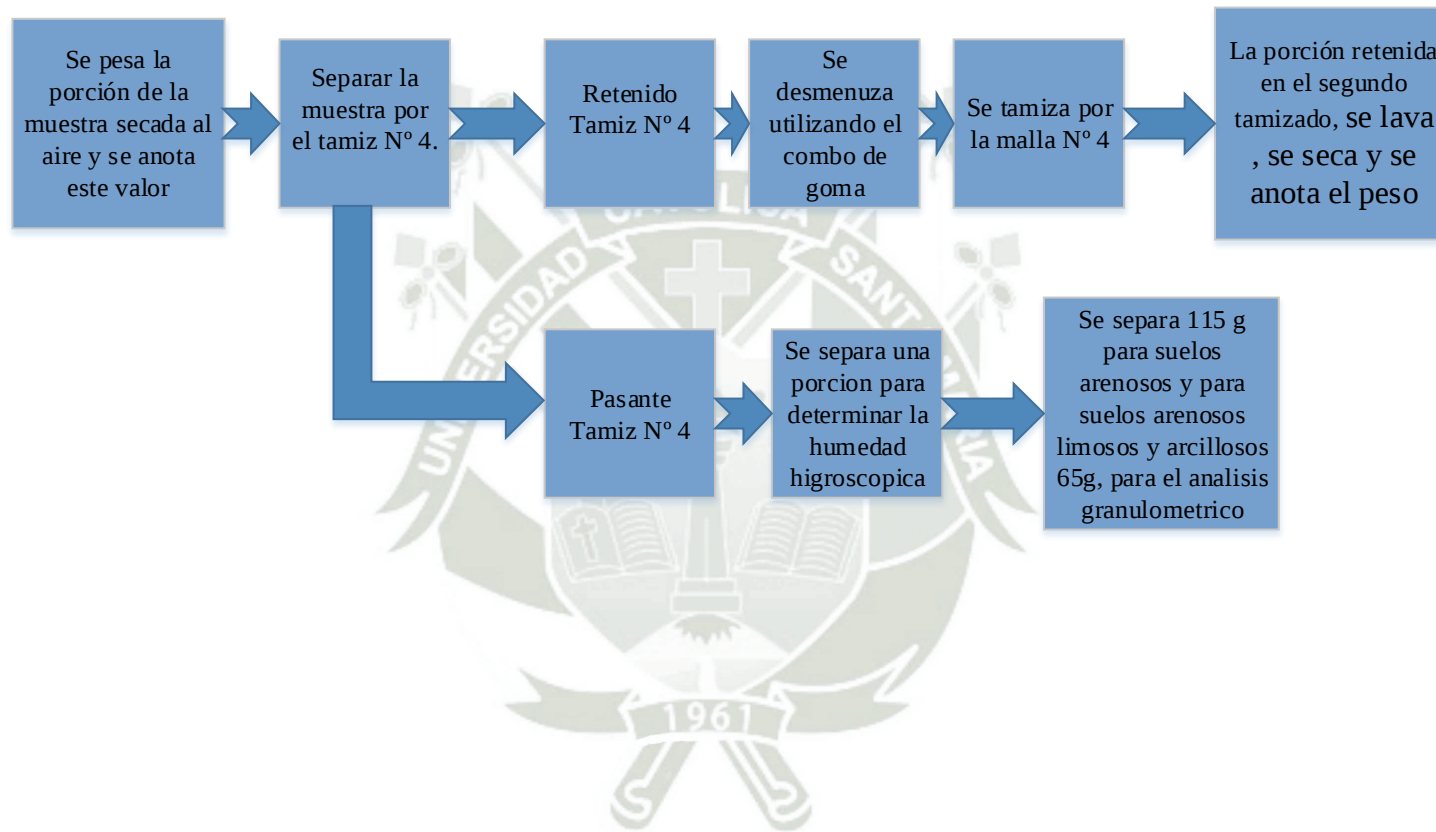


4.5.4. Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo

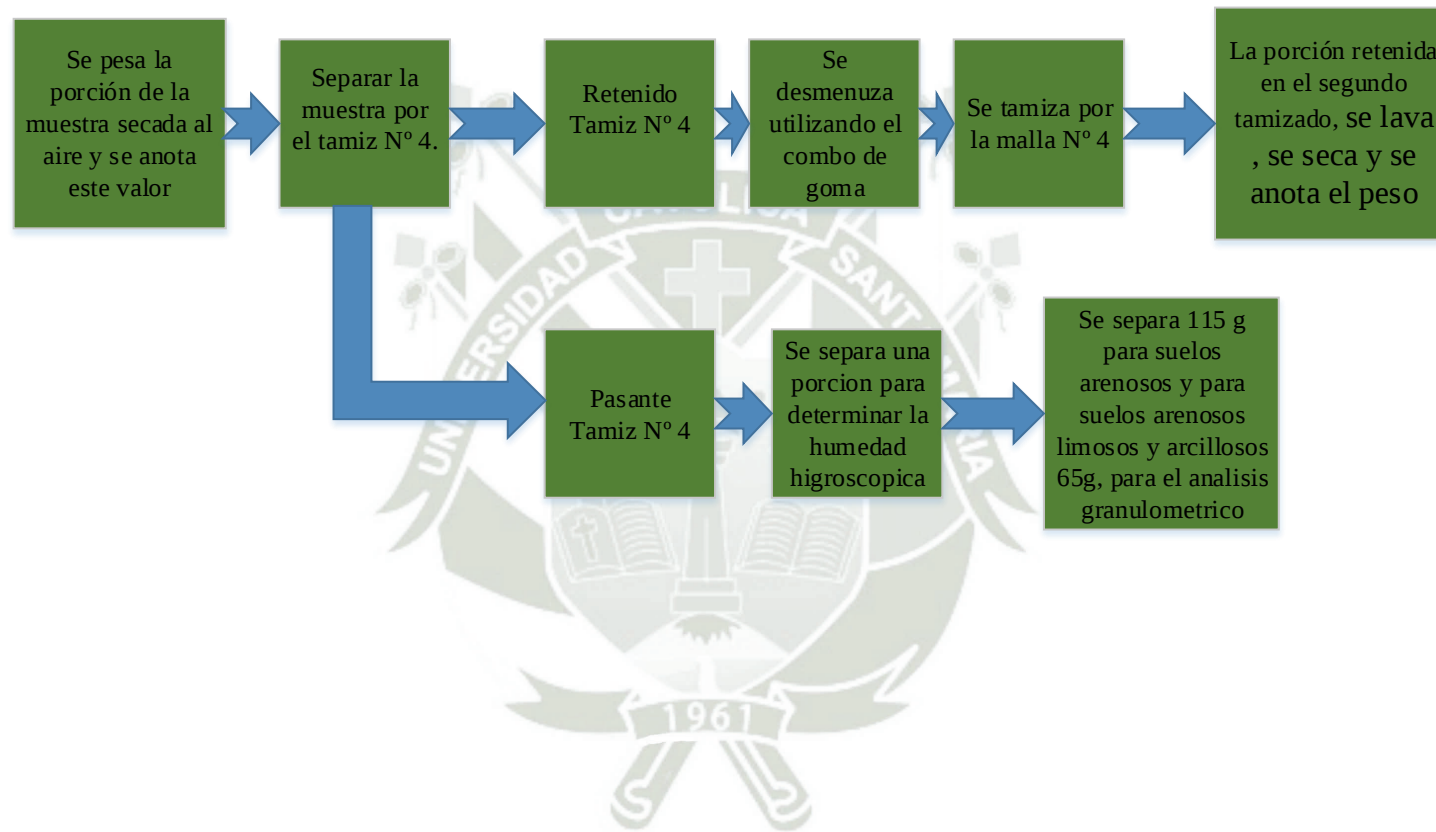
4.5.4.1. Norma Técnica Peruana 339.090



4.5.4.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 106

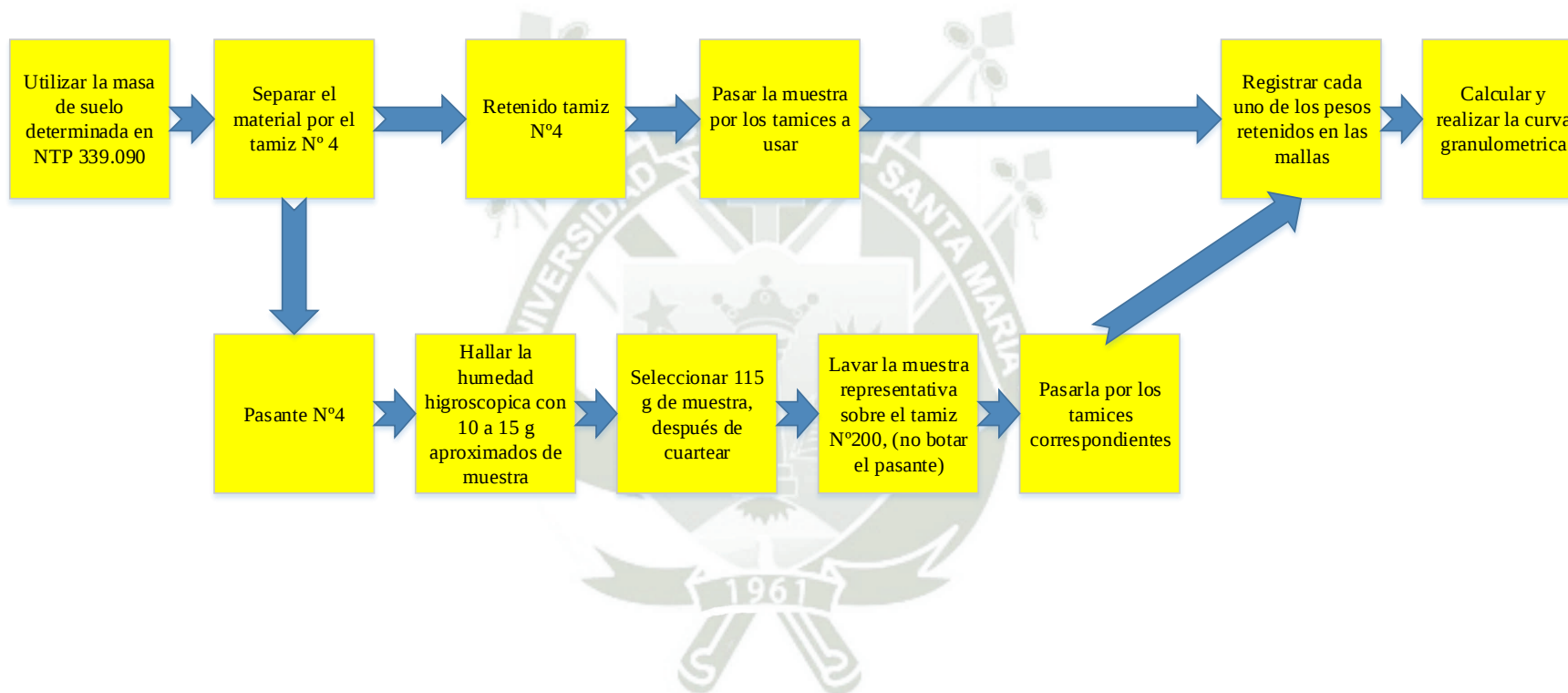


4.5.4.3. American Society for Testing Materials D 421

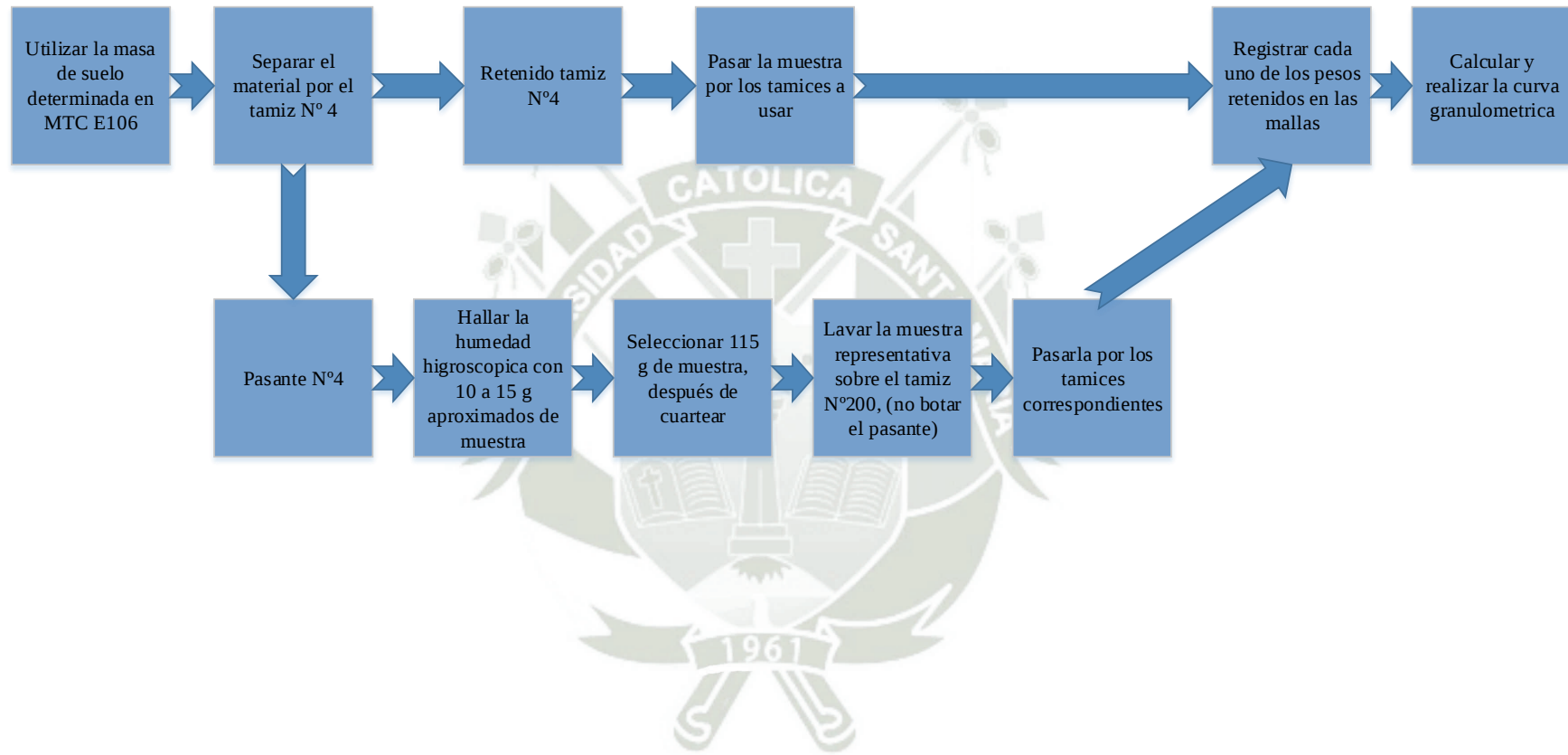


4.5.5. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico

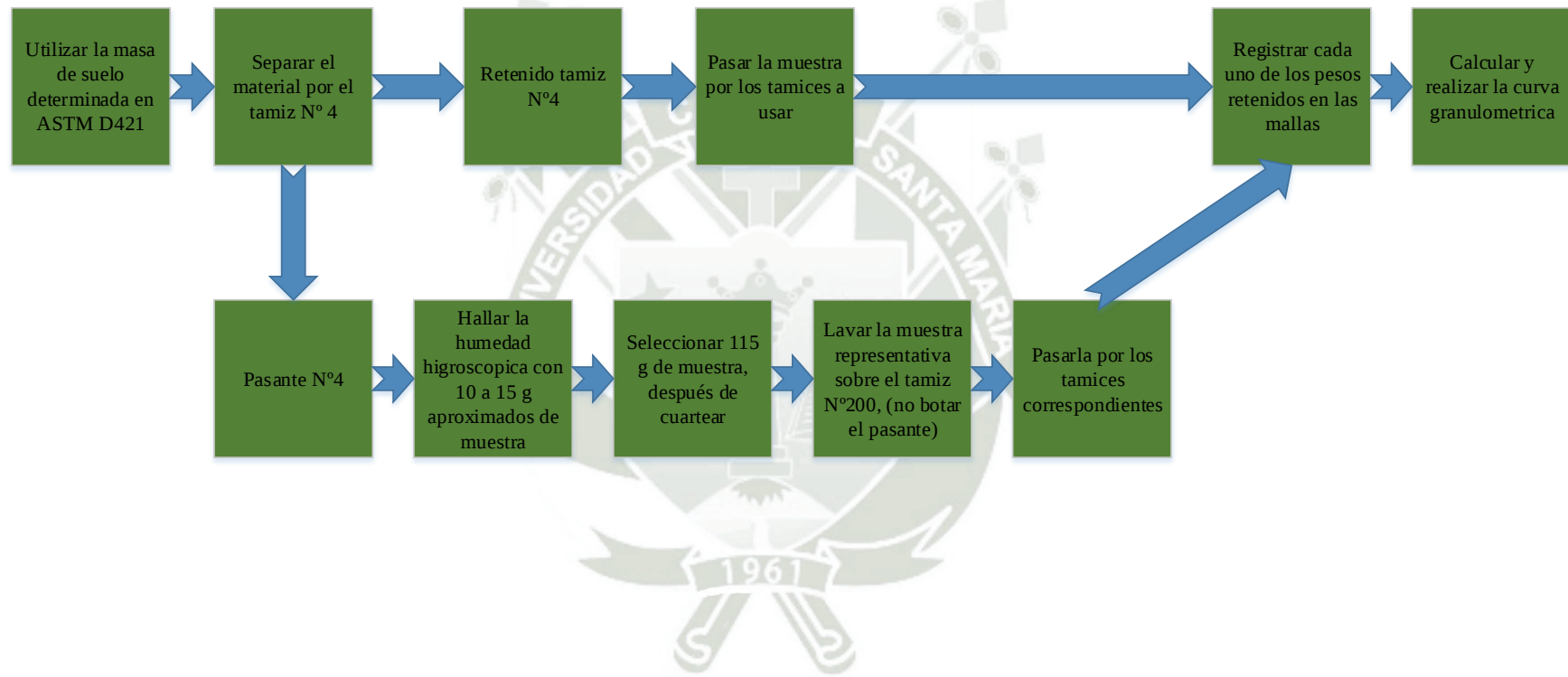
4.5.5.1. Norma Técnica Peruana 339.128



4.5.5.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 107

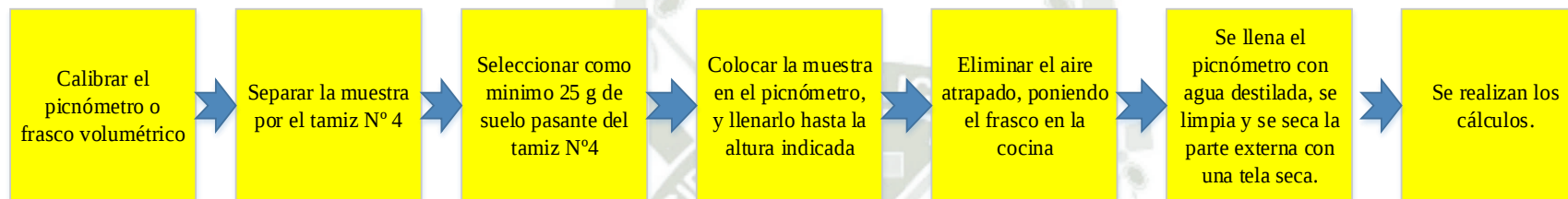


4.5.5.3. American Society for Testing Materials D422

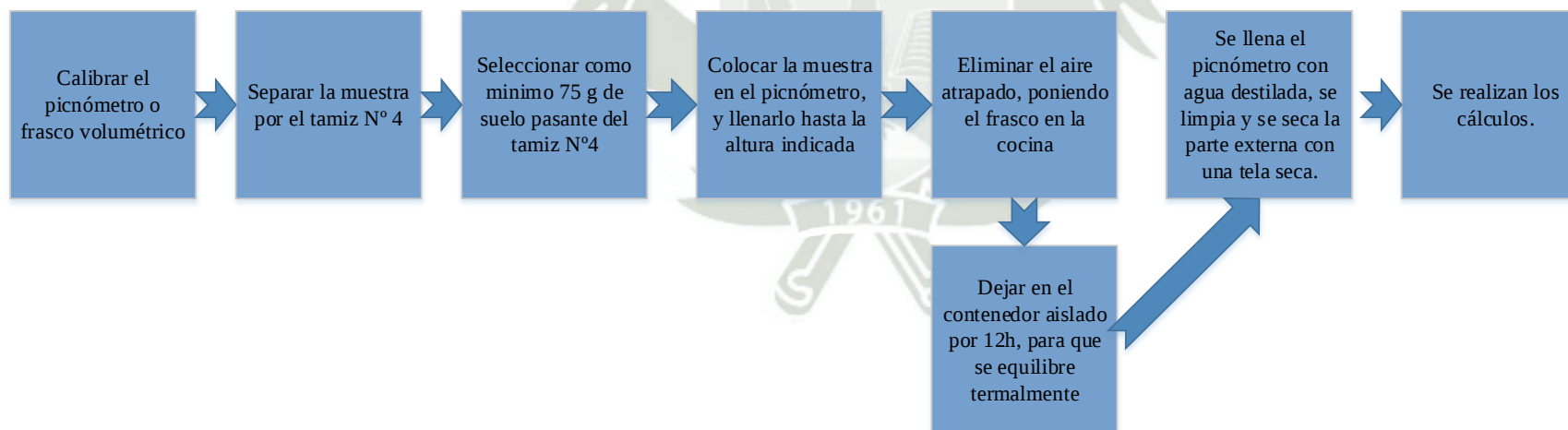


4.5.6. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo

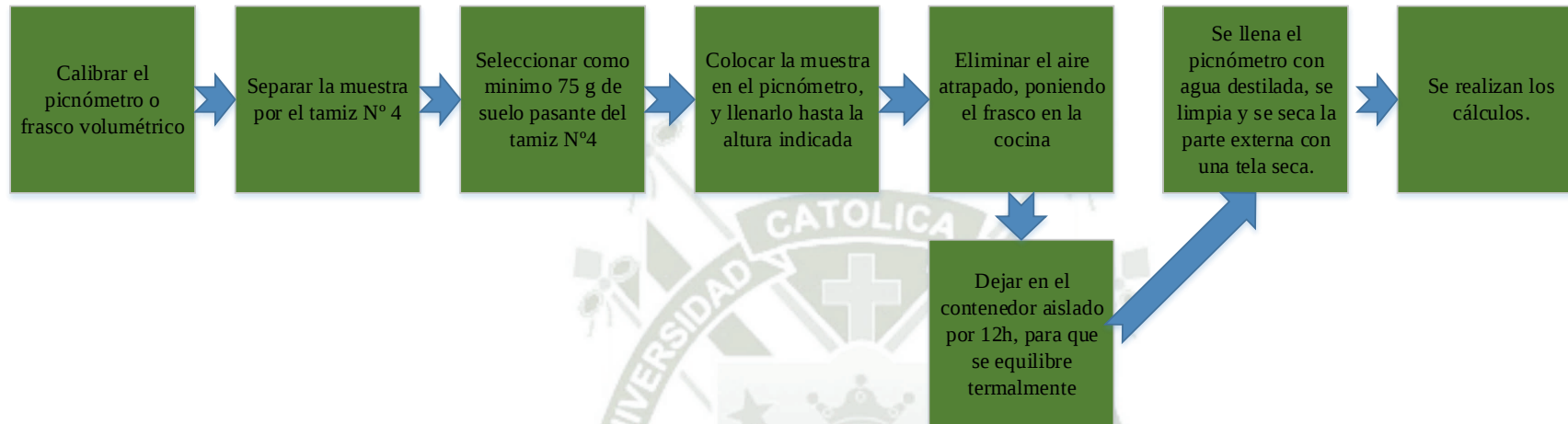
4.5.6.1. Norma Técnica Peruana 339.131



4.5.6.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 113

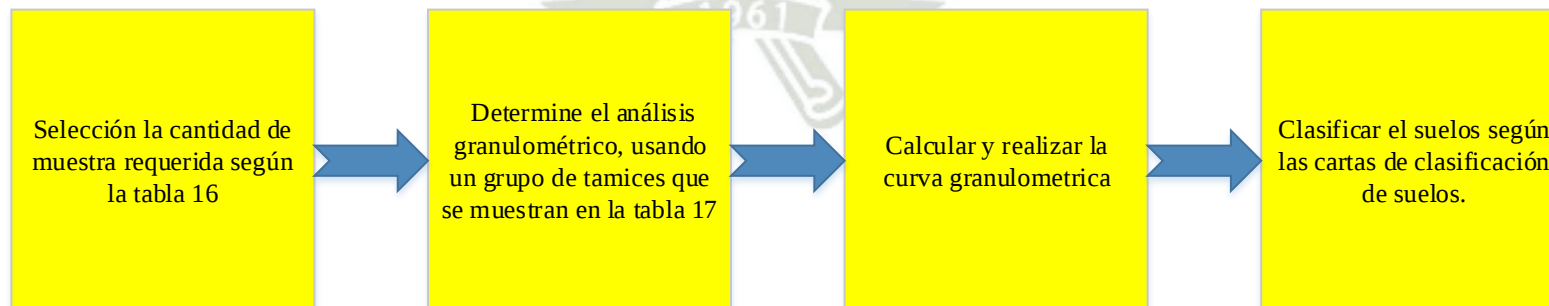


4.5.6.3. American Society for Testing Materials D 854

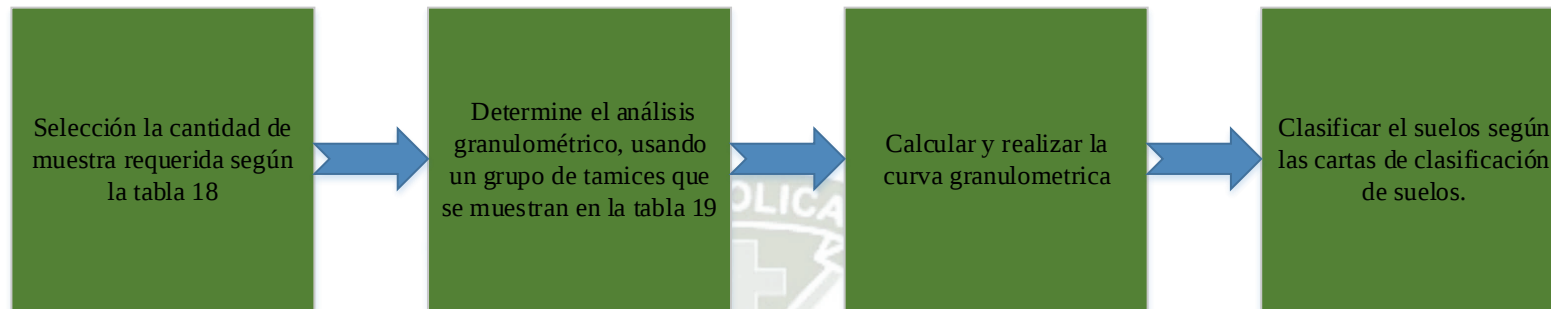


4.5.7. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)

