

**Universidad Católica de Santa María**

**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente**

**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**



**“EVALUACIÓN Y ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LOS ENSAYOS  
DE DENSIDAD MAXIMA POR MEDIO DE UNA MESA VIBRATORIA Y  
EL ENSAYO DE COMPACTACIÓN MECANICA”**

Tesis presentada por el Bachiller:  
Purizaca Benavente, Juan José  
para optar el Título Profesional de:  
Ingeniero civil  
Asesor: Neira Arenas, July

**Arequipa, Perú**

**2020**

## AGRADECIMIENTO

*A Dios y a la Virgencita de Chapi por todas las bendiciones que me han  
dado en esta etapa de mi vida.*

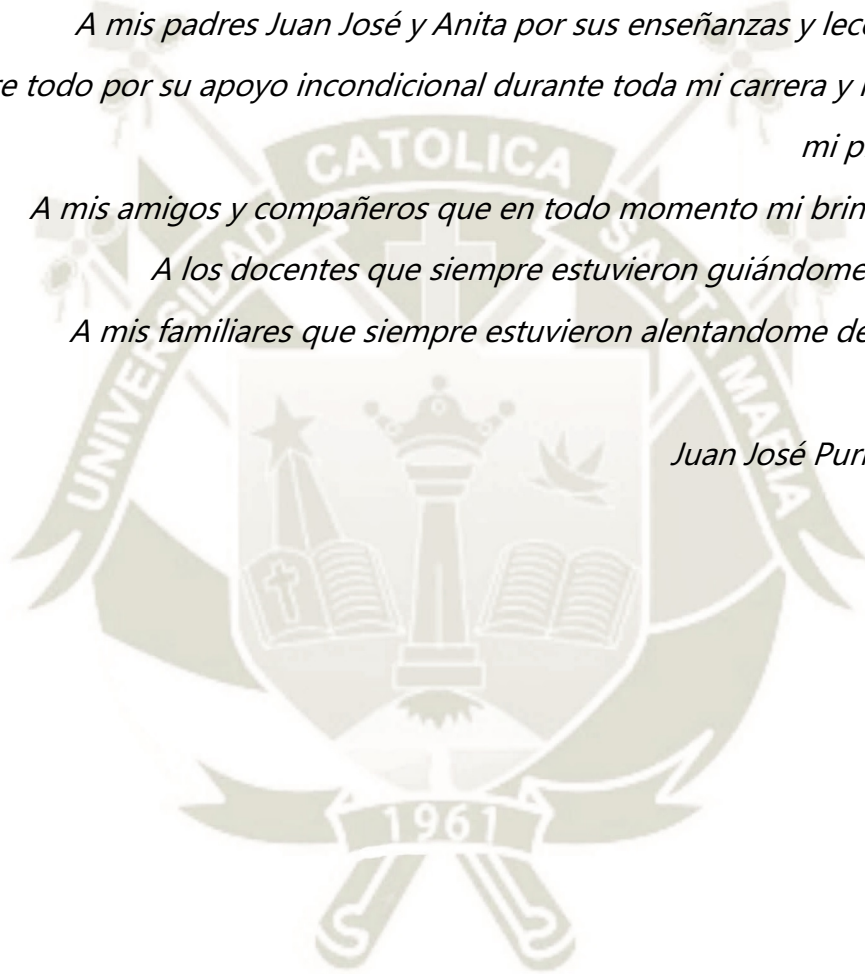
*A mis padres Juan José y Anita por sus enseñanzas y lecciones de vida y  
sobre todo por su apoyo incondicional durante toda mi carrera y la realización de  
mi proyecto de tesis*

*A mis amigos y compañeros que en todo momento me brindaron su apoyo*

*A los docentes que siempre estuvieron guiándome y apoyándome*

*A mis familiares que siempre estuvieron alentándome desde el principio*

*Juan José Purizaca Benavente*



## RESUMEN

El estudio de investigación se realizó en la ciudad de Arequipa, provincia y departamento de Arequipa, tomando seis (6) calicatas en diferentes zonas, y cuatro (4) canteras, de donde se extrajeron un total de diez (10) muestras para su respectivo estudio laboratorio.

Con las muestras extraídas, se procedió a realizar los ensayos básicos que son necesarios para cualquier estudio de los suelos, sin embargo, los ensayos que se realizaron minuciosamente y que son fuente de comparación en esta tesis, son los ensayos de Proctor Modificado (compactación por impacto) y Densidad Relativa (compactación por vibración), ya que ambos ensayos determinan el dato de Densidad seca máxima.

Obteniendo los resultados de las densidades máximas de las seis muestras de material propio y cuatro muestras de material de préstamo, se procedió a evaluar y analizar cada una de estas, pudiendo llegar a la conclusión que puede existir alguna correlación estadística entre dichas densidades, sin embargo, se tendrá que realizar mayor cantidad de ensayos para un mismo tipo de suelo.