4.5.7.1. Norma Técnica Peruana 339.134

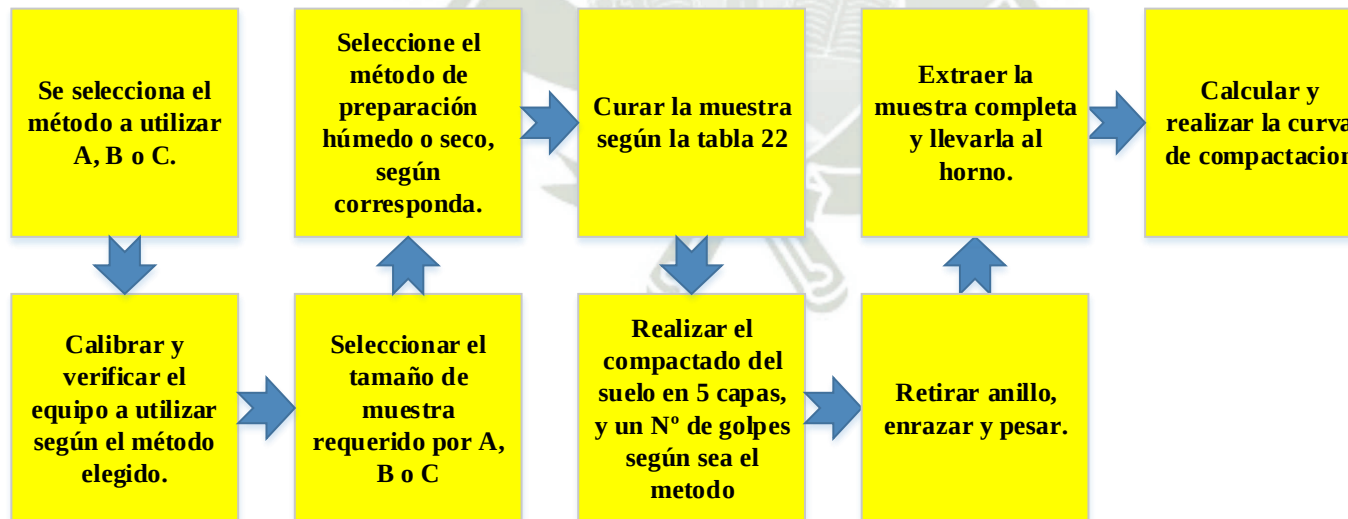


4.5.7.2. American Society for Testing Materials D 2487

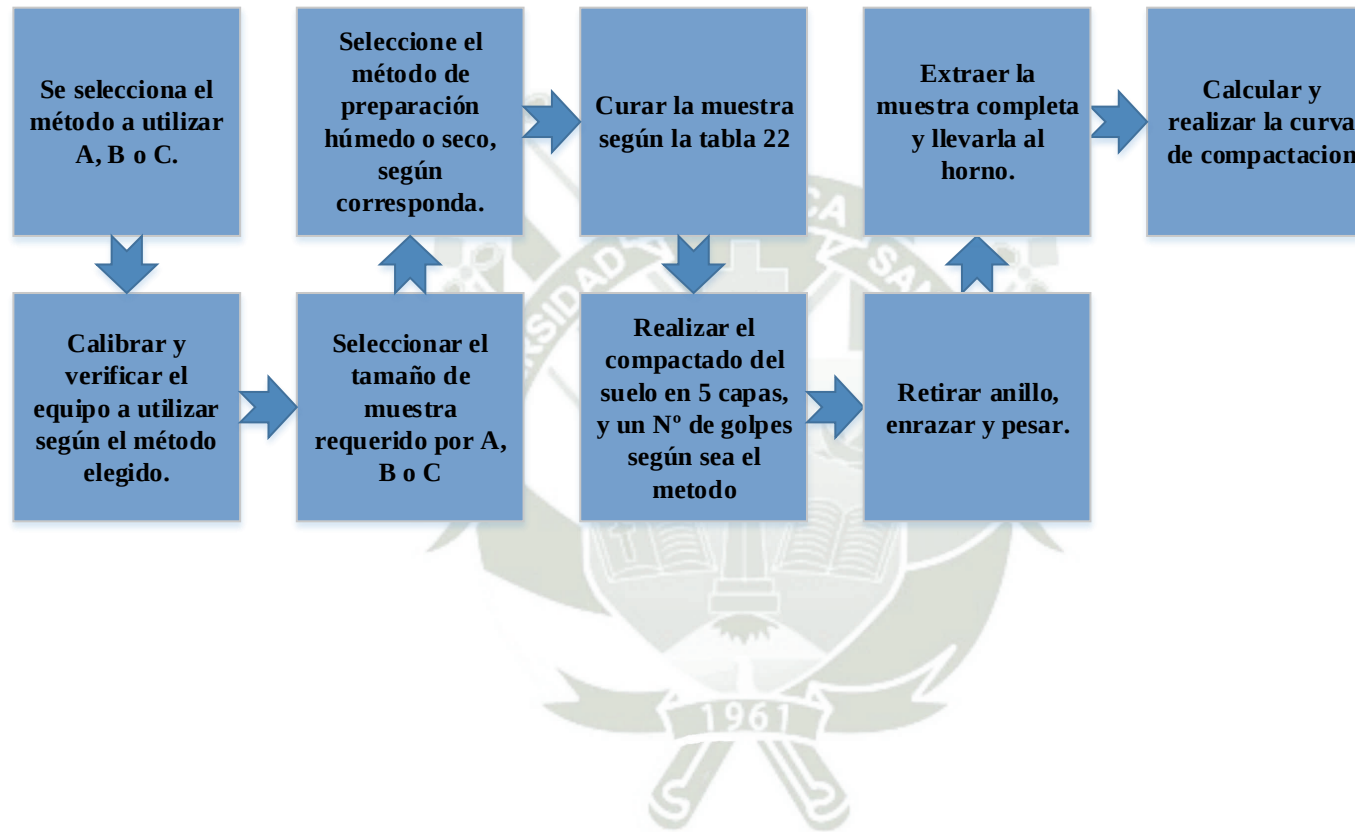


4.5.8. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.

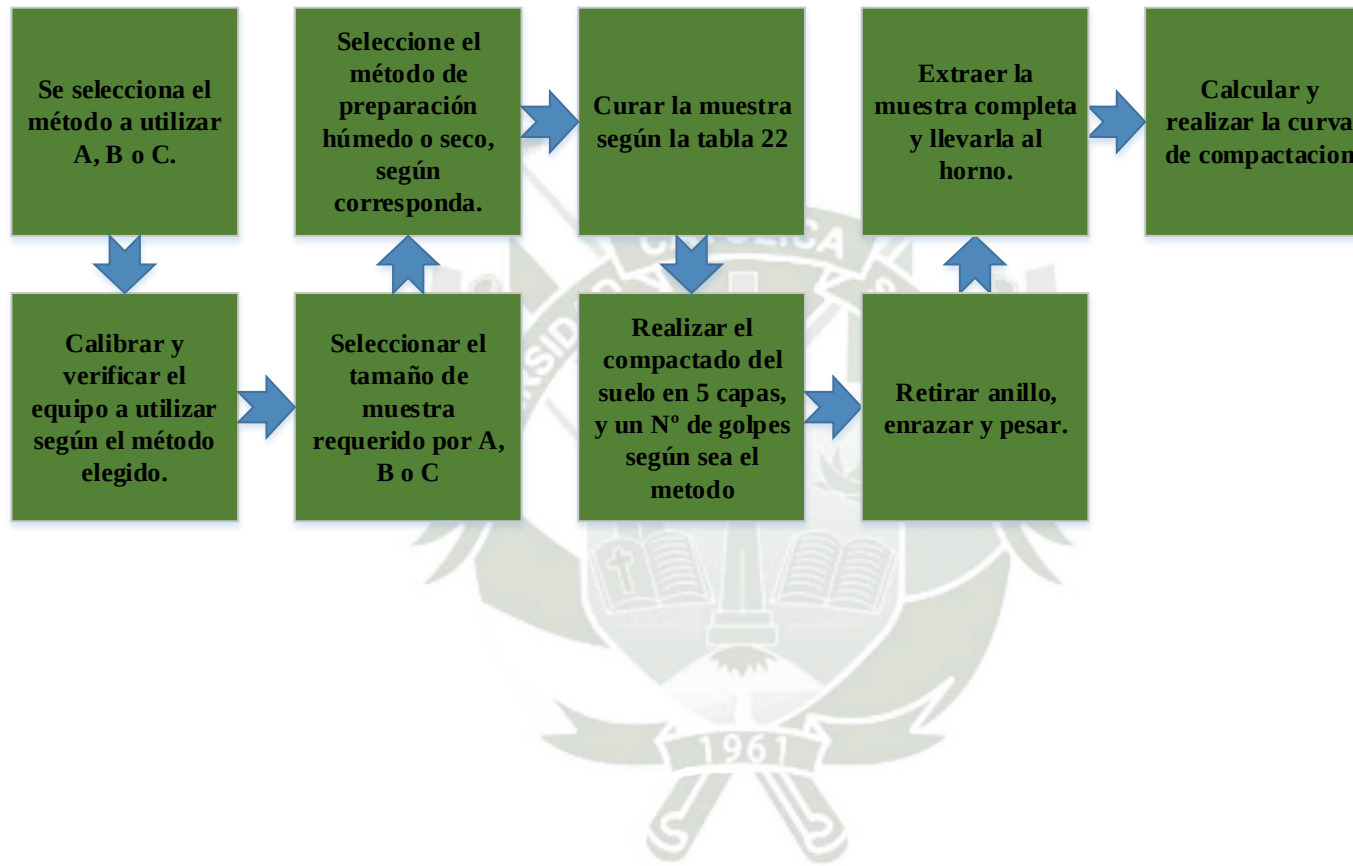
4.5.8.1. Norma Técnica Peruana 339.141



4.5.8.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 115

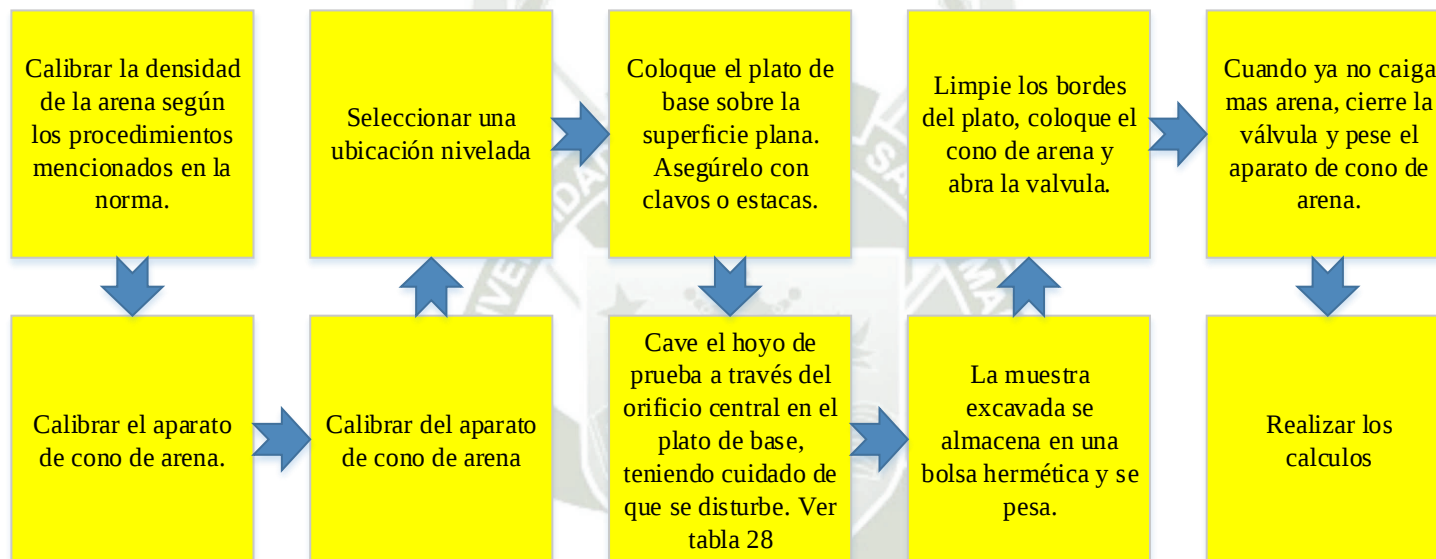


4.5.8.3. American Society for Testing Materials D 1557

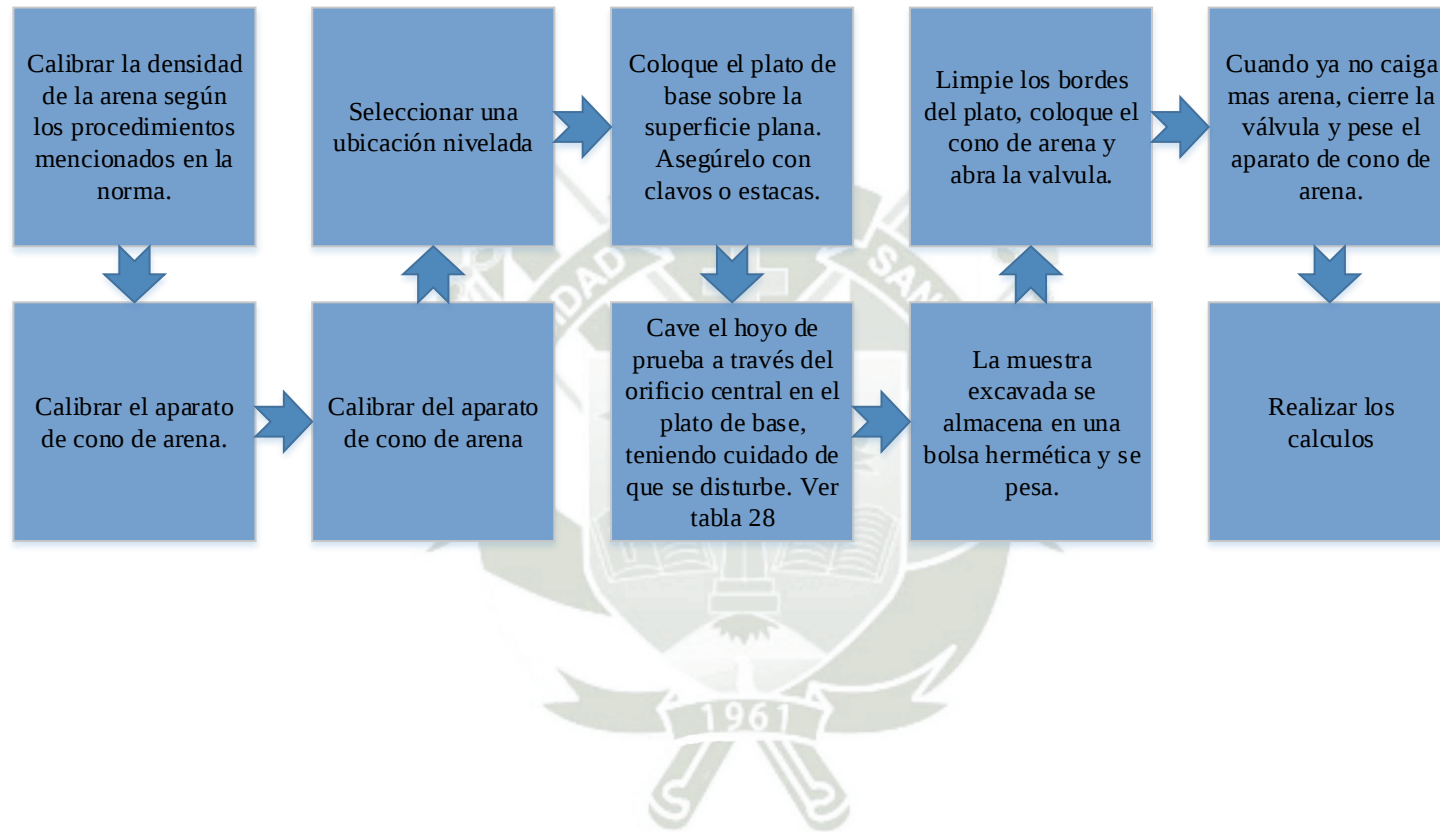


4.5.9. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena

4.5.9.1. Norma Técnica Peruana 339.143



4.5.9.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 117

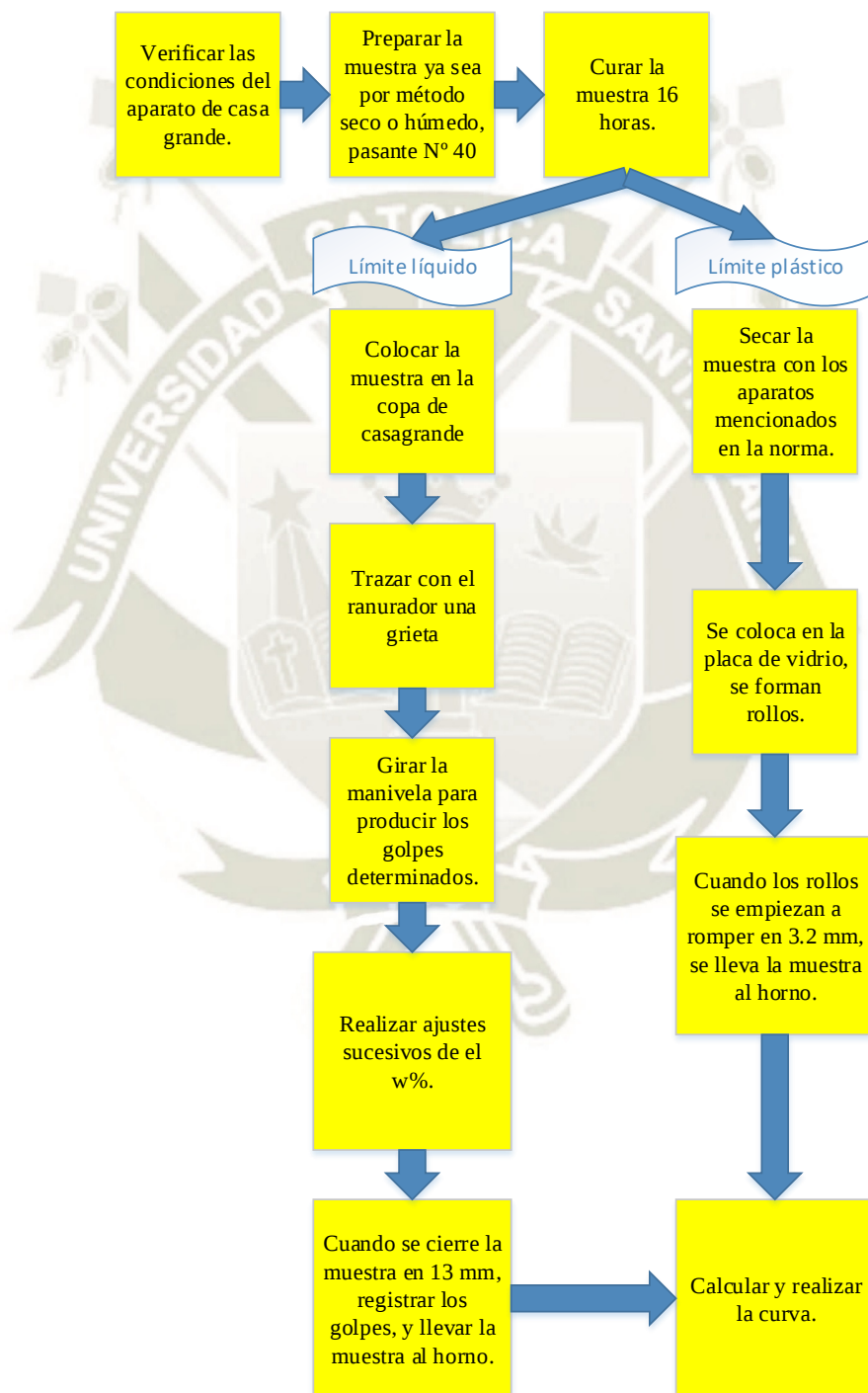


4.5.9.3. American Society for Testing Materials D 1556

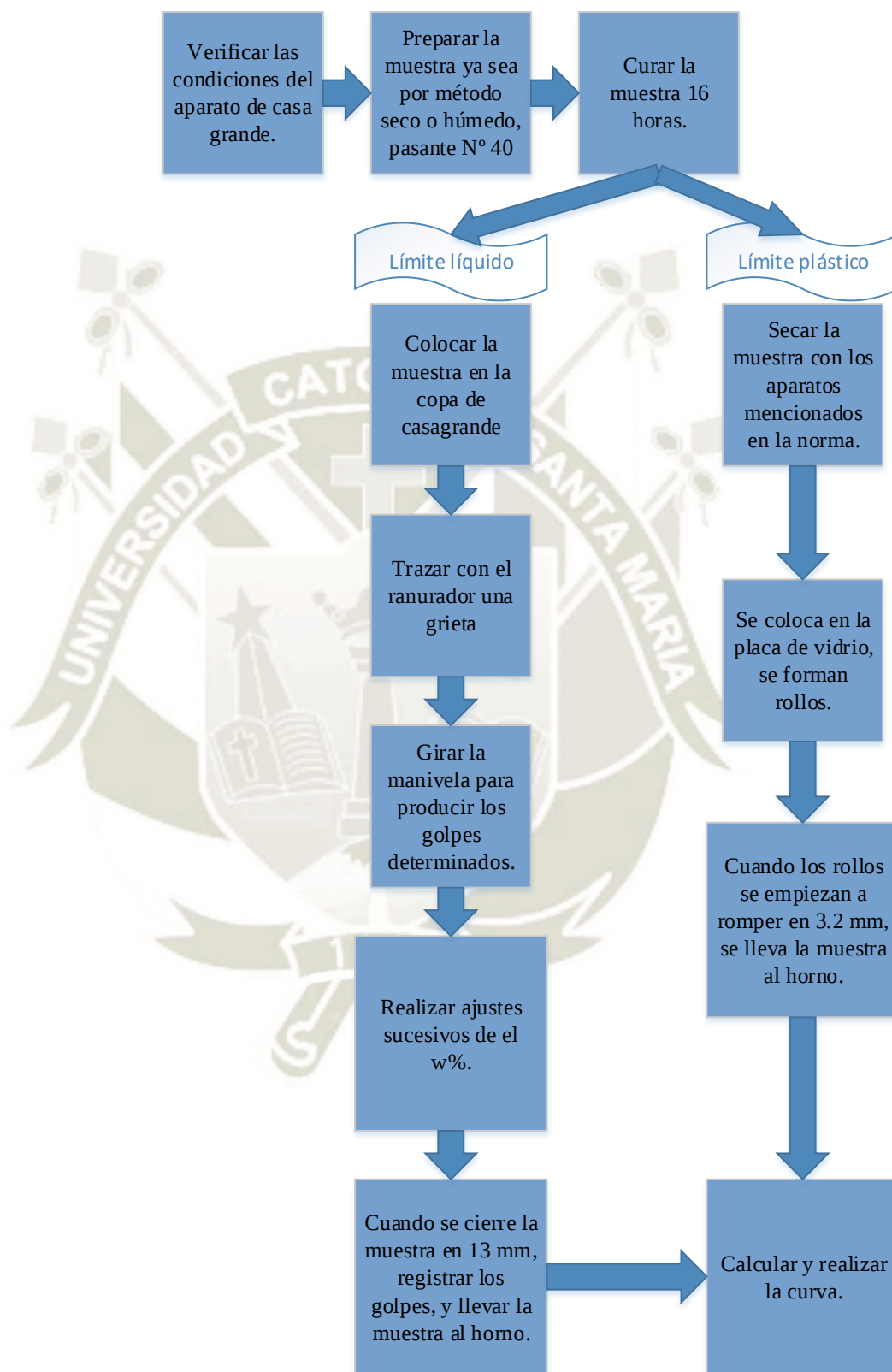


4.5.10. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

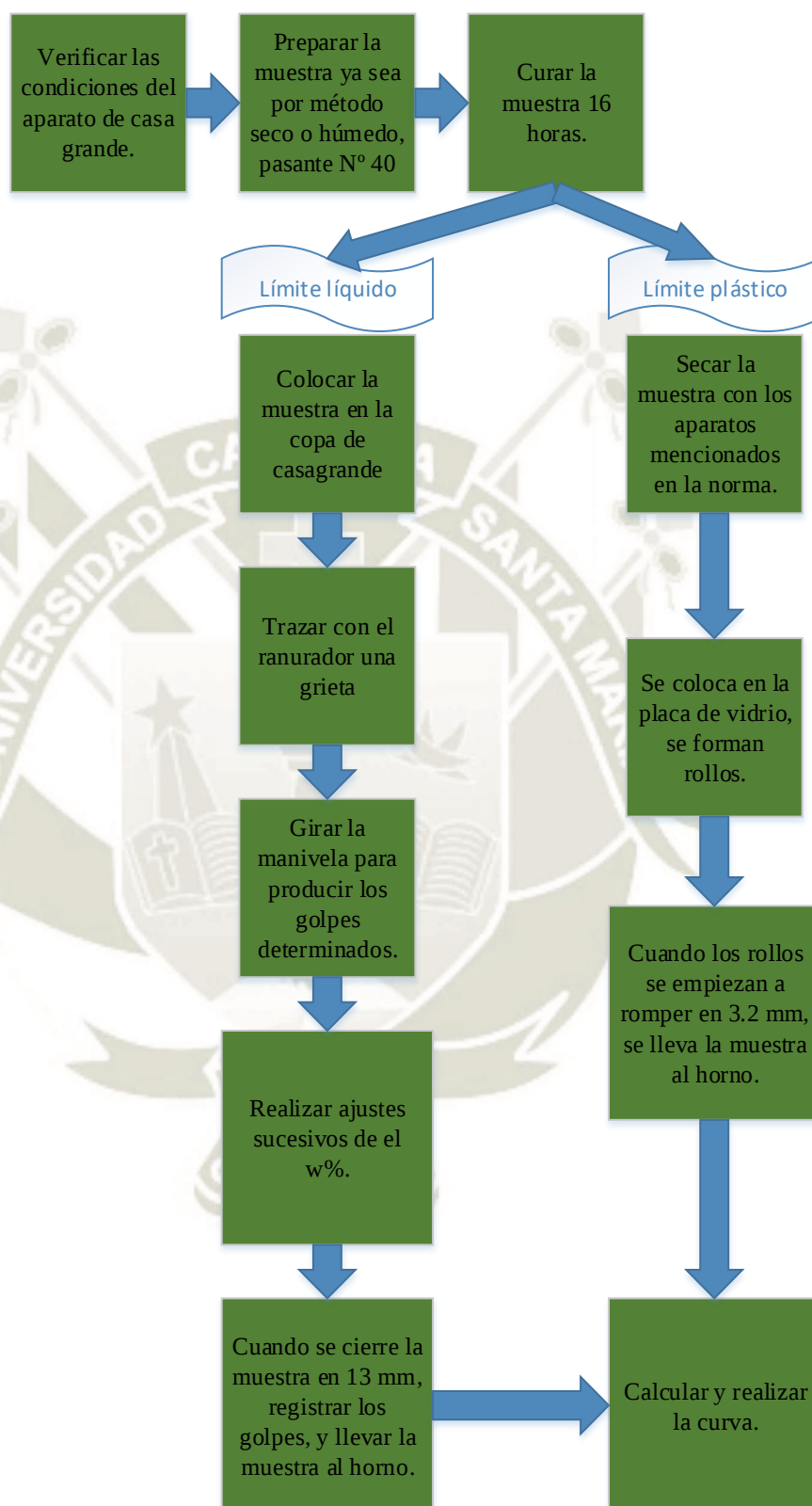
4.5.10.1. Norma Técnica Peruana 339.129



4.5.10.2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones E 110-E111



4.5.10.3. American Society for Testing Materials D 4318



CAPÍTULO V.
5. CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. Después de haber analizado y realizado los distintos ensayos presentes en esta investigación para las normas NTP (Norma Técnica Peruana), MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM (American Society for Testing Materials), se concluye que la única diferencia significativa con respecto al uso de aparatos y/o herramientas, se pudo encontrar en el ensayo denominado: Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo. La norma NTP 339.131 no requiere el uso de un contenedor aislado o Styrofoam, como si lo requieren las normas MTC E113 y ASTM D 854.
2. En relación con la selección de la muestra, después de haber realizado la serie de ensayos mencionados en esta investigación, se localiza que la única variación estuvo presente en el Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo. Debido a que, la norma NTP 339.131, para nuestro tipo de suelo recomienda un mínimo de 25 g de muestra, mientras que, las normas MTC E 113 y ASTM D 854, recomiendan 75 ± 10 g de muestra.
3. Luego de haber realizado todos los ensayos mencionados en esta tesis, podemos precisar que la única variación con respecto al procedimiento de la ejecución de los ensayos, se dio en el Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo. Obteniendo así que para la norma NTP 339.131 no se utiliza un contenedor aislado o Styrofoam para la calibración del frasco volumétrico, como tampoco para conseguir el equilibrio termal después de que el frasco volumétrico y la muestra hayan llegado al punto de ebullición, contrariamente como se puede apreciar en las normas MTC E113 y ASTM D 854.

4. Luego de haber realizado el ensayo para poder determinar el contenido de humedad de nuestro espécimen de suelo, bajo las normas NTP (Norma Técnica Peruana), MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM (American Society for Testing Materials), se obtiene una variación de resultados que va desde los 8.23% hasta 8.5% de contenido de humedad.
5. Al realizar el método de ensayo de análisis granulométrico bajo la metodología que presentan las normas NTP (Norma Técnica Peruana), MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM (American Society for Testing Materials), se obtiene una variación que va desde 17.95 % hasta en 20.81% para la porción que está representada por las gravas, una variación que va desde 65.89 % hasta 68.63% para la porción de arenas y una variación de 13.30 % hasta 13.54 % en la parte final de nuestro espécimen.
6. Después de realizar el ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de nuestro espécimen, bajo la guía de las normas NTP (Norma Técnica Peruana), MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM (American Society for Testing Materials), se tuvo una disparidad de resultados que va desde 2.71 hasta 2.82.
7. Luego de haber realizado el método para la clasificación de suelo con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS), presentes en las normas NTP (Norma Técnica Peruana) y ASTM (American Society for Testing Materials), se llega a determinar que para ambas normas el código de muestra para nuestro espécimen es SM (arena limosa con grava).
8. Al terminar el procedimiento y cálculo del método de ensayo de compactación de suelo en laboratorio utilizando una energía modificada usando las normas NTP (Norma Técnica Peruana), MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y

ASTM (American Society for Testing Materials), se ha obtenido que la variación para peso unitario óptimo va desde 122.29 lbf/pie³ hasta 123.3 lbf/pie³, mientras que para nuestro contenido de humedad óptimo va desde 9.1 % hasta 9.7 %.

9. Luego de haber realizado el ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena, en nuestro terreno bajo condiciones naturales empleando los lineamientos dados por las normas NTP (Norma Técnica Peruana), MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM (American Society for Testing Materials), se obtuvo un valor de 1.88 g/cm³ como densidad húmeda y un valor de 1.79 g/cm³ como densidad seca.
10. Después de realizar el ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de nuestro espécimen, usando las normas NTP (Norma Técnica Peruana), MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM (American Society for Testing Materials), se concluye que nuestro suelo no presenta límite líquido, lo cual conlleva a nombrar nuestra muestra de suelo como NO PLASTICA.
11. Al realizarse el ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de una muestra con cohesión, usando las normas NTP (Norma Técnica Peruana), MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y ASTM (American Society for Testing Materials), se concluye que el límite líquido varía entre 29.4 y 28.2, el límite plástico varía entre 19.0 y 18.7, e índice de plasticidad se encuentra entre 10.4 y 9.2.
12. Después de haber realizado los cálculos pertinentes para cada ensayo realizado podemos asegurar que los resultados obtenidos no presentan mayor variación, ya que la disparidad que se ha hallado entre los resultados para un mismo ensayo contemplado en las tres normas, ya mencionadas, no supera el 1%. Pudiendo

deberse esta variación a la experticia que puede tener el operador al momento de ejecutar los distintos ensayos de Mecánica de Suelos presentes en este proyecto de investigación.

13. En el método para la reducción de muestras de campo a tamaño de muestras de ensayo, determinamos que la norma ASTM C702 con respecto a las normas NTP 339.126 y MTC E103, es más detallada, porque en la sección de preparación de muestra indica el secado del espécimen al sol, como a su vez la destrucción de los posibles terrones que se encuentren con el uso de un combo de goma.
14. Para determinar el contenido de humedad de un suelo, se puede utilizar tanto la norma NTP 339.127, MTC E108 y ASTM D2216, porque las tres normas mencionadas muestran el mismo procedimiento para la obtención del contenido de humedad.
15. En el método de ensayo para el análisis granulométrico, concluimos que la norma MTC E107 con respecto ASTM D422 , NTP 339.128, es más sencilla en su procedimiento, puesto que MTC considera como alternativa el uso del método de sedimentación, si es requerido una curva granulométrica completa por debajo de la malla N°200.
16. En el método de ensayo para determinar el peso específico relativo de un suelo, llegamos a concluir que las normas MTC E113 Y ASTM D854 o presentan un proceso de calibración del picnómetro y un diagrama de flujo más controlado a comparación de la norma NTP 339.131, puesto que exigen el uso de un contenedor aislado o styrofoam, para evitar los cambios de temperatura del picnómetro con la muestra de suelo.
17. Para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS), concluimos que pueden ser utilizada tanto la

norma NTP 339.134 como la norma ASTM D2487, porque presentan un mismo procedimiento.

18. En el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada, concluimos que la mejor opción es la norma ASTM D1557 con respecto a las normas MTC E 115 y NTP 339.141, porque en su proceso de ejecución, se nos muestra patrones de compactados para los moldes de 4 pulg. y 6 pulg., según corresponda.
19. En el método de ensayo estándar para densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena, concluimos que pueden ser utilizada tanto la norma NTP 339.143, la norma MTC E117 y la norma ASTM D1556, puesto que presentan un mismo procedimiento.
20. En el método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos, determinamos que pueden ser utilizadas tanto la norma NTP 339.129, MTC E110-E111 y ASTM D4318, pues presentan un mismo diagrama de flujo.

5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda realizar la reducción de las muestras de campo a tamaño de muestra de ensayo el mismo día que la muestra es recibida en laboratorio, para así agilizar el procedimiento de secado a temperatura ambiente.
2. Es aconsejable realizar el ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo lo antes posible, de esta manera se tendrá valores más similares a la humedad presente en el campo.
3. Para la preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes de suelo, realizar el lavado de la parte gruesa, con el único fin de separar el material fino de estos.
4. En el método de ensayo para el análisis granulométrico es imprescindible que al realizar el lavado de la parte final sobre la malla N° 200, la fracción pasante, no sea desechada, pues esta también tiene que ser secada al horno en conjunto con la fracción retenida en la malla N° 200. Para así representar realmente la distribución de partículas presentes en la muestra de suelo.
5. Se recomienda que las normas NTP 339.090, MTC E106 y ASTM D421, detallen el correcto proceso de cálculo de los porcentajes pasantes, usando la corrección higroscópica y a su vez la corrección que es necesaria para convertir la porción representativa a masas iniciales de la porción pasante de la malla N° 4
6. Se sugiere que para la clasificación de suelos con propósito de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS) se realice el ensayo de dilatancia como método de confirmación de los valores obtenidos mediante la utilización de las normas.
7. Recomendamos que la norma NTP 339.134, método para la clasificación de suelos con propósito de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos,

- SUCS), corrija su tabla de valores de cantidad mínima de muestra de ensayo requerida para este método, puesto que para un tamaño máximo de partícula de $\frac{3}{4}$ pulg. se menciona el uso de 1g como tamaño de espécimen mínimo peso seco.
8. Es posible utilizar los porcentajes retenidos que han sido obtenidos en el método de ensayo para el análisis granulométrico, como una alternativa para la clasificación de suelos con propósito de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).
 9. Consideramos que el mejor método de calibración del molde de 4 pulg. y 6 pulg. utilizado en el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada, es el método de llenado de agua. Este método nos da valores más precisos de volumen en comparación con el método de calibración mediante una serie de mediciones con un regla o vernier.
 10. En el método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena, asegurarse que, al momento de realizar este ensayo, el suelo en campo debe de representar al suelo extraído para los ensayos de laboratorio.
 11. En los ensayos para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada, se recomienda que, para la obtención del contenido de humedad de las muestras compactadas, se extraiga todo el material compactado.

Lista de referencias

ASTM C702 (2018), *Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size.*

ASTM D2216 (2019), *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water Moisture*

ASTM D421 (2007), *Standard Practice for dry preparation of soil samples for particle-size analysis and determination of soil constants*

ASTM D422 (2007), *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*

ASTM D854, *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*

ASTM D2487 (2020), *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*

ASTM D1557, *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft (2,700 kN-m/m³)).*

ASTM D1556 (2007), *Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method.*

ASTM D4318 (2014), *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.*

ATKINSON, J (1993), *An introduction to the Mechanics of Soils and Foundations.* McGraw-Hill Book Company.

BERRY, P. Y REID, D (1993), *Mecánica de Suelos.* McGraw-Hill. Santafé de Bogotá

BRAJA, Das (2013). *Fundamentos de ingeniería Geotécnica*. 4ta edición. California.

BOWLES, JOSEPH E (1981), *Manual de laboratorios de suelos en Ingeniería Civil*.

Primera edición, Mc Graw-Hill, México

CRESPO VILLALAZ, CARLOS (2004), *Mecánica de Suelos y cimentaciones*. 5ta. Edición,

Limusa, México

GUERRA, J. (2018), *Mecánica de suelos*. Conceptos básicos y aplicaciones. España

Norma Técnica E-50 Suelos y Cimentaciones en Reglamento Nacional de Edificaciones.

GEORGE B. SOWERS (1972), *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*.

JUÁREZ, E., R. (2005), *Mecánica de Suelos*, Tomo I, tercera edición, Editorial Limusa, México.

JIMÉNEZ SALAS, J. A. Y DE JUSTO ALPAÑEZ, J. L. (1975), *Geotecnia y Cimientos I y II*. Ed. Rueda.

LAMBE, T.W. Y WHITMAN, R. V. (2006), *Mecánica de Suelos*. Ed. Limusa. 582 pp.

MARTÍNEZ, E. (2010), *Guía de mecánica de suelos I- UNSM*.

MTC E103 (2016), *Reducción de muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo*.

MTC E105 (2016), *Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)*.

MTC E108 (2016), *Determinación del contenido de humedad de un suelo*.

MTC E106 (2016), *Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo*.

MTC E107 (2016), *Análisis granulométrico de suelos por tamizado.*

MTC E113 (2016), *Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de un suelo mediante picnómetro de agua.*

MTC E115 (2016), *Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado).*

MTC E117 (2016), *Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena.*

MTC E110 (2016), *Determinación del límite líquido de los suelos.*

MTC E111 (2016), *Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.).*

NTP 339.126 (2019), *Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo.*

NTP 339.089 (2019), *Obtención en laboratorios de muestras representativas.*

NTP 339.127 (2019), *Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.*

NTP 339.090 (2019), *Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo.*

NTP 339.128 (2019), *Método de ensayo para el análisis granulométrico.*

NTP 339.131 (2019), *Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo.*

NTP 339.134 (2019), *Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)*

NTP 339.141(2019), *Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2,700 KN-m/m³ (56,000 pie lbf/pie³)).*

NTP 339.143 (2019), *Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena.*

NTP 339.129 (2019), *Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.*

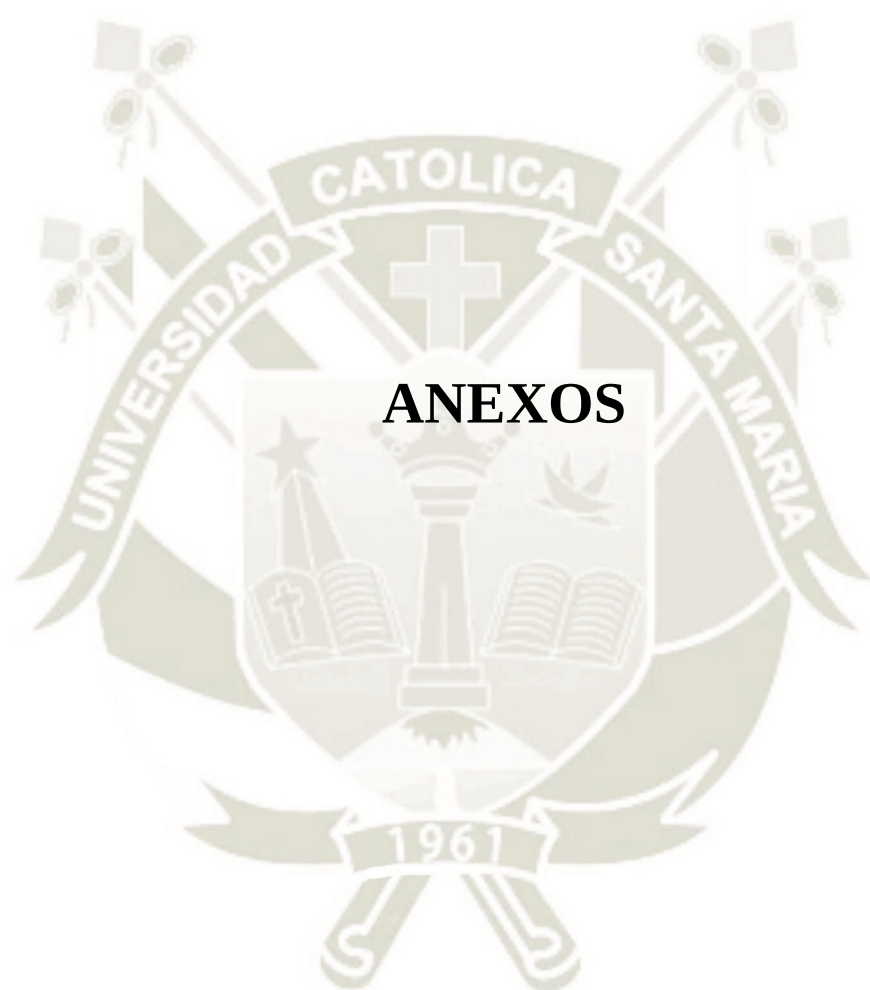
PROCTOR, R. R., (1933), *Principios Fundamentales de Compactación de Suelos*, Eng. News. Record, Agosto 31, Sept. 7, 21 y 28.

TERZAGHI, K y PECK, R. B. (1976), *Mecánica de los Suelos en la Ingeniería Práctica*. 2da. edición, Editorial El ateneo.

TERZAGHI, K y PECK, R. B. and MESRL, G. (1996), *Soil Mechanics in Engineering Practice*.

VALLE RODAS, RAUL (1963), *Carreteras, calles y aeropistas*. Principios generales de la Mecánica de Suelos aplicados a la pavimentación y métodos para el cálculo de pavimentos flexibles, 4ta edición.

WITHLOW, R. (1994), *Fundamentos de Mecánica de Suelos*. Primera Edición en Español. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México.