### **Palabras clave:**

Densidad

Densidad seca mínima

Densidad seca máxima

## ABSTRACT

The research study was conducted in the city of Arequipa, province and department of Arequipa, taking six (6) calicates in different areas, and four (4) quarries, from which a total of ten (10) samples were extracted for their respective I study laboratory.

With the samples taken, we proceeded to perform the basic tests that are necessary for any soil study, however, the tests that were conducted thoroughly and that are a source of comparison in this thesis, are the Modified Proctor tests (compaction by impact) and Relative Density (vibration compaction), since both tests determine the maximum dry density data.

Obtaining the results of the maximum densities of the six samples of own material and four samples of loan material, we proceeded to evaluate and analyze each of these, being able to conclude that there may be some statistical correlation between these densities, however, you will have to perform more tests for the same type of soil.

Keywords:

Density

Minimum dry density

Maximum dry density

## INTRODUCCION

En el ámbito de la geotecnia, a través de varios estudios ya realizados se sabe que los suelos tienen particularidades infinitas, ya que sus propiedades físicas, mecánicas, químicas y biológicas son muy variables hasta en pequeños sectores, por este motivo el estudio de suelos se vuelve indispensable, una de las propiedades de los suelos es el peso unitario o la densidad, la cual está sujeta a otros varios aspectos del suelo como índice de vacíos, porosidad, drenaje, entre otros, además podemos decir que existen las densidades mínimas, máximas y naturales.

En la presente tesis, nos orientaremos hacia una investigación acerca de las densidades secas máximas, para lo cual realizaremos los ensayos pertinentes y esenciales de 10 muestras extraídas en la ciudad de Arequipa, tanto como material propio como material de préstamo.

Las densidades secas máximas se obtienen como resultado por medio de dos ensayos, Proctor Modificado (compactación por impacto) y Densidad Relativa (compactación por mesa vibratoria).

Se analizará y evaluará los datos obtenidos de ambos ensayos, para poder conocer si existe alguna diferencia o similitud entre ambos ensayos y así dar un aporte al área de geotecnia.

Para todos los ensayos a realizar se tomará como base las normas internacionales (ASTM) y nacionales (NTP y MTC), los cuales se explicarán minuciosamente su correcto procedimiento y los datos que se obtienen.

## INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	I
RESUMEN .....	II
ABSTRACT .....	III
INTRODUCCION .....	IV
INDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XIV
CAPÍTULO I .....	1
1. ASPECTOS GENERALES.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Justificación .....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo principal .....	3
1.3.2. Objetivo secundario .....	3
1.4. Normatividades.....	3
1.4.1. Normatividad.....	3
1.5. Descripción temática.....	5
CAPÍTULO II .....	7
2. MECÁNICA DE SUELOS.....	8
2.1. Definición .....	8
2.2. Propiedades Físicas de los suelos.....	9
2.2.1. Textura.....	9
2.2.2. Estructura .....	9
2.2.3. Color .....	9
2.2.4. Permeabilidad .....	10
2.2.5. Drenaje .....	10
2.2.6. Consistencia .....	10
2.3. Granulometría .....	10
2.4. Límites de Consistencia/Atterberg .....	11
2.4.1. Límite Líquido (LL) .....	11
2.4.2. Límite Plástico (LP).....	11
2.4.3. Límite Contracción (LC) .....	11
2.4.4. Índice de Plasticidad (IP) .....	11
2.5. Relaciones Volumen y Peso en los suelos .....	11
2.5.1. Contenido de humedad (w).....	11
2.5.2. Relación de vacíos (e) .....	12
2.5.3. Porosidad (n) .....	12
2.5.4. Grado de Saturación (S) .....	13
2.5.5. Peso Unitario (γ) .....	13
2.5.6. Gravedad específica de los sólidos (Gs) .....	14
2.6. Propiedades Mecánicas.....	14
2.6.1. Resistencia al corte.....	14