ANEXOS

ANEXO A. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

NTP 339.127 "Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo"

DENOMINACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD
Cápsula N°	RONY H-1
Peso Cápsula + suelo húmedo (g)	2675.5
Peso cápsula + suelo seco (g)	2479.5
Peso del Agua (g)	196
Peso de la cápsula (g)	175.1
Peso del suelo seco (g)	2304.4
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.51

DENOMINACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD
Cápsula N°	
Peso Cápsula + suelo húmedo (g)	2632.8
Peso cápsula + suelo seco (g)	2436.4
Peso del Agua (g)	196.4
Peso de la cápsula (g)	132.5
Peso del suelo seco (g)	2303.9
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.52

DENOMINACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD
Cápsula N°	T2
Peso Cápsula + suelo húmedo (g)	2626.7
Peso cápsula + suelo seco (g)	2431.2
Peso del Agua (g)	195.5
Peso de la cápsula (g)	126.5
Peso del suelo seco (g)	2304.7
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.48

CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO

8.50 %

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MTC E-108

Determinación del contenido de humedad de un suelo

DENOMINACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD
Cápsula N°	2
Peso Cápsula + suelo húmedo (g)	2888.6
Peso cápsula + suelo seco (g)	2698.7
Peso del Agua (g)	189.9
Peso de la cápsula (g)	386
Peso del suelo seco (g)	2312.7
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.21

DENOMINACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD
Cápsula N°	3
Peso Cápsula + suelo húmedo (g)	2899.6
Peso cápsula + suelo seco (g)	2711.5
Peso del Agua (g)	188.1
Peso de la cápsula (g)	398.9
Peso del suelo seco (g)	2312.6
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.13

DENOMINACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD
Cápsula N°	1
Peso Cápsula + suelo húmedo (g)	2896.9
Peso cápsula + suelo seco (g)	2703.9
Peso del Agua (g)	193
Peso de la cápsula (g)	396.3
Peso del suelo seco (g)	2307.6
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.36

CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO

8.24 %

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

ASTM D2216

Método de prueba estándar para la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por MASS

DENOMINACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD
Cápsula N°	CAL-2
Peso Cápsula + suelo húmedo (g)	2907
Peso cápsula + suelo seco (g)	2715.9
Peso del Agua (g)	191.1
Peso de la cápsula (g)	403.7
Peso del suelo seco (g)	2312.2
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.26

DENOMINACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD
Cápsula N°	AL
Peso Cápsula + suelo húmedo (g)	2983.4
Peso cápsula + suelo seco (g)	2794.2
Peso del Agua (g)	189.2
Peso de la cápsula (g)	481.8
Peso del suelo seco (g)	2312.4
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.18

DENOMINACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD
Cápsula N°	3M
Peso Cápsula + suelo húmedo (g)	2895
Peso cápsula + suelo seco (g)	2704.6
Peso del Agua (g)	190.4
Peso de la cápsula (g)	392.3
Peso del suelo seco (g)	2312.3
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.23

CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO

8.23 %

ANEXO B. Método de ensayo para el Análisis Granulométrico

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m **MUESTRA:** M1

NTP 339.128

Método de ensayo para el análisis granulométrico

1. HUMEDAD HIGROSCÓPICA

DENOMINACION	Precisión	Valores
1. Masa recipiente	0.01 g	26.83
2. Masa de suelo seco al aire + recipiente	0.01 g	41.87
3. Masa de suelo seco al horno + recipiente	0.01 g	41.74
4. Masa de agua [3-2]	0.01 g	0.13
5 Humedad higroscópica $[4/([3-1])]*100$	0.10%	0.9
Factor de humedad higroscópica $[3-1]/[2-1]$	0.01	0.99

2. FRACCIÓN RETENIDA EN TAMIZ Nº 4

1. Peso inicial de ensayo:		0.1g	3002		
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
3"	75 mm	-	126.4	-	-
1 1/2"	37.5 mm	-	126.4	-	-
3/4"	19 mm	-	126.4	-	-
3/8"	9.5 mm	358.4	126.4	232.0	7.8
Nº 4	4.75 mm	389.9	126.4	263.5	8.8
FONDO		2,669.4	176.3	2,493.1	83.4
Σ				2,988.6	100.0

% Variación de peso inicial vs final: 0.45 %

3. FRACCIÓN PASANTE DEL TAMIZ Nº 4

Peso inicial de ensayo:		0.01g	115.09		
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
Nº 8	2.36 mm	45.06	34.18	10.88	9.55
Nº 16	1.18 mm	45.83	34.18	11.65	10.22
Nº 30	600 um	48.36	34.18	14.18	12.44
Nº 50	300 um	53.15	34.18	18.97	16.65
Nº100	150 um	54.62	34.18	20.44	17.94
Nº 200	75 um	53.92	34.18	19.74	17.32
FONDO		52.28	34.18	18.10	15.88
Σ				113.96	100

% Variación de peso inicial vs final: 0.98 %

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

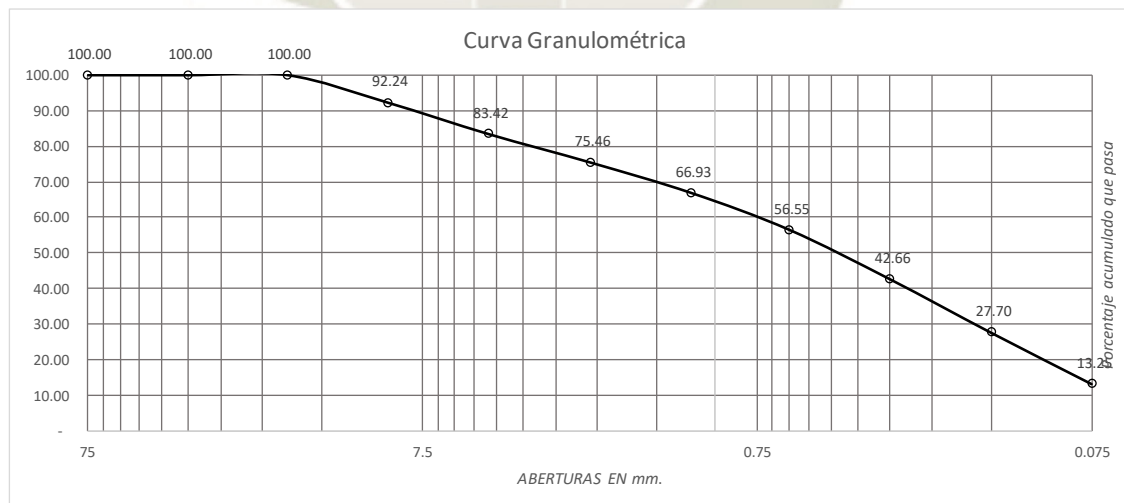
MUESTRA: M1

NTP 339.128

Método de ensayo para el análisis granulométrico

Masa de suelo total retenida en el tamiz N° 4	0.1 g	495.5
Masa de suelo pasante total del tamiz N° 4	0.01 g	2,493.10
Masa de suelo ensayado en el tamiz N°4	0.1 g	2,988.6
Masa de suelo ensayado pasante del tamiz N°4	0.01 g	113.96
Factor de corrección del material pasante del tamiz N° 4	0.00001	21.87697

TAMICES		Fracción Fina			Muestra global				
DESIGNACION	ABERTURA (mm)	Masa ensayo 0.01 g	Masa corregida	Masa ensayo 0.1 g	Masa retenida	Masa corregida por humedad	% retenido 0.01%	% retenido acumulado	% pasante
3"	75	-	-	-	-	-	-	-	100.00
1 1/2"	37.5	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/4"	19	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/8"	9.5	-	-	232.0	232.00	229.99	7.76	7.76	92.24
N.º 4	4.75	-	-	263.5	263.50	261.22	8.82	16.58	83.42
N.º 8	2.36	10.88	238.02		238.02	235.96	7.96	24.54	75.46
N.º 16	1.18	11.65	254.87		254.87	252.66	8.53	33.07	66.93
N.º 30	0.6	14.18	310.22		310.22	307.53	10.38	43.45	56.55
N.º 50	0.3	18.97	415.01		415.01	411.42	13.89	57.34	42.66
Nº100	0.15	20.44	447.17		447.17	443.30	14.96	72.30	27.70
N.º 200	0.075	19.74	431.85		431.85	428.12	14.45	86.75	13.25
FONDO		18.10	395.97	2,493.1	395.97	392.55	13.25	100.00	0.00
Σ		113.96	2,493.10	2,988.6	2,988.60	2,962.77			



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M2

NTP 339.128

Método de ensayo para el análisis granulométrico

1. HUMEDAD HIGROSCÓPICA

DENOMINACION	Precisión	Valores
1. Masa recipiente	0.01 g	26.81
2. Masa de suelo seco al aire + recipiente	0.01 g	41.85
3. Masa de suelo seco al horno + recipiente	0.01 g	41.76
4. Masa de agua [3-2]	0.01 g	0.09
5 Humedad higroscópica $[4/(3-1)]*100$	0.10%	0.6
Factor de humedad higroscópica $[3-1]/[2-1]$	0.01	0.99

2. FRACCION RETENIDA EN TAMIZ Nº 4

1. Peso inicial de ensayo:		0.1g	3004		
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
3"	75 mm	-	176.3	-	-
1 1/2"	37.5 mm	-	176.3	-	-
3/4"	19 mm	-	176.3	-	-
3/8"	9.5 mm	390.7	176.3	214.4	7.2
Nº 4	4.75 mm	497.2	176.3	320.9	10.8
FONDO		2,618.8	176.3	2,442.5	82.0
Σ				2,977.8	100.0

% Variación de peso inicial vs final: 0.87 %

3. FRACCION PASANTE DEL TAMIZ Nº 4

Peso inicial de ensayo:		0.01g	115.06		
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
Nº 8	2.36 mm	44.65	34.17	10.48	9.20
Nº 16	1.18 mm	47.95	34.17	13.78	12.10
Nº 30	600 um	48.10	34.17	13.93	12.23
Nº 50	300 um	53.41	34.17	19.24	16.89
Nº100	150 um	55.77	34.17	21.60	18.96
Nº 200	75 um	50.90	34.17	16.73	14.69
FONDO		52.33	34.17	18.16	15.94
Σ				113.92	100

% Variación de peso inicial vs final: 0.99 %

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM - American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 - Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

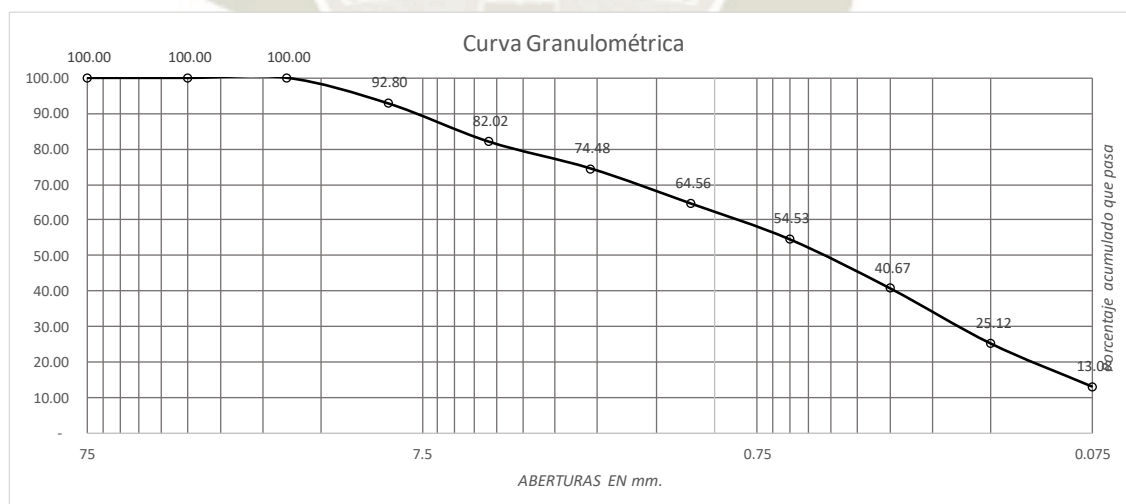
MUESTRA: M2

NTP 339.128

Método de ensayo para el análisis granulométrico

Masa de suelo total retenida en el tamiz Nº 4	0.1 g	535.3
Masa de suelo pasante total del tamiz Nº 4	0.01 g	2,442.50
Masa de suelo ensayado en el tamiz Nº4	0.1 g	2,977.8
Masa de suelo ensayado pasante del tamiz Nº4	0.01g	113.92
Factor de corrección del material pasante del tamiz Nº 4	0.00001	21.44048

TAMICES		Fracción Fina			Muestra global				
DESIGNACION	ABERTURA (mm)	Masa ensayo 0.01 g	Masa corregida	Masa ensayo 0.1 g	Masa retenida	Masa corregida por humedad	% retenido 0.01%	% retenido acumulado	% pasante
3"	75	-	-	-	-	-	-	-	100.00
1 1/2"	37.5	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/4"	19	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/8"	9.5	-	-	214.4	214.40	213.12	7.20	7.20	92.80
Nº 4	4.75	-	-	320.9	320.90	318.98	10.78	17.98	82.02
Nº 8	2.36	10.48	224.70	-	224.70	223.35	7.55	25.52	74.48
Nº 16	1.18	13.78	295.45	-	295.45	293.68	9.92	35.44	64.56
Nº 30	0.6	13.93	298.67	-	298.67	296.88	10.03	45.47	54.53
Nº 50	0.3	19.24	412.51	-	412.51	410.05	13.85	59.33	40.67
Nº100	0.15	21.60	463.11	-	463.11	460.34	15.55	74.88	25.12
Nº 200	0.075	16.73	358.70	-	358.70	356.55	12.05	86.92	13.08
FONDO		18.16	389.36	2,442.5	389.36	387.03	13.08	100.00	(0.00)
Σ		113.92	2,442.50	2,977.8	2,977.80	2,959.98			



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM - American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M3

NTP 339.128

Método de ensayo para el análisis granulométrico

1. HUMEDAD HIGROSCÓPICA

DENOMINACION	Precisión	Valores
1. Masa recipiente	0.01 g	26.85
2. Masa de suelo seco al aire + recipiente	0.01 g	41.84
3. Masa de suelo seco al horno + recipiente	0.01 g	41.76
4. Masa de agua [3-2]	0.01 g	0.08
5 Humedad higroscópica [4/(3-1)]*100	0.10%	0.5
Factor de humedad higroscópica [3-1]/[2-1]	0.01	0.99

2. FRACCION RETENIDA EN TAMIZ Nº 4

1. Peso inicial de ensayo:		0.1g	3002		
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
3"	75 mm	-	126.4	-	-
1 1/2"	37.5 mm	-	126.4	-	-
3/4"	19 mm	-	126.4	-	-
3/8"	9.5 mm	352.0	126.4	225.6	7.6
Nº 4	4.75 mm	475.9	126.4	349.5	11.7
FONDO		2,582.5	176.3	2,406.2	80.7
Σ				2,981.3	100.0

% Variación de peso inicial vs final: 0.69 %

3. FRACCION PASANTE DEL TAMIZ Nº 4

Peso inicial de ensayo:		0.01g	115		
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
Nº 8	2.36 mm	45.23	34.15	11.08	9.73
Nº 16	1.18 mm	45.97	34.15	11.82	10.38
Nº 30	600 um	46.97	34.15	12.82	11.26
Nº 50	300 um	52.85	34.15	18.70	16.42
Nº100	150 um	56.10	34.15	21.95	19.27
Nº 200	75 um	52.03	34.15	17.88	15.70
FONDO		53.80	34.15	19.65	17.25
Σ				113.90	100

% Variación de peso inicial vs final: 0.96 %

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

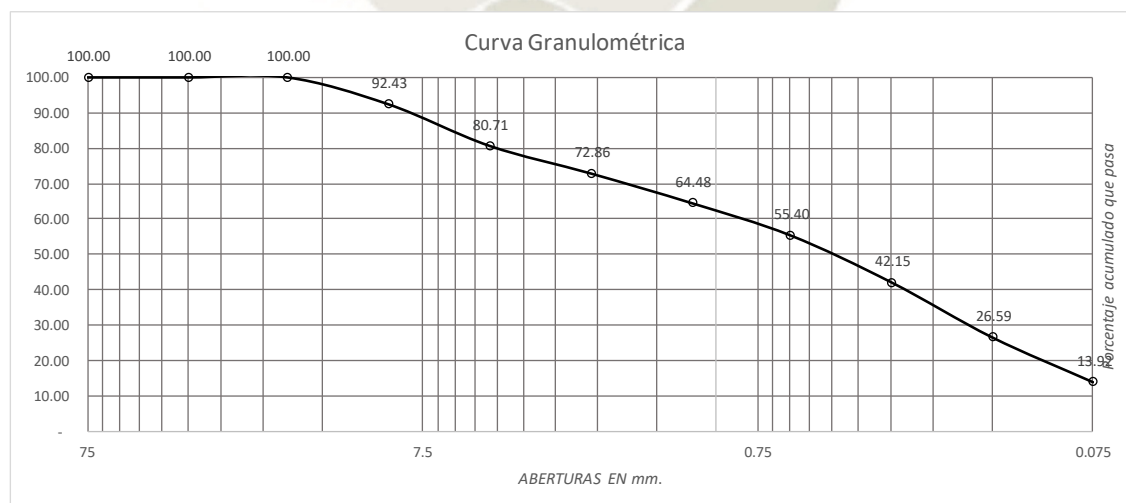
MUESTRA: M3

NTP 339.128

Método de ensayo para el análisis granulométrico

Masa de suelo total retenida en el tamiz Nº 4	0.1 g	575.1
Masa de suelo pasante total del tamiz Nº 4	0.01 g	2,406.20
Masa de suelo ensayado en el tamiz Nº4	0.1 g	2,981.3
Masa de suelo ensayado pasante del tamiz Nº4	0.01g	113.90
Factor de corrección del material pasante del tamiz Nº 4	0.00001	21.12555

TAMICES		Fracción Fina		Porción Gruesa	Muestra global				
DESIGNACION	ABERTURA (mm)	Masa ensayo 0.01 g	Masa corregida	Masa ensayo 0.1 g	Masa retenida	masa corregida por humedad	% retenido 0.01%	% retenido acumulado	% pasante
3"	75	-	-	-	-	-	-	-	100.00
1 1/2"	37.5	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/4"	19	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/8"	9.5	-	-	225.6	225.60	224.40	7.57	7.57	92.43
Nº 4	4.75	-	-	349.5	349.50	347.63	11.72	19.29	80.71
Nº 8	2.36	11.08	234.07	-	234.07	232.82	7.85	27.14	72.86
Nº 16	1.18	11.82	249.70	-	249.70	248.37	8.38	35.52	64.48
Nº 30	0.6	12.82	270.83	-	270.83	269.38	9.08	44.60	55.40
Nº 50	0.3	18.70	395.05	-	395.05	392.94	13.25	57.85	42.15
Nº100	0.15	21.95	463.71	-	463.71	461.23	15.55	73.41	26.59
Nº 200	0.075	17.88	377.72	-	377.72	375.71	12.67	86.08	13.92
FONDO		19.65	415.12	2,406.2	415.12	412.90	13.92	100.00	(0.00)
Σ		113.90	2,406.20	2,981.3	2,981.30	2,965.39	100.00		



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M1

MTC E 107

Método de ensayo para el análisis granulométrico

1. HUMEDAD HIGROSCÓPICA

DENOMINACION	Precision	Valores
1. Masa recipiente	0.01 g	26.68
2. Masa de suelo seco al aire + recipiente	0.01 g	87.84
3. Masa de suelo seco al horno + recipiente	0.01 g	87.67
4. Masa de agua [3-2]	0.01 g	0.17
5 Humedad higroscópica $[4/(3-1)]*100$	0.10%	0.3
Factor de humedad higroscópica $[3-1]/[2-1]$	0.01	1.00

2. FRACCION RETENIDA EN TAMIZ Nº 4

1. Peso inicial de ensayo:	0.1g	2500			
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
3"	75 mm	-	174.9	-	-
1 1/2"	37.5 mm	-	174.9	-	-
3/4"	19 mm	-	174.9	-	-
3/8"	9.5 mm	370.3	174.9	195.4	7.8
Nº 4	4.75 mm	499.0	174.9	324.1	13.0
FONDO		2,147.4	174.9	1,972.5	79.2
Σ				2,492.0	100.0

% Variación de peso inicial vs final: 0.32 %

3. FRACCION PASANTE DEL TAMIZ Nº 4

Peso inicial de ensayo:	0.01g	115.08			
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
Nº 8	2.36 mm	42.10	34.06	8.04	7.03
Nº 16	1.18 mm	45.53	34.06	11.47	10.03
Nº 30	600 um	46.92	34.06	12.86	11.24
Nº 50	300 um	53.30	34.06	19.24	16.82
Nº100	150 um	57.34	34.06	23.28	20.35
Nº 200	75 um	53.09	34.06	19.03	16.63
FONDO		54.55	34.06	20.49	17.91
Σ				114.41	100

% Variación de peso inicial vs final: 0.58 %

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

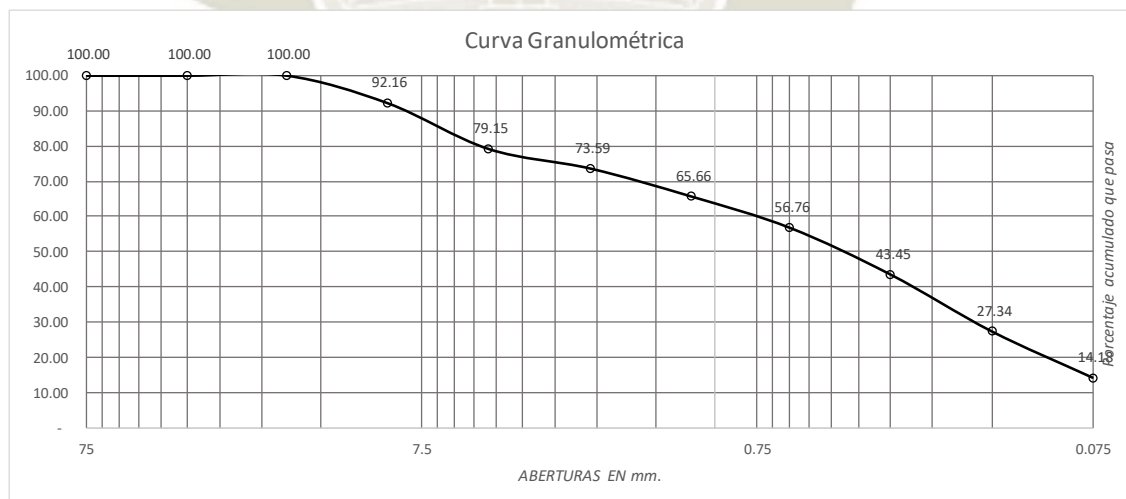
MUESTRA: M1

MTC E107

Método de ensayo para el análisis granulométrico

Masa de suelo total retenida en el tamiz Nº 4	0.1 g	519.50
Masa de suelo pasante total del tamiz Nº 4	0.01 g	1,972.50
Masa de suelo ensayado en el tamiz Nº4	0.1 g	2,492.00
Masa de suelo ensayado pasante del tamiz Nº4	0.01g	114.41
Factor de corrección del material pasante del tamiz Nº 4	0.00001	17.24063

TAMICES		Fracción Fina		Porción Gruesa	Muestra global				
DESIGNACION	ABERTURA (mm)	Masa ensayo 0.01 g	Masa corregida	Masa ensayo 0.1 g	Masa retenida	Masa corregida por humedad	% retenido 0.01%	% retenido acumulado	% pasante
3"	75	-	-	-	-	-	-	-	100.00
1 1/2"	37.5	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/4"	19	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/8"	9.5	-	-	195.4	195.40	194.86	7.84	7.84	92.16
Nº 4	4.75	-	-	324.1	324.10	323.20	13.01	20.85	79.15
Nº 8	2.36	8.04	138.61	-	138.61	138.23	5.56	26.41	73.59
Nº 16	1.18	11.47	197.75	-	197.75	197.20	7.94	34.34	65.66
Nº 30	0.6	12.86	221.71	-	221.71	221.10	8.90	43.24	56.76
Nº 50	0.3	19.24	331.71	-	331.71	330.79	13.31	56.55	43.45
Nº100	0.15	23.28	401.36	-	401.36	400.25	16.11	72.66	27.34
Nº 200	0.075	19.03	328.09	-	328.09	327.18	13.17	85.82	14.18
FONDO		20.49	353.26	1,972.5	353.26	352.28	14.18	100.00	0.00
Σ		114.41	1,972.50	2,492.0	2,492.00	2,485.07	100.00		



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M2

MTC E107

Método de ensayo para el análisis granulométrico

1. HUMEDAD HIGROSCÓPICA

DENOMINACION	Precisión	Valores
1. Masa recipiente	0.01 g	26.65
2. Masa de suelo seco al aire + recipiente	0.01 g	87.83
3. Masa de suelo seco al horno + recipiente	0.01 g	87.68
4. Masa de agua [3-2]	0.01 g	0.15
5 Humedad higroscópica [4/(3-1)]*100	0.10%	0.2
Factor de humedad higroscópica [3-1]/[2-1]	0.01	1.00

2. FRACCION RETENIDA EN TAMIZ Nº 4

1. Peso inicial de ensayo:	0.1g	2508			
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
3"	75 mm	-	102.6	-	-
1 1/2"	37.5 mm	-	102.6	-	-
3/4"	19 mm	-	102.6	-	-
3/8"	9.5 mm	311.5	102.6	208.9	8.4
Nº 4	4.75 mm	397.4	102.6	294.8	11.8
FONDO		2,171.7	175.0	1,996.7	79.9
Σ				2,500.4	100.0

% Variación de peso inicial vs final: 0.30 %

3. FRACCION PASANTE DEL TAMIZ Nº 4

Peso inicial de ensayo:	0.01g	115.14			
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
Nº 8	2.36 mm	62.39	51.71	10.68	9.32
Nº 16	1.18 mm	62.49	51.71	10.78	9.40
Nº 30	600 um	63.95	51.71	12.24	10.68
Nº 50	300 um	70.72	51.71	19.01	16.58
Nº100	150 um	75.03	51.71	23.32	20.34
Nº 200	75 um	70.88	51.71	19.17	16.72
FONDO		71.16	51.71	19.45	16.96
Σ				114.65	100

% Variación de peso inicial vs final: 0.43 %

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

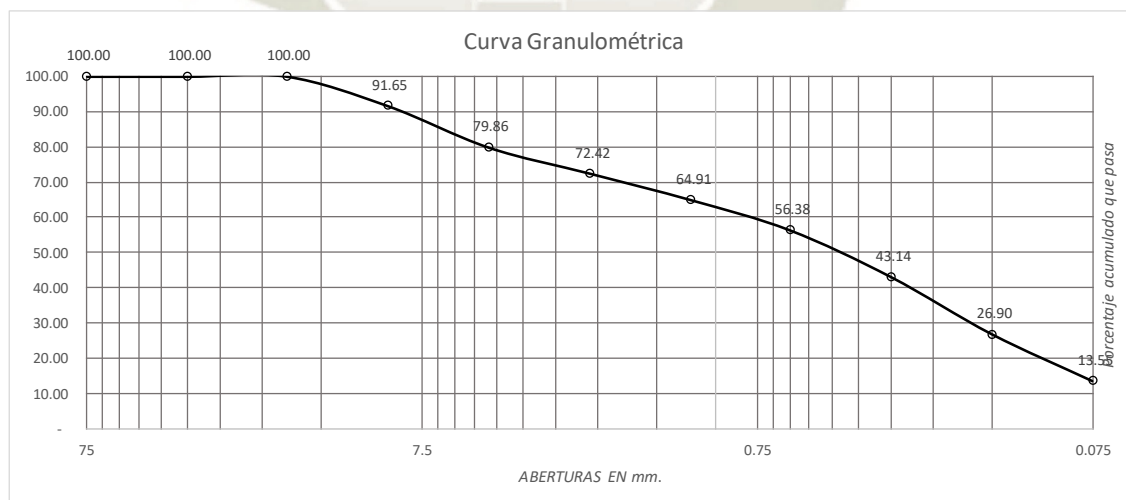
MUESTRA: M2

MTC E107

Método de ensayo para el análisis granulométrico

Masa de suelo total retenida en el tamiz Nº 4	0.1 g	503.70
Masa de suelo pasante total del tamiz Nº 4	0.01 g	1,996.73
Masa de suelo ensayado en el tamiz Nº4	0.1 g	2,500.43
Masa de suelo ensayado pasante del tamiz Nº4	0.01g	114.65
Factor de corrección del material pasante del tamiz Nº 4	0.00001	17.41587

TAMICES		Fracción Fina		Porción Gruesa	Muestra global				
DESIGNACION	ABERTURA (mm)	Masa ensayo 0.01 g	Masa corregida	Masa ensayo 0.1 g	Masa retenida	Masa corregida por humedad	% retenido 0.01%	% retenido acumulado	% pasante
3"	75	-	-	-	-	-	-	-	100.00
1 1/2"	37.5	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/4"	19	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/8"	9.5	-	-	208.9	208.90	208.39	8.35	8.35	91.65
Nº 4	4.75	-	-	294.8	294.80	294.08	11.79	20.14	79.86
Nº 8	2.36	10.68	186.00	-	186.00	185.55	7.44	27.58	72.42
Nº 16	1.18	10.78	187.74	-	187.74	187.28	7.51	35.09	64.91
Nº 30	0.6	12.24	213.17	-	213.17	212.65	8.53	43.62	56.38
Nº 50	0.3	19.01	331.08	-	331.08	330.26	13.24	56.86	43.14
Nº100	0.15	23.32	406.14	-	406.14	405.14	16.24	73.10	26.90
Nº 200	0.075	19.17	333.86	-	333.86	333.04	13.35	86.45	13.55
FONDO		19.45	338.74	1,996.7	338.74	337.91	13.55	100.00	0.00
Σ		114.65	1,996.73	2,500.4	2,500.43	2,494.30	100.00		



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M3

MTC E107

Método de ensayo para el análisis granulométrico

1. HUMEDAD HIGROSCÓPICA

DENOMINACION	Precisión	Valores
1. Masa recipiente	0.01 g	26.7
2. Masa de suelo seco al aire + recipiente	0.01 g	87.88
3. Masa de suelo seco al horno + recipiente	0.01 g	87.69
4. Masa de agua [3-2]	0.01 g	0.19
5 Humedad higroscópica $[4/(3-1)]*100$	0.10%	0.3
Factor de humedad higroscópica $[3-1]/[2-1]$	0.01	1.00

2. FRACCION RETENIDA EN TAMIZ Nº 4

1. Peso inicial de ensayo:		0.1g	2526		
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
3"	75 mm	-	107.1	-	-
1 1/2"	37.5 mm	-	107.1	-	-
3/4"	19 mm	-	107.1	-	-
3/8"	9.5 mm	284.9	107.1	177.8	7.1
Nº 4	4.75 mm	466.6	107.1	359.5	14.3
FONDO		2,144.5	175.01	1,969.5	78.6
Σ				2,506.8	100.0

% Variación de peso inicial vs final: 0.76 %

3. FRACCION PASANTE DEL TAMIZ Nº 4

Peso inicial de ensayo:		0.01g	115.04		
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
Nº 8	2.36 mm	62.07	51.71	10.36	9.07
Nº 16	1.18 mm	64.11	51.71	12.40	10.86
Nº 30	600 µm	65.07	51.71	13.36	11.70
Nº 50	300 µm	53.61	34.05	19.56	17.13
Nº100	150 µm	56.99	34.05	22.94	20.09
Nº 200	75 µm	51.91	34.05	17.86	15.64
FONDO		51.77	34.05	17.72	15.52
Σ				114.20	100

% Variación de peso inicial vs final: 0.73 %

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

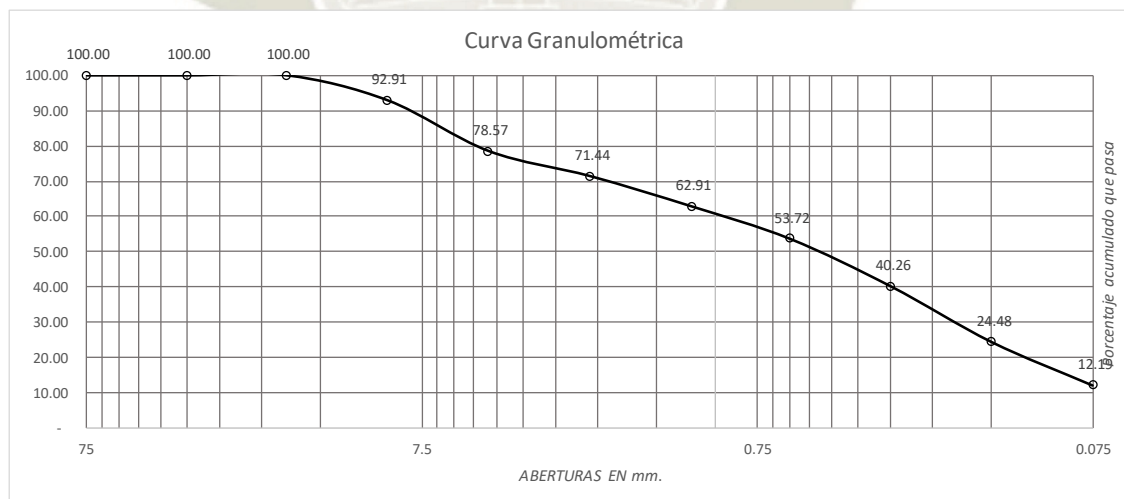
MUESTRA: M3

MTC E107

Método de ensayo para el análisis granulométrico

Masa de suelo total retenida en el tamiz Nº 4	0.1 g	537.3
Masa de suelo pasante total del tamiz Nº 4	0.01 g	1,969.49
Masa de suelo ensayado en el tamiz Nº4	0.1 g	2,506.8
Masa de suelo ensayado pasante del tamiz Nº4	0.01g	114.20
Factor de corrección del material pasante del tamiz Nº 4	0.00001	17.24597

TAMICES		Fracción Fina		Porción Gruesa	Muestra global				
DESIGNACION	ABERTURA (mm)	Masa ensayo 0.01 g	Masa corregida	Masa ensayo 0.1 g	Masa retenida	Masa corregida por humedad	% retenido 0.01%	% retenido acumulado	% pasante
3"	75	-	-	-	-	-	-	-	100.00
1 1/2"	37.5	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/4"	19	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/8"	9.5	-	-	177.8	177.80	177.25	7.09	7.09	92.91
Nº 4	4.75	-	-	359.5	359.50	358.38	14.34	21.43	78.57
Nº 8	2.36	10.36	178.67	-	178.67	178.11	7.13	28.56	71.44
Nº 16	1.18	12.40	213.85	-	213.85	213.19	8.53	37.09	62.91
Nº 30	0.6	13.36	230.41	-	230.41	229.69	9.19	46.28	53.72
Nº 50	0.3	19.56	337.33	-	337.33	336.28	13.46	59.74	40.26
Nº100	0.15	22.94	395.62	-	395.62	394.39	15.78	75.52	24.48
Nº 200	0.075	17.86	308.01	-	308.01	307.06	12.29	87.81	12.19
FONDO		17.72	305.60	1,969.5	305.60	304.65	12.19	100.00	0.00
Σ		114.20	1,969.49	2,506.8	2,506.79	2,499.00	100.00		



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M1

ASTMD422

Método de ensayo estándar para el análisis granulométrico

DENOMINACION	Precisión	Valores
1. Masa recipiente	0.01 g	26.83
2. Masa de suelo seco al aire + recipiente	0.01 g	42.37
3. Masa de suelo seco al horno + recipiente	0.01 g	42.29
4. Masa de agua [3-2]	0.01 g	0.08
5 Humedad higroscópica [4/(3-1)]*100	0.10%	0.5
Factor de humedad higroscópica [3-1]/[2-1]	0.01	0.99

2. FRACCION RETENIDA EN TAMIZ Nº 4

1. Peso inicial de ensayo:	0.1g	3002			
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
3"	75 mm	-	176.3	-	-
1 1/2"	37.5 mm	-	176.3	-	-
3/4"	19 mm	-	176.3	-	-
3/8"	9.5 mm	680.6	176.3	504.3	16.8
Nº 4	4.75 mm	481.3	176.3	305.0	10.2
FONDO		2,360.4	176.3	2,184.1	73.0
Σ				2,993.4	100.0

% Variación de peso inicial vs final: 0.29 %

3. FRACCION PASANTE DEL TAMIZ Nº 4

Peso inicial de ensayo:	0.01g	115			
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
Nº 8	2.36 mm	62.08	52.27	9.81	8.59
Nº 16	1.18 mm	63.79	52.27	11.52	10.09
Nº 30	600 um	66.08	52.27	13.81	12.10
Nº 50	300 um	70.66	52.27	18.39	16.11
Nº100	150 um	73.00	52.27	20.73	18.16
Nº 200	75 um	72.64	52.27	20.37	17.84
FONDO		71.80	52.27	19.53	17.11
Σ				114.16	100

% Variación de peso inicial vs final: 0.73 %

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERU) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

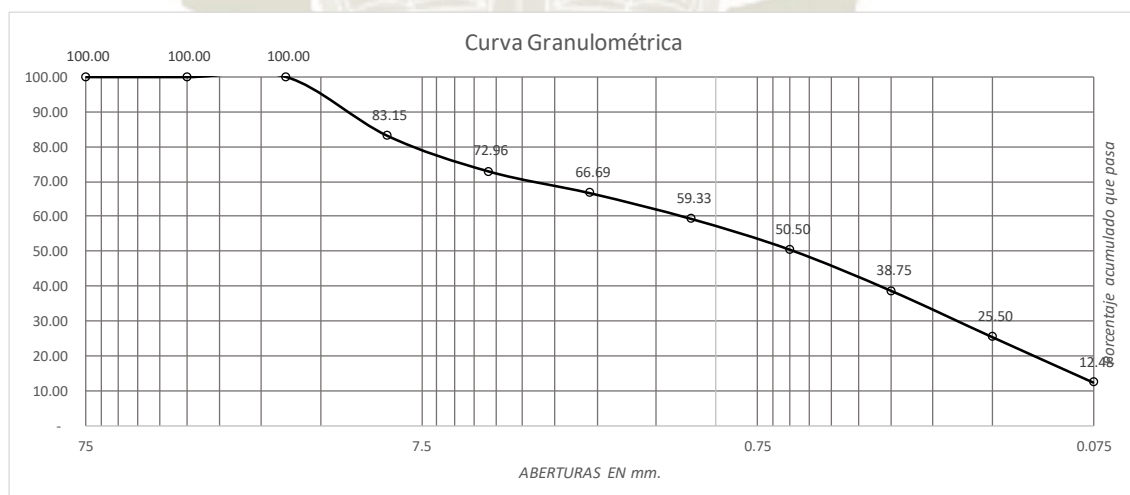
MUESTRA: M1

ASTMD422

Método de ensayo estándar para el análisis granulométrico

Masa de suelo total retenida en el tamiz Nº 4	0.1 g	809.3
Masa de suelo pasante total del tamiz Nº 4	0.01 g	2,184.10
Masa de suelo ensayado en el tamiz Nº4	0.1 g	2,993.4
Masa de suelo ensayado pasante del tamiz Nº4	0.01g	114.16
Factor de corrección del material pasante del tamiz Nº 4	0.00001	19.13192

TAMICES		Fracción Fina		Porción Gruesa	Muestra global				
DESIGNACION	ABERTURA (mm)	Masa ensayo 0.01 g	Masa corregida	Masa ensayo 0.1 g	Masa retenida	Masa corregida por humedad	% retenido 0.01%	% retenido acumulado	% pasante
3"	75	-	-	-	-	-	-	-	100.00
1 1/2"	37.5	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/4"	19	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/8"	9.5	-	-	504.3	504.30	501.70	16.85	16.85	83.15
Nº 4	4.75	-	-	305.0	305.00	303.43	10.19	27.04	72.96
Nº 8	2.36	9.81	187.68	-	187.68	186.72	6.27	33.31	66.69
Nº 16	1.18	11.52	220.40	-	220.40	219.27	7.36	40.67	59.33
Nº 30	0.6	13.81	264.21	-	264.21	262.85	8.83	49.50	50.50
Nº 50	0.3	18.39	351.84	-	351.84	350.02	11.75	61.25	38.75
Nº100	0.15	20.73	396.60	-	396.60	394.56	13.25	74.50	25.50
Nº 200	0.075	20.37	389.72	-	389.72	387.71	13.02	87.52	12.48
FONDO		19.53	373.65	2,184.1	373.65	371.72	12.48	100.00	0.00
Σ		114.16	2,184.10	2,993.4	2,993.40	2,977.99	100.00		



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M2

ASTMD422

Método de ensayo estándar para el análisis granulométrico

1. HUMEDAD HIGROSCÓPICA

DENOMINACION	Precisión	Valores
1. Masa recipiente	0.01 g	26.85
2. Masa de suelo seco al aire + recipiente	0.01 g	42.35
3. Masa de suelo seco al horno + recipiente	0.01 g	42.31
4. Masa de agua [3-2]	0.01 g	0.04
5 Humedad higroscópica $[4/(3-1)]*100$	0.10%	0.3
Factor de humedad higroscópica $[3-1]/[2-1]$	0.01	1.00

15.5

2. FRACCION RETENIDA EN TAMIZ Nº 4

1. Peso inicial de ensayo:		0.1g	3002		
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
3"	75 mm	-	250.2	-	-
1 1/2"	37.5 mm	-	250.2	-	-
3/4"	19 mm	-	250.2	-	-
3/8"	9.5 mm	417.2	250.2	167.0	5.6
Nº 4	4.75 mm	546.4	250.2	296.2	9.9
FONDO		2,769.9	250.2	2,519.7	84.5
Σ				2,982.9	100.0

% Variación de peso inicial vs final: 0.64 %

3. FRACCION PASANTE DEL TAMIZ Nº 4

Peso inicial de ensayo:		0.01g	115.01		
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
Nº 8	2.36 mm	44.68	34.17	10.51	9.22
Nº 16	1.18 mm	47.38	34.17	13.21	11.59
Nº 30	600 µm	47.46	34.17	13.29	11.66
Nº 50	300 µm	53.08	34.17	18.91	16.58
Nº100	150 µm	55.88	34.17	21.71	19.04
Nº 200	75 µm	51.46	34.17	17.29	15.16
FONDO		53.27	34.17	19.10	16.75
Σ				114.02	100

% Variación de peso inicial vs final: 0.86 %

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

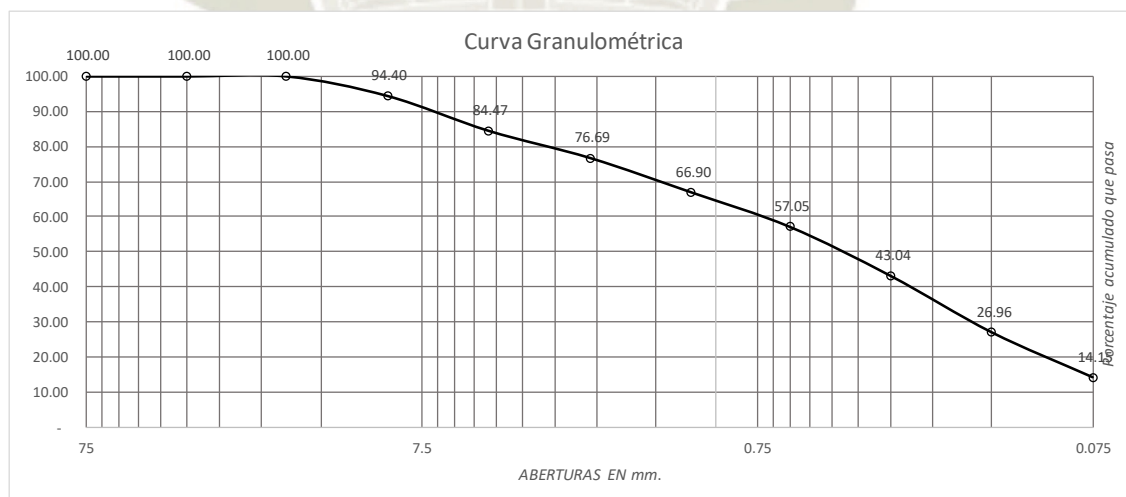
MUESTRA: M2

ASTMD422

Método de ensayo estándar para el análisis granulométrico

Masa de suelo total retenida en el tamiz Nº 4	0.1 g	463.2
Masa de suelo pasante total del tamiz Nº 4	0.01 g	2,519.70
Masa de suelo ensayado en el tamiz Nº4	0.1 g	2,982.9
Masa de suelo ensayado pasante del tamiz Nº4	0.01g	114.02
Factor de corrección del material pasante del tamiz Nº 4	0.00001	22.09875

TAMICES		Fracción Fina		Porción Gruesa	Muestra global				
DESIGNACION	ABERTURA (mm)	Masa ensayo 0.01 g	Masa corregida	Masa ensayo 0.1 g	Masa retenida	Masa corregida por humedad	% retenido 0.01%	% retenido acumulado	% pasante
3"	75	-	-	-	-	-	-	-	100.00
1 1/2"	37.5	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/4"	19	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/8"	9.5	-	-	167.0	167.00	166.57	5.60	5.60	94.40
Nº 4	4.75	-	-	296.2	296.20	295.44	9.93	15.53	84.47
Nº 8	2.36	10.51	232.26	-	232.26	231.66	7.79	23.31	76.69
Nº 16	1.18	13.21	291.92	-	291.92	291.17	9.79	33.10	66.90
Nº 30	0.6	13.29	293.69	-	293.69	292.93	9.85	42.95	57.05
Nº 50	0.3	18.91	417.89	-	417.89	416.81	14.01	56.96	43.04
Nº100	0.15	21.71	479.76	-	479.76	478.53	16.08	73.04	26.96
Nº 200	0.075	17.29	382.09	-	382.09	381.10	12.81	85.85	14.15
FONDO		19.10	422.09	2,519.7	422.09	421.00	14.15	100.00	(0.00)
Σ		114.02	2,519.70	2,982.9	2,982.90	2,975.20	100.00		



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP
- Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American
Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M3

ASTMD422

Método de ensayo estándar para el análisis granulométrico

1. HUMEDAD HIGROSCÓPICA

DENOMINACION	Precisión	Valores
1. Masa recipiente	0.01 g	26.86
2. Masa de suelo seco al aire + recipiente	0.01 g	42.34
3. Masa de suelo seco al horno + recipiente	0.01 g	42.31
4. Masa de agua [3-2]	0.01 g	0.03
5 Humedad higroscópica $[4/(3-1)]*100$	0.10%	0.2
Factor de humedad higroscópica $[3-1]/[2-1]$	0.01	1.00

2. FRACCION RETENIDA EN TAMIZ Nº 4

1. Peso inicial de ensayo:		0.1g	3004		
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
3"	75 mm	-	176.3	-	-
1 1/2"	37.5 mm	-	176.3	-	-
3/4"	19 mm	-	176.3	-	-
3/8"	9.5 mm	412.8	176.3	236.5	7.9
Nº 4	4.75 mm	501.1	176.3	324.8	10.9
FONDO		2,607.8	176.3	2,431.5	81.2
Σ				2,992.8	100.0

% Variación de peso inicial vs final: 0.37 %

3. FRACCION PASANTE DEL TAMIZ Nº 4

Peso inicial de ensayo:		0.01g	115		
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido
DESIGNACION	ABERTURA (mm)				
Nº 8	2.36 mm	44.54	34.17	10.37	9.09
Nº 16	1.18 mm	46.74	34.17	12.57	11.01
Nº 30	600 um	47.85	34.17	13.68	11.99
Nº 50	300 um	52.81	34.17	18.64	16.33
Nº100	150 um	56.02	34.17	21.85	19.14
Nº 200	75 um	51.53	34.17	17.36	15.21
FONDO		53.83	34.17	19.66	17.23
Σ				114.13	100

% Variación de peso inicial vs final: 0.76 %

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

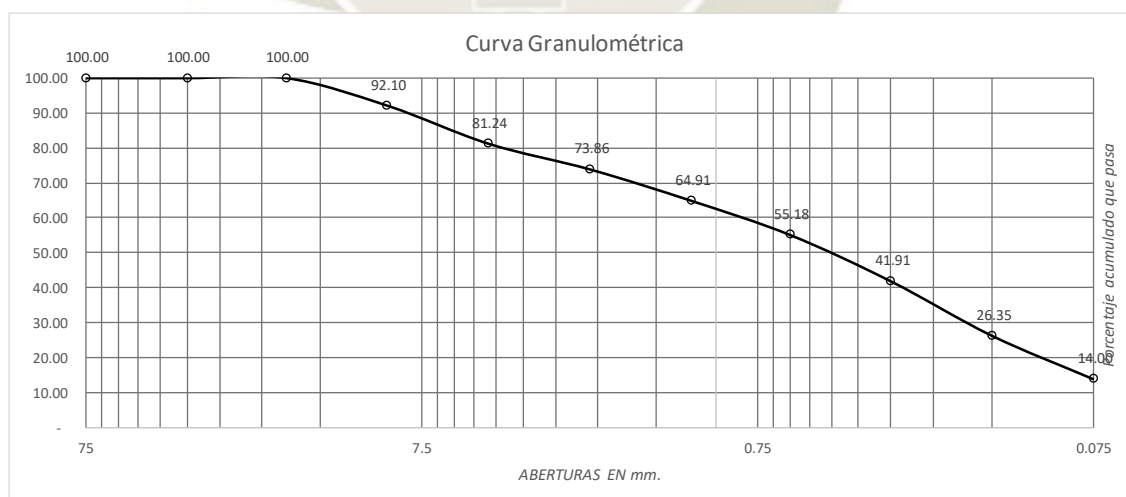
MUESTRA: M3

ASTMD422

Método de ensayo estándar para el análisis granulométrico

Masa de suelo total retenida en el tamiz N° 4	0.1 g	561.3
Masa de suelo pasante total del tamiz N° 4	0.01 g	2,431.50
Masa de suelo ensayado en el tamiz N°4	0.1 g	2,992.8
Masa de suelo ensayado pasante del tamiz N°4	0.01g	114.13
Factor de corrección del material pasante del tamiz N° 4	0.00001	21.30465

TAMICES		Fracción Fina		Porción Gruesa	Muestra global				
DESIGNACION	ABERTURA (mm)	Masa ensayo 0.01 g	Masa corregida	Masa ensayo 0.1 g	Masa retenida	Masa corregida por humedad	% retenido 0.01%	% retenido acumulado	% pasante
3"	75	-	-	-	-	-	-	-	100.00
1 1/2"	37.5	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/4"	19	-	-	-	-	-	-	-	100.00
3/8"	9.5	-	-	236.5	236.50	236.04	7.90	7.90	92.10
N° 4	4.75	-	-	324.8	324.80	324.17	10.85	18.76	81.24
N° 8	2.36	10.37	220.93	-	220.93	220.50	7.38	26.14	73.86
N° 16	1.18	12.57	267.80	-	267.80	267.28	8.95	35.09	64.91
N° 30	0.6	13.68	291.45	-	291.45	290.88	9.74	44.82	55.18
N° 50	0.3	18.64	397.12	-	397.12	396.35	13.27	58.09	41.91
N°100	0.15	21.85	465.51	-	465.51	464.60	15.55	73.65	26.35
N° 200	0.075	17.36	369.85	-	369.85	369.13	12.36	86.00	14.00
FONDO		19.66	418.85	2,431.5	418.85	418.04	14.00	100.00	0.00
Σ		114.13	2,431.50	2,992.8	2,992.80	2,987.00	100.00		



ANEXO C. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

NTP 339.131

Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo

1. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

DATOS		
	Valores	Promedio
M_a	702.16	702.19
	702.20	
	702.20	
M_f	204.32	204.32
	204.31	
	204.32	
T_i	23.7°	24°

Legenda:

M_a : Masa del picnómetro con agua, en gramos.

M_f : Masa del picnómetro, en gramos.

T_i : Temperatura del agua observada, en °C.

T_x : Cualquier otra temperatura observada, en °C.

Masa de la Fiola a T°x			
Temperat. [°C]	Densidad Relativa del agua (g/ml)	Factor de Corrección K	M_a
18	0.9986244	1.0004	702.83
19	0.9984347	1.0002	702.74
20	0.9982343	1.0000	702.64
21	0.9980233	0.9998	702.53
22	0.9978019	0.9996	702.42
23	0.9975702	0.9993	702.31
24	0.9973286	0.9991	702.19
25	0.997077	0.9988	702.06
26	0.9968156	0.9986	701.93
27	0.9965451	0.9983	701.80
28	0.9962652	0.9980	701.66
29	0.9959761	0.9977	701.51
30	0.995678	0.9974	701.36

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

NTP 339.131 Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo

2. ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

MUESTRA 1

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de Fiola a 20°	ml	375	375
Método de remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g.	765.09	765.75
Temperatura	°C	27	25
Masa de fiola + agua	g.	701.80	702.06
Masa de suelo seco	g.	100.06	100.07
k (factor de corrección por temperatura)		0.9983	1.00
Gravedad Específica		2.72	2.75

Variación de resultados : 0.03 ≤ 0.03 BIEN

MUESTRA 2

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de Fiola a 20°	ml	375	375
Método de remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g.	765.14	765.22
Temperatura	°C	25	27
Masa de fiola + agua	g.	702.06	701.80
Masa de suelo seco	g.	100.08	100.14
k (factor de corrección por temperatura)		0.9988	0.9983
Gravedad Específica		2.70	2.72

Variación de resultados : 0.02 ≤ 0.03 BIEN

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

NTP 339.131 Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo

2. ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

MUESTRA 3

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Volumen de Fiola a 20°	ml	375	375
Método de remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g.	764.71	765.01
Temperatura	°C	27	26
Masa de fiola + agua	g.	701.80	701.93
Masa de suelo seco	g.	100.06	100.17
k (factor de corrección por temperatura)		0.9983	0.9986
Gravedad Específica		2.69	2.70

Variación de resultados : 0.01 ≤ 0.03 BIEN

Gravedad específica promedio (Tx/20°C)	2.71
--	------

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MTC E-113

Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua

1. CALIBRACIÓN DE LA FIOLA

ITEM	DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	PRECISIÓN
1	Masa del picnómetro y agua a la temperatura de calibración.	$M_{pw,c}$	0.01 g
2	Masa promedio del picnómetro a la calibración	M_p	0.01 g
3	Densidad del agua a la temperatura de calibración (g/ml).	$p_{w,c}$	0.00001
4	Temperatura	T	0.1°C

1.1. Masa calibrada de la fiola:

Datos	Masas	Promedio	Desviación Estándar (σ)	Verificación $\sigma \leq 0.02$ g
M_p	Toma 1	198.19	0.008	BIEN
	Toma 2	198.18		
	Toma 3	198.20		
	Toma 4	198.19		
	Toma 5	198.18		

1.2. Volumen calibrado de la fiola:

Datos		$M_{pw,c}$	Temperatura °C	$p_{w,c}$	V_p	Promedio V_p	Desviación Estándar (σ)	Verificación $\sigma \leq 0.05$ g
/	Hora							
Toma 1	08:00 a. m.	696.42	19.2	0.99837	499.05	499.11	0.04	BIEN
Toma 2	11:00 a. m.	696.46	19.3	0.99835	499.10			
Toma 3	02:00 p. m.	696.49	19.3	0.99835	499.13			
Toma 4	05:00 p. m.	696.52	19.4	0.99833	499.17			
Toma 5	08:00 p. m.	696.48	18.6	0.99835	499.12			

2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Muestra 1

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1
Volumen de Fiola a 20°	ml	166.67
Método de remoción de aire	-	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g.	746.90
Temperatura (Tt)	°C	21.6
Densidad del agua a la temperatura (Tt) de ensayo	g/ml	0.99786
Masa de fiola + agua	g.	696.23
Masa de suelo secado al horno + tara		185.62
Masa de tara		107.18
Masa de suelo secado al horno	g.	78.44
k (factor de corrección por temperatura		0.99966
Gravedad Específica		2.82

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MTC E-113

Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua

2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Muestra 2

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1
Volumen de Fiola a 20°	ml	166.67
Método de remoción de aire	-	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g.	746.53
Temperatura (Tt)	°C	22.6
Densidad del agua a la temperatura (Tt) de ensayo	g/ml	0.99764
Masa de fiola + agua	g.	696.12
Masa de suelo secado al horno + tara	g.	180.61
Masa de tara	g.	102.56
Masa de suelo secado al horno	g.	78.05
k (factor de corrección por temperatura)		0.99943
Gravedad Específica		2.82

Muestra 3

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1
Volumen de Fiola a 20°	ml	166.67
Método de remoción de aire	-	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g.	746.51
Temperatura (Tt)	°C	23.8
Densidad del agua a la temperatura (Tt) de ensayo	g/ml	0.99735
Masa de fiola + agua	g.	695.97
Masa de suelo secado al horno + tara		204.81
Masa de tara		126.46
Masa de suelo secado al horno	g.	78.35
k (factor de corrección por temperatura)		0.99914
Gravedad Específica		2.81

Gravedad específica promedio (Tx/20°C)

2.82

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

ASTM D854

Método de prueba estándar para la gravedad específica de sólidos del suelo por picnómetro de agua.

1. CALIBRACIÓN DE LA FIOLA

ITEM	DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	PRECISIÓN
1	Masa del picnómetro y agua a la temperatura de calibración.	$M_{pw,c}$	0.01 g
2	Masa promedio del picnómetro a la calibración	M_p	0.01 g
3	Densidad del agua a la temperatura de calibración (g/ml).	$p_{w,c}$	0.00001
4	Temperatura	T	0.1°C

1.1. Masa calibrada de la fiola:

Datos	Masas	Promedio	Desviación Estándar (σ)	Verificación $\sigma \leq 0.02$ g
M_p	Toma 1	198.19	0.008	BIEN
	Toma 2	198.18		
	Toma 3	198.20		
	Toma 4	198.19		
	Toma 5	198.18		

1.2. Volumen calibrado de la fiola:

Datos		$M_{pw,c}$	Temperatura °C	$p_{w,c}$	V_p	Promedio V_p	Desviación Estándar (σ)	Verificación $\sigma \leq 0.05$ g
/	Hora							
Toma 1	08:00 a. m.	696.42	19.2	0.99837	499.05	499.11	0.04	BIEN
Toma 2	11:00 a. m.	696.46	19.3	0.99835	499.10			
Toma 3	02:00 p. m.	696.49	19.3	0.99835	499.13			
Toma 4	05:00 p. m.	696.52	19.4	0.99833	499.17			
Toma 5	08:00 p. m.	696.48	18.6	0.99835	499.12			

2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Muestra 1

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1
Volumen de Fiola a 20°	ml	166.67
Método de remoción de aire	-	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g.	746.90
Temperatura (Tt)	°C	21.6
Densidad del agua a la temperatura (Tt) de ensayo	g/ml	0.99786
Masa de fiola + agua	g.	696.23
Masa de suelo secado al horno + tara		185.62
Masa de tara		107.18
Masa de suelo secado al horno	g.	78.44
k (factor de corrección por temperatura)		0.99966
Gravedad Específica		2.82

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

ASTM D854

Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua

2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Muestra 2

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1
Volumen de Fiola a 20°	ml	166.67
Método de remoción de aire	-	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g.	746.53
Temperatura (Tt)	°C	22.6
Densidad del agua a la temperatura (Tt) de ensayo	g/ml	0.99764
Masa de fiola + agua	g.	696.12
Masa de suelo secado al horno + tara	g.	180.61
Masa de tara	g.	102.56
Masa de suelo secado al horno	g.	78.05
k (factor de corrección por temperatura		0.99943
Gravedad Específica		2.82

Muestra 3

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO 1
Volumen de Fiola a 20°	ml	166.67
Método de remoción de aire	-	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g.	746.51
Temperatura (Tt)	°C	23.8
Densidad del agua a la temperatura (Tt) de ensayo	g/ml	0.99735
Masa de fiola + agua	g.	695.97
Masa de suelo secado al horno + tara		204.81
Masa de tara		126.46
Masa de suelo secado al horno	g.	78.35
k (factor de corrección por temperatura		0.99914
Gravedad Específica		2.81

Gravedad específica promedio (Tx/20°C)

2.82

ANEXO D. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M1

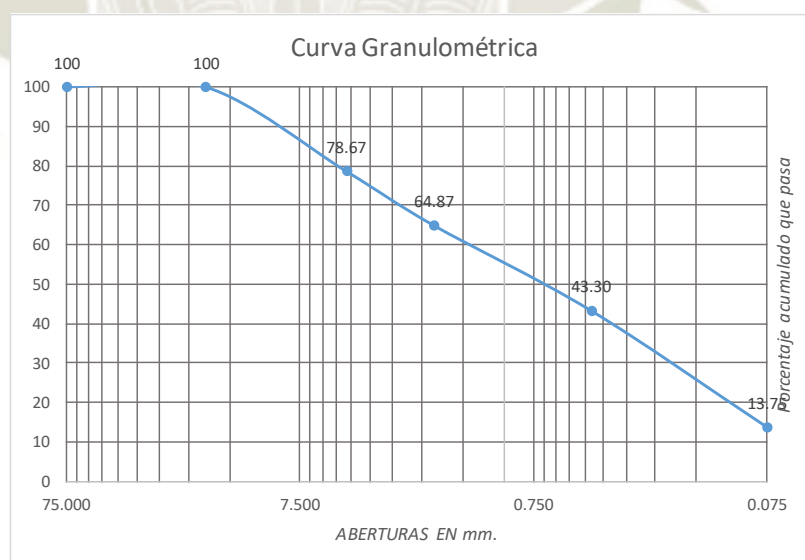
NTP 339.134

Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)

Peso inicial de muestra		0.01 g	1000			
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido	% pasante
DESIGNACION	ABERTURA (mm)					
3"	75.000	-	52.3	-	-	100
3/4"	19.000	-	52.3	-	-	100
Nº 4	4.750	264.85	52.3	212.55	21.33	78.67
Nº 10	2.000	189.80	52.3	137.5	13.80	64.87
Nº 40	0.425	267.30	52.3	215.0	21.57	43.30
Nº 200	0.075	346.80	52.3	294.5	29.55	13.75
FONDO	0.000	189.30	52.3	137.0	13.75	0
Σ				996.55	100	

% Variación	0.01%	0.35
% Gravas	0.01%	21.33
% Arenas	0.01%	64.92
% Fino	0.01%	13.75

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
ARENA LIMOSA CON GRAVA	
SM	
Tiempo de permanencia requerido de especímenes en saturación para Proctor	
3 horas como mínimo	



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

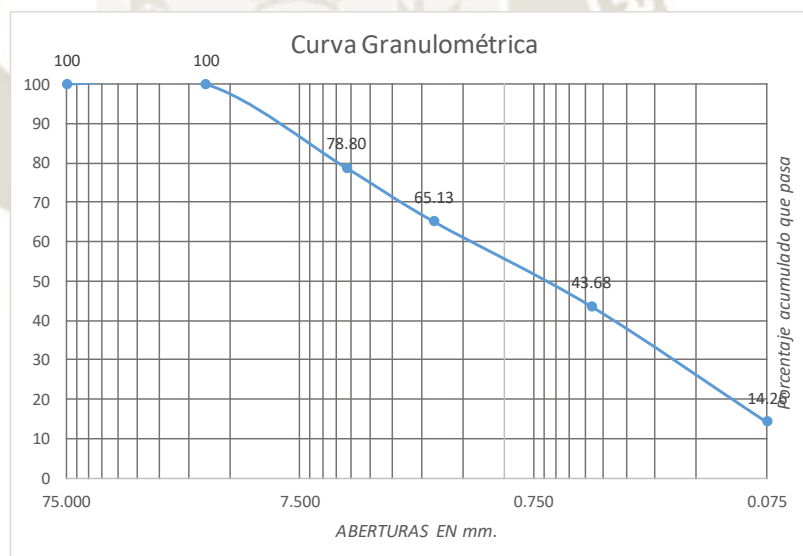
MUESTRA: M1

ASTM D2487	Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)
------------	--

Peso inicial de muestra		0.01 g	1000			
TAMICES		Peso de suelo + recipiente	Peso de recipiente	Peso de muestra	% retenido	% pasante
DESIGNACION	ABERTURA (mm)					
3"	75.000	-	52.3	-	-	100
3/4"	19.000	-	52.3	-	-	100
Nº 4	4.750	263.57	52.3	211.27	21.20	78.80
Nº 10	2.000	188.52	52.3	136.2	13.67	65.13
Nº 40	0.425	266.02	52.3	213.7	21.45	43.68
Nº200	0.075	345.52	52.3	293.2	29.42	14.26
FONDO	0.000	194.40	52.3	142.1	14.26	0
Σ				996.55	100	

% Variación	0.01%	0.35
% Gravas	0.01%	21.20
% Arenas	0.01%	64.54
% Fino	0.01%	14.26

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
ARENA LIMOSA CON GRAVA	
SM	
Tiempo de permanencia requerido de especímenes en saturación para Proctor	
3 horas como mínimo	



ANEXO E. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM - American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M1

NTP 339.141 Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³))

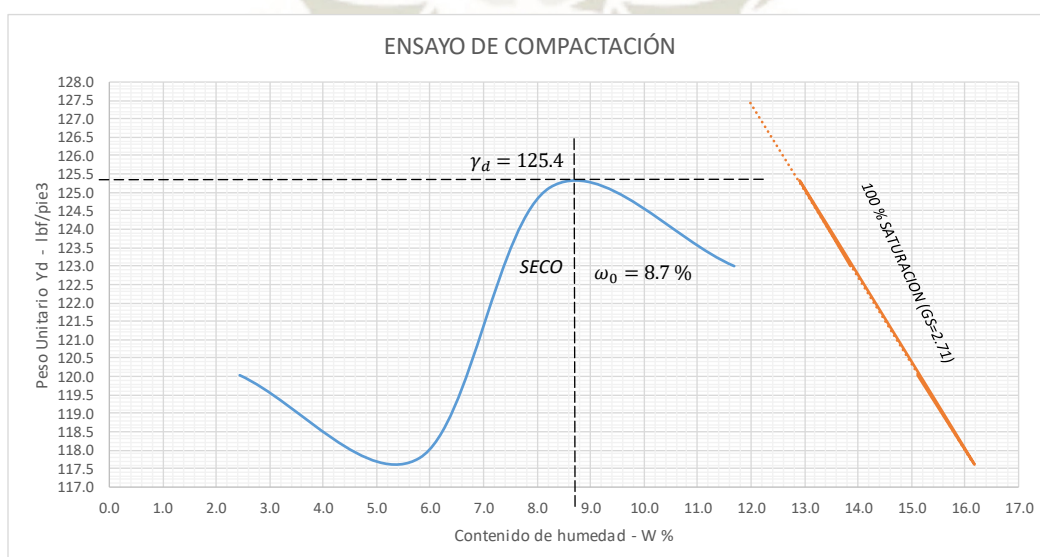
CALIBRACION DE MOLDE

Método	Llenado de agua	
Peso molde + platos	1g	1858
Peso molde + agua + plato	1g	2791
Temperatura	1°C	25
Peso de agua	1g	933

Densidad del agua a 25°C	0.99707
Volumen del molde	1 cm ³
Peso del molde	1g
	3970

METODO DE COMPACTACION: PROCTOR MODIFICADO METODO - A					
Volumen de molde (cm3)	936	Peso del molde		3970	
Numero de ensayo		1	2	3	4
Porcentaje de agua		3%	6%	9%	12%
Peso de suelo + Molde	(g)	5813	5838	6000	6029
Peso de suelo húmedo compactado	(1g)	1843	1868	2030	2059
Densidad húmeda del espécimen (Mg/m3)		1.97	2.00	2.17	2.20
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente		P1	P2	P3	P4
Peso suelo húmedo + tara	(0.1g)	2240.4	2251	2423.4	2425.6
peso suelo seco + tara	(0.1g)	2196.6	2148.6	2269.2	2212.8
peso de la tara	(0.1g)	403.1	386	398.5	392.6
peso del agua	(0.1g)	43.8	102.4	154.2	212.8
Peso de suelo seco	(0.1g)	1793.5	1762.6	1870.7	1820.2
Contenido de agua	(0.1%)	2.4	5.8	8.2	11.7
Densidad seca	(g/cm3)	1.92	1.89	2.00	1.97
Peso unitario seco	(KN/m3)	120.0	117.8	125.1	123.0
	(W/sat)	15.1	16.1	13.0	13.9

Descripción de pisón	Manual
Método de preparación	Seca
Gravedad específica (picnómetro)	2.71



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM - American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M2

NTP 339.141 Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³))

CALIBRACION DE MOLDE

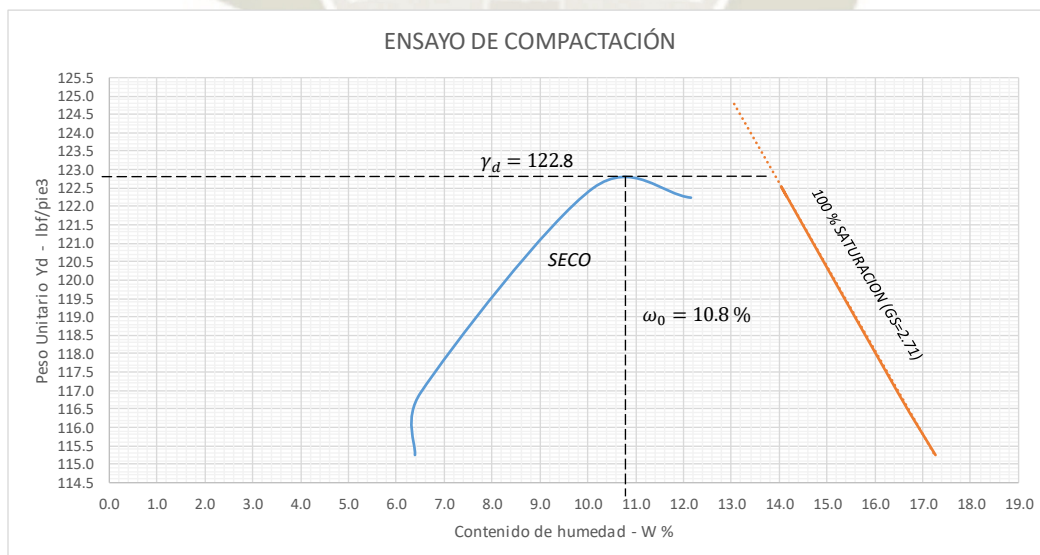
Método	Llenado de agua	
Peso molde + platos	1g	1858
Peso molde + agua + plato	1g	2791
Temperatura	1°C	25
Peso de agua	1g	933

Densidad del agua a 25°C		0.99707
Volumen del molde	1 cm ³	936
Peso del molde	1g	3970

METODO DE COMPACTACION: PROCTOR MODIFICADO METODO - A				
Volumen de molde (cm ³)	936	Peso del molde	3970	
Numero de ensayo	1	2	3	4
Porcentaje de agua	3%	6%	9%	12%
Peso de suelo + Molde	(g)	5808	5837	5992
Peso de suelo húmedo compactado	(1g)	1838	1867	2022
Densidad húmeda del espécimen (Mg/m ³)	1.96	2.00	2.16	2.20
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente	P1	P2	P3	P4
Peso suelo húmedo + tara	(0.1g)	1955.5	1986.5	2111.8
Peso suelo seco + tara	(0.1g)	1845.5	1873.1	1933.9
Peso de la tara	(0.1g)	126.3	132.5	174.7
Peso del agua	(0.1g)	110	113.4	177.9
Peso de suelo seco	(0.1g)	1719.2	1740.6	1759.2
Contenido de agua	(0.1%)	6.4	6.5	10.1
Densidad seca	(g/cm ³)	1.85	1.87	1.96
Peso unitario seco	(KN/m ³)	115.3	116.9	122.5
(Wsat)		17.3	16.5	14.1

Descripción de pisón	Manual
Método de preparación	Seca
Gravedad específica (picnómetro)	2.71

ENSAYO DE COMPACTACIÓN



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 - Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M1

MTC E115

Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (PROCTOR MODIFICADO)

CALIBRACION DE MOLDE

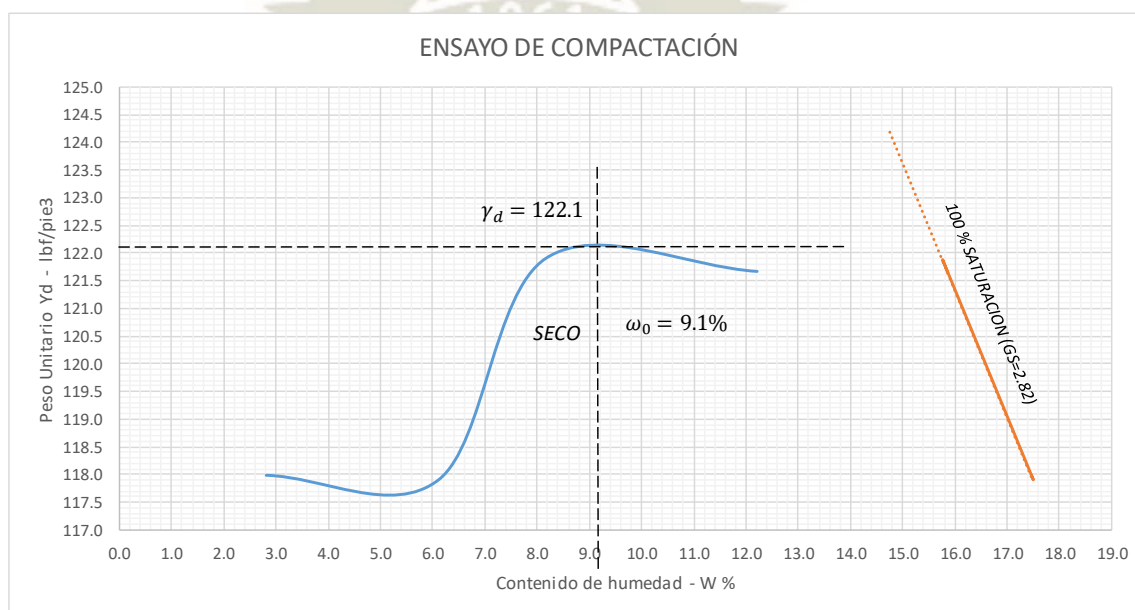
Metodo	Llenado de agua	
Peso molde + platos	1g	1858
Peso molde + agua + plato	1g	2791
Temperatura	1°C	25
Peso de agua	1g	933

Densidad del agua a 25°C		0.99707
Volumen del molde	1 cm ³	936
Peso del molde	1g	3970

METODO DE COMPACTACION: PROCTOR MODIFICADO METODO - A					
Volumen de molde (cm ³)	936	Peso del molde	3970		
Numero de ensayo	1	2	3	4	
Porcentaje de agua	3%	6%	9%	12%	
Peso de suelo + Molde	()	5788	5845	5946	6016
Peso de suelo humedo compactado (1g)		1818	1875	1976	2046
Densidad humeda del especimen (Mg/m ³)	1.94	2.00	2.11	2.19	
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente	P1	P2	P3	P4	
Peso suelo humedo + tara (0.1g)	1970.7	2053.9	2183	2227.9	
peso suelo seco + tara (0.1g)	1920.4	1943.4	2031.6	2004.8	
peso de la tara (0.1g)	126.5	132.6	175.1	176.4	
peso del agua (0.1g)	50.3	110.5	151.4	223.1	
Peso de suelo seco (0.1g)	1793.9	1810.8	1856.5	1828.4	
Contenido de agua (0.1%)	2.8	6.1	8.2	12.2	
Densidad seca (g/cm ³)	1.89	1.89	1.95	1.95	
Peso unitario seco (KN/m ³)	118.0	117.9	121.9	121.7	
(Wsat)	17.5	17.5	15.8	15.9	

Descripcion de pison	Manual
Metodo de preparacion	Seca
Gravedad epecifica (picnometro)	2.82

ENSAYO DE COMPACTACIÓN



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM - American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M3

NTP 339.141 Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³))

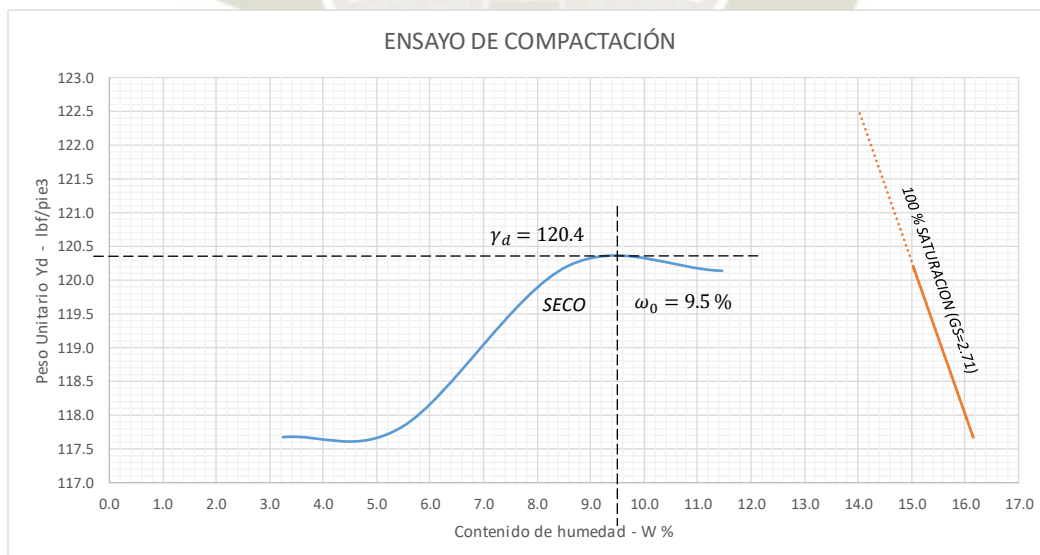
CALIBRACION DE MOLDE

Método	Llenado de agua	
Peso molde + platos	1g	1858
Peso molde + agua + plato	1g	2791
Temperatura	1°C	25
Peso de agua	1g	933

Densidad del agua a 25°C		0.99707
Volumen del molde	1 cm ³	936
Peso del molde	1g	3970

METODO DE COMPACTACION: PROCTOR MODIFICADO METODO - A				
Volumen de molde (cm ³)	936	Peso del molde	3970	
Numero de ensayo	1	2	3	4
Porcentaje de agua	3%	6%	9%	12%
Peso de suelo + Molde	(g)	5791	5833	5926
Peso de suelo húmedo compactado	(1g)	1821	1863	1956
Densidad húmeda del espécimen (Mg/m ³)	1.95	1.99	2.09	2.14
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente	P1	P2	P3	P4
Peso suelo húmedo + tara	(0.1g)	2221.4	1990.2	2071.9
Peso suelo seco + tara	(0.1g)	2164.1	1893.5	1918.3
Peso de la tara	(0.1g)	401.6	132.5	126.4
Peso del agua	(0.1g)	57.3	96.7	153.6
Peso de suelo seco	(0.1g)	1762.5	1761	1791.9
Contenido de agua	(0.1%)	3.3	5.5	8.6
Densidad seca	(g/cm ³)	1.88	1.89	1.93
Peso unitario seco	(KN/m ³)	117.7	117.8	120.2
(W _{sat})		16.2	16.1	15.0

Descripción de pisón	Manual
Método de preparación	Seca
Gravedad específica (picnómetro)	2.71



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERU) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M1

MTC E115

Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (PROCTOR MODIFICADO)

CALIBRACION DE MOLDE

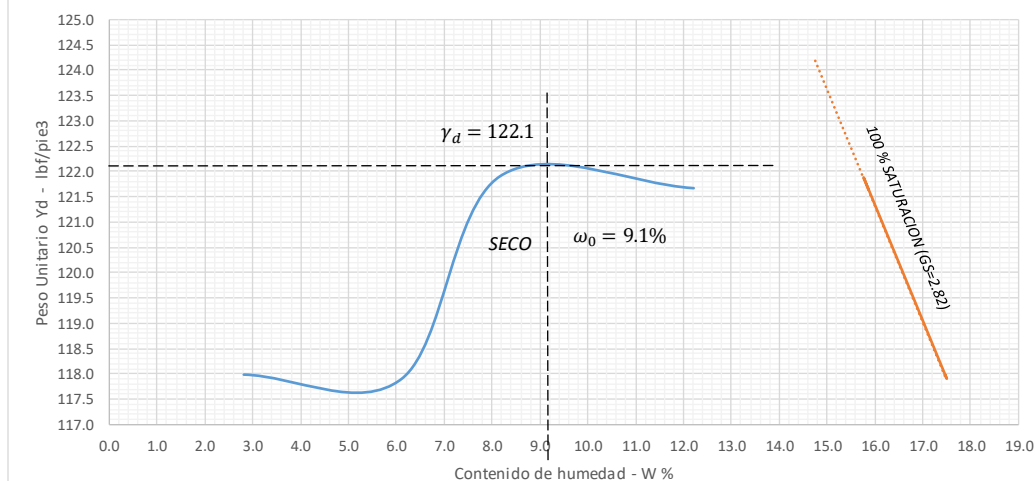
Método	Llenado de agua	
Peso molde + platos	1g	1858
Peso molde + agua + plato	1g	2791
Temperatura	1°C	25
Peso de agua	1g	933

Densidad del agua a 25°C	0.99707
Volumen del molde	1 cm ³
Peso del molde	1g
	3970

METODO DE COMPACTACION: PROCTOR MODIFICADO METODO - A				
Volumen de molde (cm ³)	936	Peso del molde	3970	
Numero de ensayo	1	2	3	4
Porcentaje de agua	3%	6%	9%	12%
Peso de suelo + Molde	5788	5845	5946	6016
Peso de suelo húmedo compactado	1818	1875	1976	2046
Densidad húmeda del espécimen (Mg/m ³)	1.94	2.00	2.11	2.19
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente	P1	P2	P3	P4
Peso suelo húmedo + tara	1970.7	2053.9	2183	2227.9
Peso suelo seco + tara	1920.4	1943.4	2031.6	2004.8
Peso de la tara	126.5	132.6	175.1	176.4
Peso del agua	50.3	110.5	151.4	223.1
Peso de suelo seco	1793.9	1810.8	1856.5	1828.4
Contenido de agua	2.8	6.1	8.2	12.2
Densidad seca	1.89	1.89	1.95	1.95
Peso unitario seco	118.0	117.9	121.9	121.7
(W _{sat})	17.5	17.5	15.8	15.9

Descripción de pisón	Manual
Método de preparación	Seca
Gravedad específica (picnómetro)	2.82

ENSAYO DE COMPACTACIÓN



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M2

MTC E115

Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (PROCTOR MODIFICADO)

CALIBRACION DE MOLDE

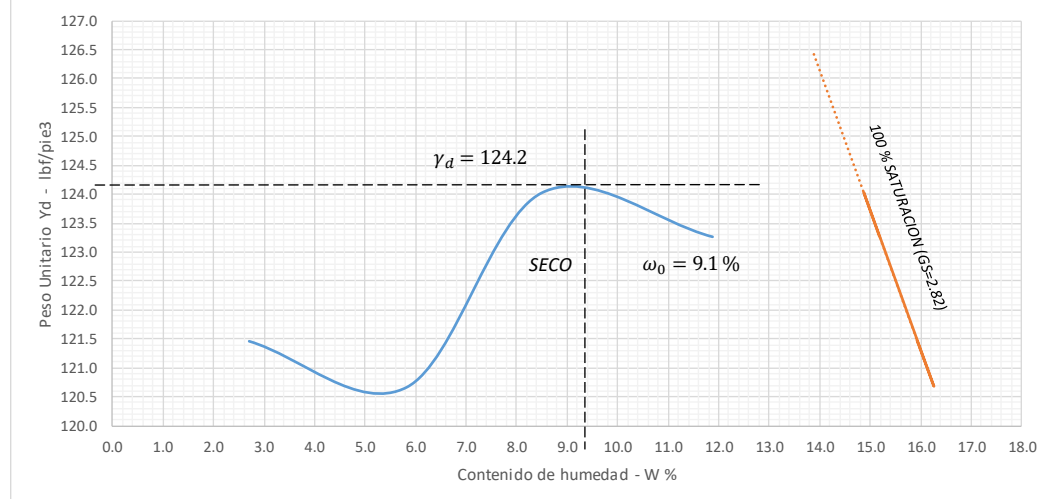
Método	Llenado de agua	
Peso molde + platos	1g	1858
Peso molde + agua + plato	1g	2791
Temperatura	1°C	25
Peso de agua	1g	933

Densidad del agua a 25°C	0.99707
Volumen del molde	1 cm ³
Peso del molde	1g
	3970

METODO DE COMPACTACION: PROCTOR MODIFICADO METODO - A				
Volumen de molde (cm ³)	936	Peso del molde	3970	
Numero de ensayo	1	2	3	4
Porcentaje de agua	3%	6%	9%	12%
Peso de suelo + Molde	5840	5884	5987	6037
Peso de suelo húmedo compactado	1870	1914	2017	2067
Densidad húmeda del espécimen (Mg/m ³)	2.00	2.05	2.16	2.21
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente	P1	P2	P3	P4
Peso suelo húmedo + tara	1956.2	2053.9	2183.7	2227.9
peso suelo seco + tara	1907.9	1948.2	2026.4	2010.2
peso de la tara	126.5	132.6	175.1	176.4
peso del agua	48.3	105.7	157.3	217.7
Peso de suelo seco	1781.4	1815.6	1851.3	1833.8
Contenido de agua	2.7	5.8	8.5	11.9
Densidad seca	1.95	1.93	1.99	1.97
Peso unitario seco (KN/m ³)	121.5	120.7	124.0	123.3
(W _{sat})	15.9	16.3	14.9	15.2

Descripción de pisón	Manual
Método de preparación	Seca
Gravedad específica (picnómetro)	2.82

ENSAYO DE COMPACTACIÓN



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M3

MTC E115

Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (PROCTOR MODIFICADO)

CALIBRACION DE MOLDE

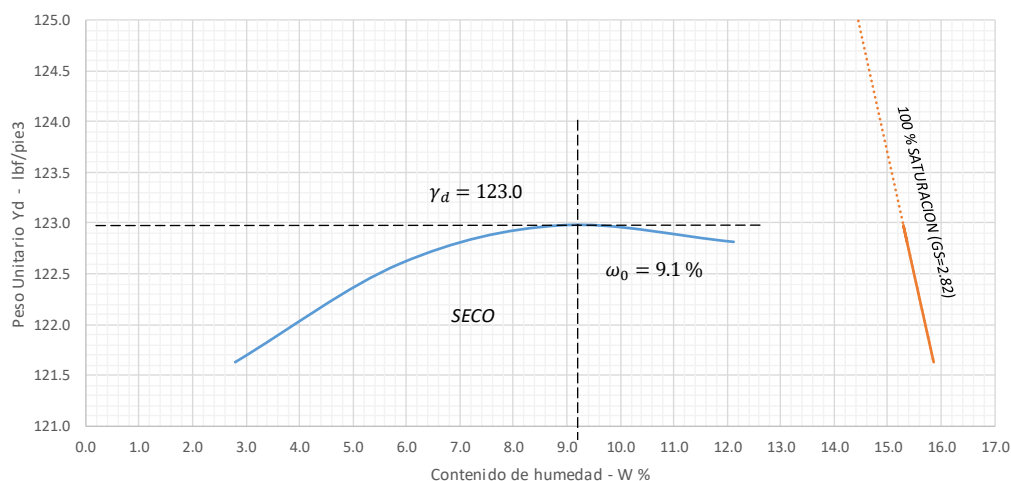
Metodo	Llenado de agua	
Peso molde + platos	1g	1858
Peso molde + agua + plato:	1g	2791
Temperatura	1°C	25
Peso de agua	1g	933

Densidad del agua a 25°C	0.99707
Volumen del molde	1 cm ³
Peso del molde	1g
	3970

METODO DE COMPACTACION: PROCTOR MODIFICADO METODO - A				
Volumen de molde (cm ³)	936	Peso del molde	3970	
Numero de ensayo	1	2	3	4
Porcentaje de agua	3%	6%	9%	12%
Peso de suelo + Molde	5844	5916	5977	6034
Peso de suelo humedo compactado (1g)	1874	1946	2007	2064
Densidad humeda del especimen (Mg/m ³)	2.00	2.08	2.14	2.21
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente	P1	P2	P3	P4
Peso suelo humedo + tara (0.1g)	1973.8	2051.3	2169.7	2232.5
peso suelo seco + tara (0.1g)	1923.5	1944.4	2006.9	2010.1
peso de la tara (0.1g)	126.5	132.6	175.1	176.4
peso del agua (0.1g)	50.3	106.9	162.8	222.4
Peso de suelo seco (0.1g)	1797	1811.8	1831.8	1833.7
Contenido de agua (0.1%)	2.8	5.9	8.9	12.1
Densidad seca (g/cm ³)	1.95	1.96	1.97	1.97
Peso unitario seco (KN/m ³)	121.6	122.6	123.0	122.8
(Wsat)	15.9	15.5	15.3	15.4

Descripcion de pison	Manual
Metodo de preparacion	Seca
Gravedad especifica (picnometro)	2.82

ENSAYO DE COMPACTACIÓN



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M1

ASTM D1557

Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³))

CALIBRACION DE MOLDE

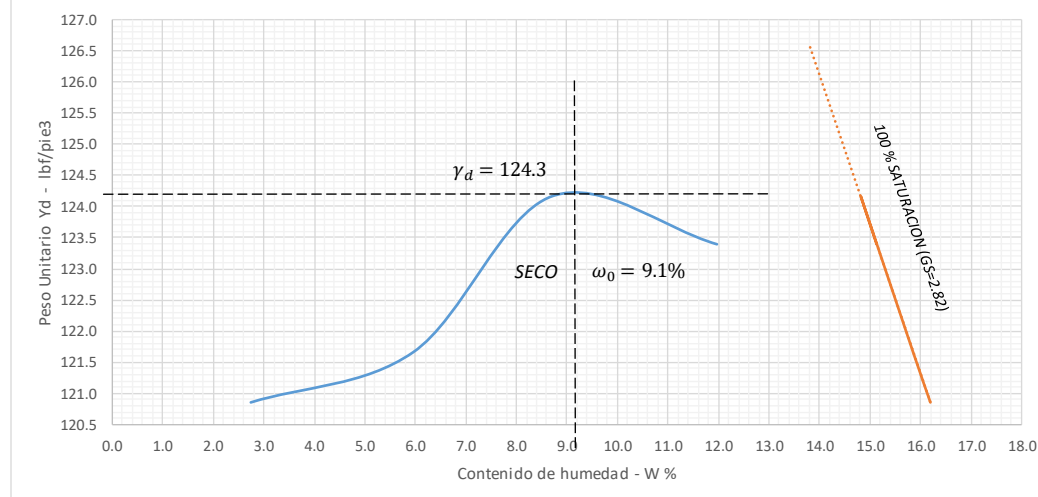
Método	Llenado de agua	
Peso molde + platos	1g	1858
Peso molde + agua + plato	1g	2791
Temperatura	1°C	25
Peso de agua	1g	933

Densidad del agua a 25°C	0.99707
Volumen del molde	1 cm ³
Peso del molde	1g
	3970

MÉTODO DE COMPACTACIÓN: PROCTOR MODIFICADO MÉTODO - A				
Volumen de molde (cm ³)	936	Peso del molde	3970	
Numero de ensayo	1	2	3	4
Porcentaje de agua	3%	6%	9%	12%
Peso de suelo + Molde	5831	5902	5993	6041
Peso de suelo húmedo compactado (1g)	1861	1932	2023	2071
Densidad húmeda del espécimen (Mg/m ³)	1.99	2.06	2.16	2.21
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente	P1	P2	P3	P4
Peso suelo húmedo + tara (0.1g)	1783.5	2061.2	2192.1	2239.1
Peso suelo seco + tara (0.1g)	1739.4	1952.9	2030.6	2018.5
Peso de la tara (0.1g)	126.4	132.6	175	176.5
Peso del agua (0.1g)	44.1	108.3	161.5	220.6
Peso de suelo seco (0.1g)	1613	1820.3	1855.6	1842
Contenido de agua (0.1%)	2.7	5.9	8.7	12.0
Densidad seca (g/cm ³)	1.94	1.95	1.99	1.98
Peso unitario seco (KN/m ³)	120.9	121.7	124.2	123.4
(W _{sat})	16.2	15.9	14.8	15.1

Descripción de pisón	Manual
Método de preparación	Seca
Gravedad específica (picnómetro)	2.82

ENSAYO DE COMPACTACIÓN



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M2

ASTM D1557

Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³))

CALIBRACION DE MOLDE

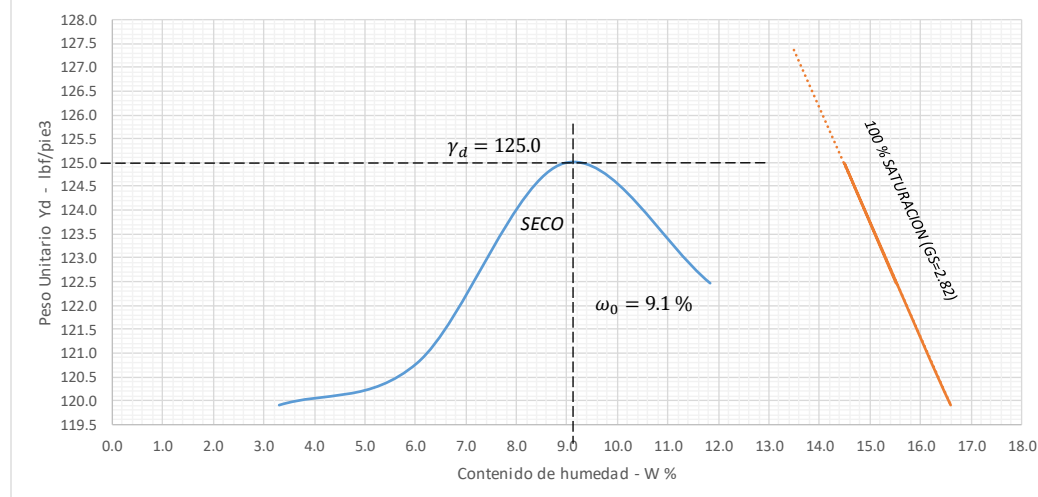
Metodo	Llenado de agua	
Peso molde + platos	1g	1858
Peso molde + agua + plato	1g	2791
Temperatura	1°C	25
Peso de agua	1g	933

Densidad del agua a 25°C	0.99707
Volumen del molde	1 cm ³
Peso del molde	1g

METODO DE COMPACTACION: PROCTOR MODIFICADO METODO - A				
Volumen de molde (cm ³)	936	Peso del molde	3970	
Numero de ensayo	1	2	3	4
Porcentaje de agua	3%	6%	9%	12%
Peso de suelo + Molde	5827	5890	6011	6023
Peso de suelo húmedo compactado	1857	1920	2041	2053
Densidad húmeda del espécimen (Mg/m ³)	1.98	2.05	2.18	2.19
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente	P1	P2	P3	P4
Peso suelo húmedo + tara	1977.3	2047.3	2203.4	2221.7
Peso suelo seco + tara	1917.9	1938.2	2036.8	2005.2
Peso de la tara	126.3	132.5	174.7	176.2
Peso del agua	59.4	109.1	166.6	216.5
Peso de suelo seco	1791.6	1805.7	1862.1	1829
Contenido de agua	3.3	6.0	8.9	11.8
Densidad seca	1.92	1.93	2.00	1.96
Peso unitario seco	119.9	120.8	125.0	122.5
(W _{sat})	16.6	16.2	14.5	15.5

Descripción de pisón	Manual
Metodo de preparación	Seca
Gravedad específica (picnómetro)	2.82

ENSAYO DE COMPACTACIÓN



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MUESTRA: M3

ASTM D1557

Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³))

CALIBRACION DE MOLDE

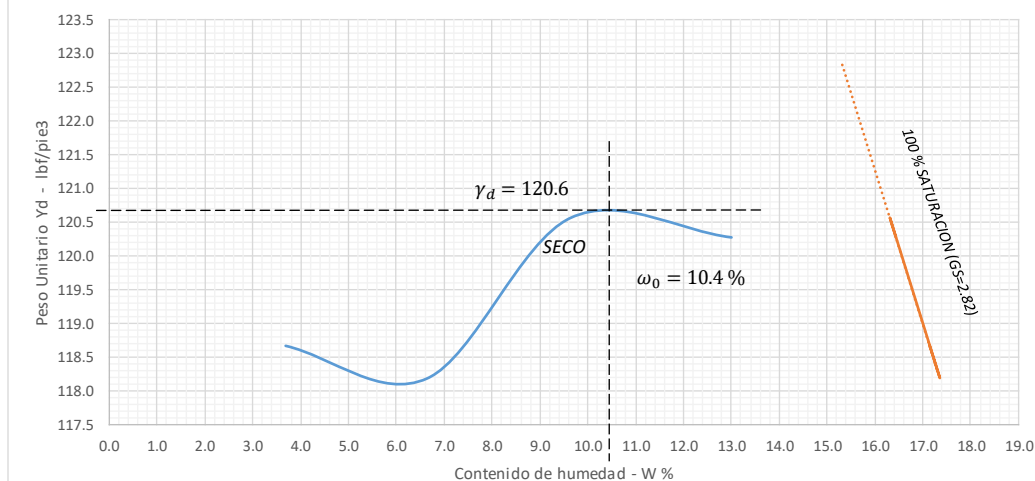
Método	Llenado de agua	
Peso molde + platos	1g	1858
Peso molde + agua + plato	1g	2791
Temperatura	1°C	25
Peso de agua	1g	933

Densidad del agua a 25°C	0.99707
Volumen del molde	1 cm ³
Peso del molde	1g

MÉTODO DE COMPACTACIÓN: PROCTOR MODIFICADO MÉTODO - A				
Volumen de molde (cm ³)	936	Peso del molde	3970	
Numero de ensayo	1	2	3	4
Porcentaje de agua	3%	6%	9%	12%
Peso de suelo + Molde	5814	5859	5951	6007
Peso de suelo húmedo compactado	1844	1889	1981	2037
Densidad húmeda del espécimen (Mg/m ³)	1.97	2.02	2.12	2.18
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente	P1	P2	P3	P4
Peso suelo húmedo + tara	2225.1	2283.1	2379.1	2421.6
Peso suelo seco + tara	2159.9	2165.8	2205.5	2188.1
Peso de la tara	385.7	398.5	403	391.9
Peso del agua	65.2	117.3	173.6	233.5
Peso de suelo seco	1774.2	1767.3	1802.5	1796.2
Contenido de agua	3.7	6.6	9.6	13.0
Densidad seca	1.90	1.89	1.93	1.93
Peso unitario seco (KN/m ³)	118.7	118.2	120.6	120.3
(W _{sat})	17.1	17.4	16.3	16.4

Descripción de pisón	Manual
Método de preparación	Seca
Gravedad específica (picnómetro)	2.82

ENSAYO DE COMPACTACIÓN



ANEXO F. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

NTP 339.143

Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in - situ mediante el método del cono de arena

1. CALIBRACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA ARENA

Método	Llenado de agua			
Peso molde + platos	1g	1858	Densidad del agua a 25°C	0.99707
Peso molde + agua + platos	1g	2791	Volumen del molde	1 cm3
Temperatura	1°C	25	Peso del molde	1g
Peso de agua	1g	933		3970

Descripción	Simbología	Unidades	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Masa de la arena + masa del contenedor de calibración	M_{s+c}	g.	5457		
Masa del contenedor de calibración	M_c	g.	3970		
Masa de la arena para llenar el contenedor de calibración	M_s	g.	1487		
Volumen del contenedor de calibración	V_1	cm3	936		
Densidad de la arena de calibración	ρ_1	g/cm3	1.59		
Densidad promedio de la arena de calibración	ρ_1	g/cm3		1.59	

2. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Descripción	Simbología	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Masa del aparato + arena calibrada	M_{C+A}	g.	7163	7163	7162
Masa del aparato + arena calibrada restante.	M_{C+AR}	g.	5332	5331	5329
Masa de la arena utilizada para llenar el cono.	M_{AB}	g.	1831	1832	1833
Promedio de la masa de arena usada en el cono.	P_{MAR}	g.		1832	
Variación Máxima de valores $\leq 1\%$			0.05%	0.00%	0.05%
			BIEN	BIEN	BIEN

3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

3.1. Cálculo de Volumen del orificio:

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	UND.	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
Masa del aparato + arena calibrada	M_{C+A}	g.	7330	7311	7284
Masa del aparato + arena calibrada restante.	M_{C+AR}	g.	3073	3032	3157
Masa de la arena utilizada para llenar el orificio	M_1	g.	4257	4279	4127
Masa de la arena utilizada para llenar el cono y plato base	M_2	g.	1832	1832	1832
Densidad de la arena calibrada	ρ_1	g/cm3	1.59	1.59	1.59
Volumen del orificio de prueba	V	cm3	1526	1540	1444

3.2. Cálculo de la masa seca extraída del orificio:

Descripción	Simbología	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Muestra húmeda + tara	M_H	g.	3168	3105	3614
Muestra seca + tara	M_S	g.	3058	2967	3470
Peso de la tara	M_t	g.	308	250	861
Contenido de Humedad	W	%	4.00	5.08	5.52

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	UND.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Contenido de humedad del material extraído	W	%	4.00	5.08	5.52
Masa húmeda del material hueco ensayado	M_3	g.	2860	2855	2753
Masa seca del material del hueco de ensayo	M_4	g.	2750	2717	2609

3.3. Cálculo de la densidad húmeda y seca in-situ de material ensayado:

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	UND.	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
Volumen del orificio de prueba.	V	cm3	1526	1540	1444
Masa húmeda del material del orificio de prueba.	M_3	g.	2860	2855	2753
Masa seca del material del orificio de prueba.	M_4	g.	2750	2717	2609
Densidad húmeda/Peso unitario húmedo del material probado.	ρ_m	g/cm3	1.87	1.85	1.91
Densidad seco/Peso unitario seco del material probado.	ρ_d	g/cm3	1.80	1.76	1.81

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM - American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

MTC E117

Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo in - situ mediante el método del cono de arena

1. CALIBRACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA ARENA

Método	Llenado de agua	
Peso molde + platos	1g	1858
Peso molde + agua + platos	1g	2791
Temperatura	1°C	25
Peso de agua	1g	933

Densidad del agua a 25°C	0.99707
Volumen del molde	1 cm3
Peso del molde	1g
	3970

Precisión: 1 g.

Descripción	Simbología	Unidades	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Masa de la arena + masa del contenedor de calibración	M_{s+c}	g.	5457		
Masa del contenedor de calibración	M_c	g.	3970		
Masa de la arena para llenar el contenedor de calibración	M_s	g.	1487		
Volumen del contenedor de calibración	V_1	cm3	936		
Densidad de la arena de calibración	ρ_1	g/cm3	1.59		
Densidad promedio de la arena de calibración	ρ_1	g/cm3		1.59	

2. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Precisión: 1 g.

Descripción	Simbología	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Masa del aparato + arena calibrada	M_{C+A}	g.	7163	7163	7162
Masa del aparato + arena calibrada restante.	M_{C+AR}	g.	5332	5331	5329
Masa de la arena utilizada para llenar el cono.	M_{AB}	g.	1831	1832	1833
Promedio de la masa de arena usada en el cono.	P_{MAR}	g.		1832	
Variación Máxima de valores $\leq 1\%$			0.05%	0.00%	0.05%
			BIEN	BIEN	BIEN

3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

3.1. Cálculo de Volumen del orificio:

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGIA	UND.	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
Masa del aparato + arena calibrada	M_{C+A}	g.	7330	7311	7284
Masa del aparato + arena calibrada restante.	M_{C+AR}	g.	3073	3032	3157
Masa de la arena utilizada para llenar el orificio	M_1	g.	4257	4279	4127
Masa de la arena utilizada para llenar el cono y plato base	M_2	g.	1832	1832	1832
Densidad de la arena calibrada	ρ_1	g/cm3	1.59	1.59	1.59
Volumen del orificio de prueba	V	cm3	1526	1540	1444

3.2. Cálculo de la masa seca extraída del orificio:

Descripción	Simbología	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Muestra húmeda + tara	M_H	g.	3168	3105	3614
Muestra seca + tara	M_S	g.	3058	2967	3470
Peso de la tara	M_t	g.	308	250	861
Contenido de Humedad	W	%	4.00	5.08	5.52

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGIA	UND.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Contenido de humedad del material extraído	W	%	4.00	5.08	5.52
Masa húmeda del material hueco ensayado	M_3	g.	2860	2855	2753
Masa seca del material del hueco de ensayo	M_4	g.	2750	2717	2609

3.3. Cálculo de la densidad húmeda y seca in-situ de material ensayado:

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGIA	UND.	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
Volumen del orificio de prueba.	V	cm3	1526	1540	1444
Masa húmeda del material del orificio de prueba.	M_3	g.	2860	2855	2753
Masa seca del material del orificio de prueba.	M_4	g.	2750	2717	2609
Densidad húmeda/Peso unitario húmedo del material probado.	ρ_m	g/cm3	1.87	1.85	1.91
Densidad seco/Peso unitario seco del material probado.	ρ_d	g/cm3	1.80	1.76	1.81

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM - American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 - Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

ASTM D1556

Método de prueba estándar para densidad y peso unitario del suelo in - situ por el método del cono de arena

1. CALIBRACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA ARENA

Método	Llenado de agua
Peso molde + platos	1g
Peso molde + agua + platos	1g
Temperatura	1°C
Peso de agua	1g

Densidad del agua a 25°C	0.99707
Volumen del molde	1 cm3
Peso del molde	1g

Precisión: 1 g.		Simbología	Unidades	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Masa de la arena + masa del contenedor de calibración		M_{s+c}	g.	5457		
Masa del contenedor de calibración		M_c	g.	3970		
Masa de la arena para llenar el contenedor de calibración		M_s	g.	1487		
Volumen del contenedor de calibración		V_1	cm3	936		
Densidad de la arena de calibración		ρ_1	g/cm3	1.59		
Densidad promedio de la arena de calibración		ρ_1	g/cm3		1.59	

2. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Precisión: 1 g.		Simbología	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Masa del aparato + arena calibrada		M_{C+A}	g.	7163	7163	7162
Masa del aparato + arena calibrada restante.		$M_{C+A,R}$	g.	5332	5331	5329
Masa de la arena utilizada para llenar el cono.		$M_{A,B}$	g.	1831	1832	1833
Promedio de la masa de arena usada en el cono.		$P_{M_{A,B}}$	g.		1832	
Variación Máxima de valores $\leq 1\%$				0.05%	0.00%	0.05%
				BIEN	BIEN	BIEN

3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

3.1. Cálculo de Volumen del orificio:

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGIA	UND.	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
Masa del aparato + arena calibrada	M_{C+A}	g.	7330	7311	7284
Masa del aparato + arena calibrada restante.	$M_{C+A,R}$	g.	3073	3032	3157
Masa de la arena utilizada para llenar el orificio	M_1	g.	4257	4279	4127
Masa de la arena utilizada para llenar el cono y plato base	M_2	g.	1832	1832	1832
Densidad de la arena calibrada	ρ_1	g/cm3	1.59	1.59	1.59
Volumen del orificio de prueba	V	cm3	1526	1540	1444

3.2. Cálculo de la masa seca extraída del orificio:

Descripción	Simbología	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Muestra húmeda + tara	M_H	g.	3168	3105	3614
Muestra seca + tara	M_S	g.	3058	2967	3470
Peso de la tara	M_t	g.	308	250	861
Contenido de Humedad	W	%	4.00	5.08	5.52

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGIA	UND.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Contenido de humedad del material extraído	W	%	4.00	5.08	5.52
Masa húmeda del material hueco ensayado	M_3	g.	2860	2855	2753
Masa seca del material del hueco de ensayo	M_4	g.	2750	2717	2609

3.3. Cálculo de la densidad húmeda y seca in-situ de material ensayado:

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGIA	UND.	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
Volumen del orificio de prueba.	V	cm3	1526	1540	1444
Masa húmeda del material del orificio de prueba.	M_3	g.	2860	2855	2753
Masa seca del material del orificio de prueba.	M_4	g.	2750	2717	2609
Densidad húmeda/Peso unitario húmedo del material probado.	ρ_m	g/cm3	1.87	1.85	1.91
Densidad seco/Peso unitario seco del material probado.	ρ_d	g/cm3	1.80	1.76	1.81

ANEXO G. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

Muestra M-1

NTP 339.129

Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

Proceso de selección Pasante N° 40

Procedimiento empleado: Multipunto

Muestra seca al: Aire

Método de preparación: Húmedo

DESCRIPCION		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO			
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
Masa de suelo húmedo + tara	0.01 g	55.92	49.92	48.28	51.69	-	-	-	
masa de suelo seco + tara	0.01 g	50.13	44.27	43.57	46.20	-	-	-	
Masa de tara	0.01 g	26.23	26.39	26.25	25.88	-	-	-	
Masa de agua empleada	0.01 g	5.79	5.65	4.71	5.49	-	-	-	
Contenido de humedad	%	24.23	31.60	27.19	27.02	-	-	-	
Numero de golpes	-	-	3.00	5.00	7.00	-	-	-	

GRÁFICA DE LIMITE LÍQUIDO



RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	-
LIMITE PLASTICO	NP
INDICE DE PLASTICIDAD	NP

IDENTIFICACION DEL MATERIAL PASANTE N° 40	
Símbolo	-
Nombre	No Plástico

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 -Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

Muestra M-1

NTP 339.129

Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

Proceso de selección Pasante Nº 40

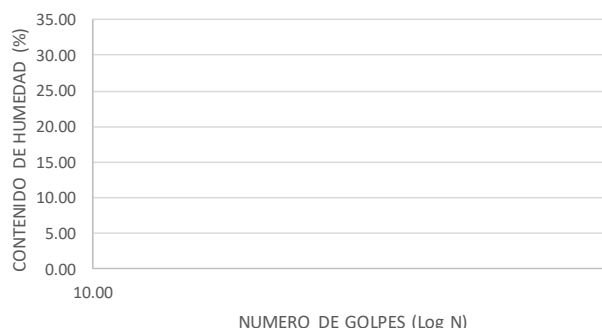
Procedimiento empleado: Multipunto

Muestra seca al: Aire

Método de preparación: Seco

DESCRIPCION		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO			
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
Masa de suelo húmedo + tara	0.01 g	50.79	51.38	53.14	49.91	-	-	-	
masa de suelo seco + tara	0.01 g	45.19	45.97	47.93	45.60	-	-	-	
Masa de tara	0.01 g	26.14	26.37	26.16	26.31	-	-	-	
Masa de agua empleada	0.01 g	5.60	5.41	5.21	4.31	-	-	-	
Contenido de humedad	%	29.40	27.60	23.93	22.34	-	-	-	
Numero de golpes	-	4.00	9.00	13.00	-	-	-	-	

GRÁFICA DE LIMITE LÍQUIDO



RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	-
LIMITE PLASTICO	NP
INDICE DE PLASTICIDAD	NP

IDENTIFICACION DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo	-
Nombre	No Plástico

\

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 - Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

Muestra M-1

MTC E 110-E 111 Determinación del límite líquido de los suelos - Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad.

Proceso de selección Pasante N° 40

Procedimiento empleado: Multipunto

Muestra seca al: Aire

Método de preparación: Húmedo

DESCRIPCION		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO			
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
Masa de suelo húmedo + tara	0.01 g	48.25	49.12	48.26	-	-	-	-	
masa de suelo seco + tara	0.01 g	44.12	43.97	44.03	-	-	-	-	
Masa de tara	0.01 g	26.23	25.88	26.25	-	-	-	-	
Masa de agua empleada	0.01 g	4.13	5.15	4.23	-	-	-	-	
Contenido de humedad	%	23.09	28.47	23.79	-	-	-	-	
Numero de golpes	-	-	6.00	9.00	-	-	-	-	

GRÁFICA DE LIMITE LÍQUIDO



RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	-
LIMITE PLASTICO	NP
INDICE DE PLASTICIDAD	NP

IDENTIFICACION DEL MATERIAL PASANTE N° 40	
Símbolo	-
Nombre	No Plástico

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 - Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

Muestra M-2

MTC E 110-E 111 Determinación del límite líquido de los suelos - Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad.

Proceso de selección Pasante Nº 40

Procedimiento empleado: Multipunto

Muestra seca al: Aire

Método de preparación: Seco

DESCRIPCION		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO			
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
Masa de suelo húmedo + tara	0.01 g	54.14	49.62	49.07	50.27	-	-	-	
masa de suelo seco + tara	0.01 g	49.05	45.00	44.63	46.03	-	-	-	
Masa de tara	0.01 g	26.14	26.45	25.54	26.81	-	-	-	
Masa de agua empleada	0.01 g	5.09	4.62	4.44	4.24	-	-	-	
Contenido de humedad	%	22.22	24.91	23.26	22.06	-	-	-	
Numero de golpes	-	-	7.00	10.00	-	-	-	-	

GRÁFICA DE LIMITE LÍQUIDO



RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	-
LIMITE PLASTICO	NP
INDICE DE PLASTICIDAD	NP

IDENTIFICACION DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo	-
Nombre	No Plástico

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 - Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

Muestra M-1

ASTM D 4318

Métodos estándar de ensayo para Límite líquido, límite plástico, y el índice de plasticidad de los suelos

Proceso de selección Pasante Nº 40

Procedimiento empleado: Multipunto

Muestra seca al: Aire

Método de preparación: Húmedo

DESCRIPCION		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO			
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
Masa de suelo humedo + tara	0.01 g	51.14	48.28	49.92	-	-	-	-	-
masa de suelo seco + tara	0.01 g	45.83	44.01	45.40	-	-	-	-	-
Masa de tara	0.01 g	26.23	26.25	26.39	-	-	-	-	-
Masa de agua empleada	0.01 g	5.31	4.27	4.52	-	-	-	-	-
Contenido de humedad	%	27.09	24.04	23.78	-	-	-	-	-
Numero de golpes	-	6.00	8.00	-	-	-	-	-	-

GRÁFICA DE LIMITE LÍQUIDO



RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	-
LIMITE PLASTICO	NP
INDICE DE PLASTICIDAD	NP

IDENTIFICACION DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo	-
Nombre	No Plastico

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Av. Characato, AR-117, Arequipa 04300 - Mollebaya - Arequipa - Arequipa

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

Muestra M-1

ASTM D 4318

Métodos estándar de ensayo para Límite líquido, límite plástico, y el índice de plasticidad de los suelos

Proceso de selección Pasante Nº 40

Procedimiento empleado: Multipunto

Muestra seca al: Aire

Método de preparación: Seco

DESCRIPCION		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO			
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
Masa de suelo húmedo + tara	0.01 g	47.59	49.21	48.71	50.24	-	-	-	-
masa de suelo seco + tara	0.01 g	43.58	44.72	44.16	45.08	-	-	-	-
Masa de tara	0.01 g	26.42	26.17	26.36	26.39	-	-	-	-
Masa de agua empleada	0.01 g	4.01	4.49	4.55	5.16	-	-	-	-
Contenido de humedad	%	23.37	24.20	25.56	27.61	-	-	-	-
Numero de golpes	-	-	12.00	7.00	4.00	-	-	-	-

GRÁFICA DE LIMITE LÍQUIDO



RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	-
LIMITE PLASTICO	NP
INDICE DE PLASTICIDAD	NP

IDENTIFICACION DEL MATERIAL PASANTE Nº 40	
Símbolo	-
Nombre	No Plástico

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Carretera Panamericana Sur, KM 953 . Ruta: Valle de Vitor - Majes

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

Muestra M-1

NTP 339.129

Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

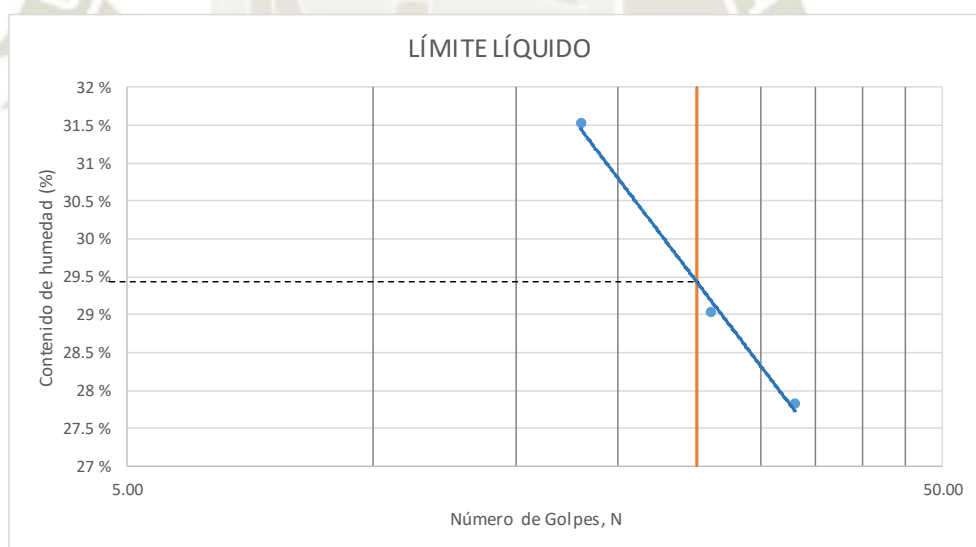
Proceso de selección Pasante N° 40

Procedimiento empleado: Multipunto

Muestra seca al: Aire

Método de preparación: Seco

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2		
Masa de suelo húmedo + tara	0.01 g	30.11	31.60	32.15	30.85	30.35		
masa de suelo seco + tara	0.01 g	27.68	28.97	29.54	29.74	29.29		
Masa de tara	0.01 g	19.97	19.91	20.16	23.82	23.81		
Masa de agua empleada	0.01 g	2.43	2.63	2.61	1.11	1.06		
Contenido de humedad	%	31.52	29.03	27.83	18.75	19.34		
Numero de golpes	-	18.00	26.00	33.00				



RESULTADOS	
LÍMITE LÍQUIDO	29.4
LÍMITE PLÁSTICO	19.0
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	10.4

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Carretera Panamericana Sur, KM 953 . Ruta: Valle de Vitor - Majes

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

Muestra M-1

MTC E 110 - E 111 Determinación del límite líquido de los suelos - Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad.

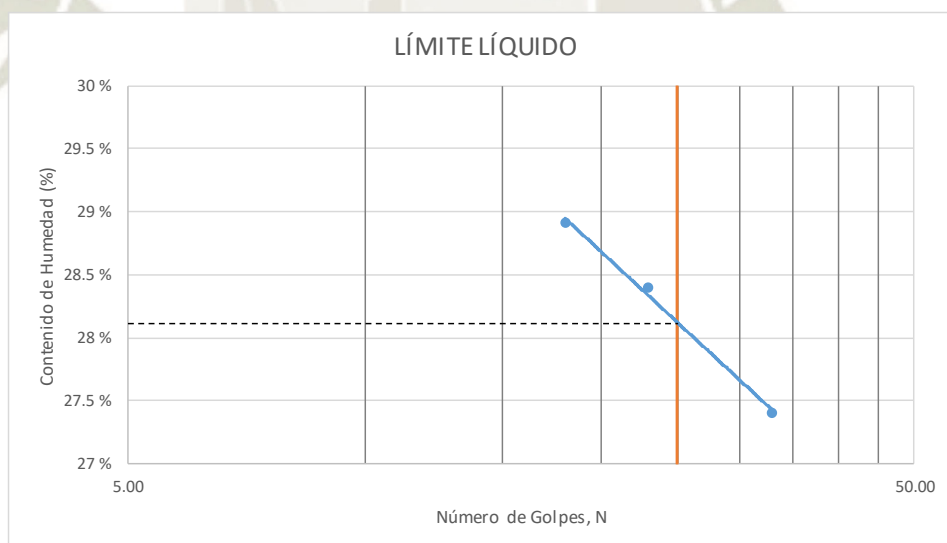
Proceso de selección Pasante N° 40

Procedimiento empleado: Multipunto

Muestra seca al: Aire

Metodo de preparación: Seco

DESCRIPCION		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2		
Masa de suelo humedo + tara	0.01 g	37.41	33.59	34.54	30.17	28.60		
masa de suelo seco + tara	0.01 g	34.38	31.18	32.03	29.14	27.51		
Masa de tara	0.01 g	23.90	22.69	22.87	23.59	21.89		
Masa de agua empleada	0.01 g	3.03	2.41	2.51	1.03	1.09		
Contenido de humedad	%	28.91	28.39	27.40	18.56	19.40		
Numero de golpes	-	18.00	23.00	33.00				



RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	28.2
LIMITE PLASTICO	19.0
INDICE DE PLASTICIDAD	9.2

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "Análisis y determinación de la variabilidad de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas NTP - Norma Técnica Peruana (PERU), MTC – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PERÚ) y ASTM – American Society for Testing Materials (USA)"

UBICACIÓN : Carretera Panamericana Sur, KM 953 . Ruta: Valle de Vitor - Majes

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Calicata "C-01"/Prof: 1.30m-1.60m

Muestra M-1

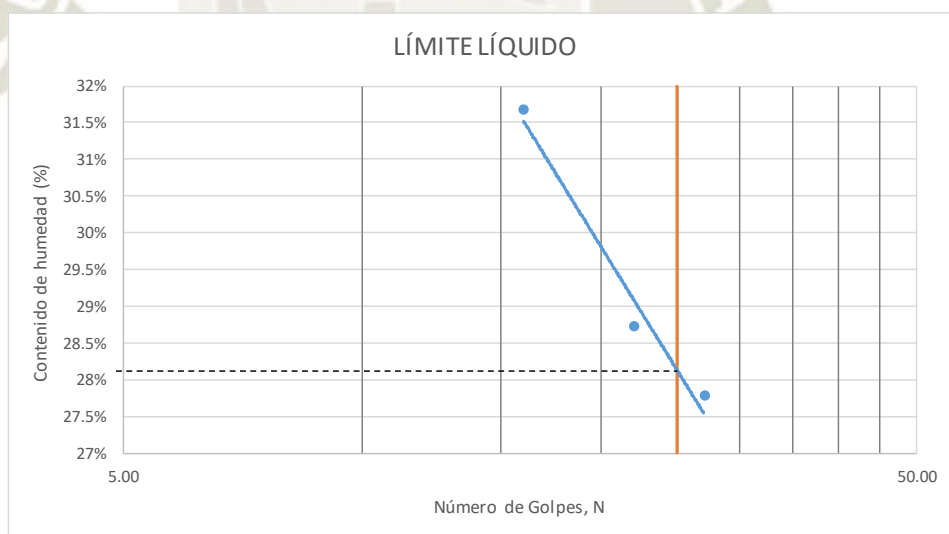
ASTM D 4318

Métodos estándar de ensayo para límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos.

Proceso de selección Pasante N° 40
Muestra seca al: Aire

Procedimiento empleado: Multipunto
Metodo de preparacion: Seco

DESCRIPCION		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			
		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 1	ENSAYO 2		
Masa de suelo humedo + tara	0.01 g	33.75	34.04	33.12	30.53	31.13		
masa de suelo seco + tara	0.01 g	31.34	31.72	30.52	29.38	30.04		
Masa de tara	0.01 g	23.73	23.64	21.16	23.44	23.99		
Masa de agua empleada	0.01 g	2.41	2.32	2.60	1.15	1.09		
Contenido de humedad	%	31.67	28.71	27.78	19.36	18.02		
Numero de golpes	-	16.00	22.00	27.00				



RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	28.2
LIMITE PLASTICO	18.7
INDICE DE PLASTICIDAD	9.5