2.6.2.	Presión lateral del suelo.....	15
2.6.3.	Capacidad de carga.....	15
CAPÍTULO III .....		16
3.	DENSIDAD DE LOS SUELOS .....	17
3.1.	Concepto.....	17
3.2.	Tipo de densidades.....	18
3.2.1.	Peso específico seco - Densidad de los solidos .....	18
3.2.2.	Densidad aparente.....	18
3.2.3.	Densidad Natural o Densidad <i>in situ</i> .....	19
3.2.4.	Densidad mínima .....	19
3.2.5.	Densidad máxima .....	19
3.2.6.	Densidad Relativa.....	22
CAPÍTULO IV .....		24
4.	SECTORIZACIÓN Y TOMA DE MUESTRAS .....	25
4.1.	Planteamiento .....	25
4.1.1.	Técnica e Instrumentos.....	25
4.1.1.1.	Material Propio.....	25
4.1.1.2.	Material Préstamo.....	25
4.1.1.3.	Instrumentos .....	26
4.1.2.	Metodología .....	26
4.1.2.1.	Procedimiento I.....	26
4.1.2.2.	Procedimiento II.....	27
4.1.2.3.	Procesamiento de datos .....	27
4.2.	Sectorización del muestreo .....	27
4.2.1.	Extracción de material propio.....	27
4.2.2.	Extracción de material de préstamo.....	29
4.3.	Extracción de muestras.....	30
4.3.1.	Calicatas .....	30
4.3.1.1.	Acequia Alta.....	32
4.3.1.2.	Pachacutec .....	33
4.3.1.3.	Miraflores .....	34
4.3.1.4.	Yanahuara .....	35
4.3.1.5.	Socabaya.....	36
4.3.1.6.	Paucarpata .....	37
4.3.2.	Canteras .....	38
4.3.2.1.	El AzufraI .....	38
4.3.2.2.	Agregados Alvarez .....	39
4.3.2.3.	Los Portales.....	40
4.3.2.4.	Alto Misti .....	41
4.4.	Cuadro resumen de toma de muestras .....	42
4.5.	Perfil Estratigráfico .....	43
4.6.	Procesos en laboratorio .....	49
CAPÍTULO V .....		50
5.	ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS.....	51
5.1.	Alcance .....	51
5.2.	Ensayos de laboratorio .....	51

5.2.1.	Cuarteo de la muestra .....	51
5.2.2.	Contenido de humedad.....	52
5.2.3.	Muestras de Material Propio (Sub-rasante) .....	53
5.2.3.1.	Muestras de Material de Préstamo .....	56
5.2.4.	Granulometría .....	58
5.2.4.1.	Muestras de Material Propio (Sub-rasante) .....	59
5.2.4.2.	Muestras de Material de Préstamo .....	65
5.2.5.	Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad .....	69
5.2.5.1.	Muestras de Material Propio .....	70
5.2.5.2.	Muestras de Material de Préstamo .....	76
5.2.6.	Cono de Arena.....	80
5.2.6.1.	Muestras de Material Propio .....	81
5.2.6.2.	Muestras de Material Préstamo .....	87
5.3.	Análisis e Interpretación de resultados .....	91
5.3.1.	Clasificación de los suelos .....	91
5.3.1.1.	Granulometría.....	91
5.3.1.2.	Limite Líquido y plástico.....	91
5.4.	Contenido de humedad.....	94
5.4.1.	Muestras de Material Propio (Sub-rasante) .....	94
5.4.2.	Muestras de Material de Préstamo .....	94
5.5.	Cono de arena .....	95
CAPÍTULO VI.....		96
6.	ENSAYOS DE COMPACTACIÓN MECÁNICA.....	97
6.1.	Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m <sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie <sup>3</sup> )) .....	97
6.1.1.	Objetivo del ensayo .....	97
6.1.2.	Alcance .....	97
6.1.2.1.	Procedimiento A .....	97
6.1.2.2.	Procedimiento B .....	97
6.1.2.3.	Procedimiento C .....	98
6.1.3.	Instrumentos .....	98
6.1.4.	Energía específica de compactación .....	100
6.1.5.	Procedimiento.....	101
6.1.5.1.	Preparación del espécimen .....	101
6.1.6.	Compactación .....	102
6.1.7.	Cálculos y Grafica.....	103
6.1.8.	Investigaciones Previas .....	103
6.1.8.1.	Primer Antecedente .....	104
6.1.8.2.	Segundo Antecedente .....	104
6.1.8.3.	Tercer Antecedente .....	105
6.1.9.	Ensayos de Proctor Modificado .....	106
6.1.10.	Muestras de Material Propio .....	106
6.1.11.	Muestras de Material de Préstamo .....	113
6.2.	Análisis e Interpretación de los resultados.....	118
6.2.1.	Muestras de Material Propio .....	118
6.2.2.	Muestras de Material Préstamo .....	119
CAPÍTULO VII.....		120
7.	ENSAYOS DE MESA VIBRATORIA .....	121

7.1. Método de ensayo estándar para la determinación del índice de densidad y peso unitario máximo utilizando una mesa vibratoria .....	121
7.1.1. Objetivo.....	121
7.1.2. Alcance .....	121
7.1.2.1. Método se prueba 1A .....	121
7.1.2.2. Método de prueba 1B .....	121
7.1.2.3. Método de prueba 2A .....	121
7.1.2.4. Método de prueba 2B .....	122
7.1.3. Instrumentos .....	122
7.1.4. Procedimiento .....	125
7.1.4.1. Método de Prueba 1A ó 2A (Método seco).....	126
7.1.4.2. Método de Prueba 1B ó 2B (Método húmedo) .....	126
7.1.5. Cálculos .....	127
7.1.6. Investigaciones Previas .....	128
7.1.6.1. Antecedente 1.....	128
7.1.6.2. Antecedente 2.....	128
7.1.6.3. Antecedente 3.....	129
7.2. Ensayos de Densidad Máxima y Mínima .....	130
7.2.1. Muestras de Material Propio .....	130
7.2.1.1. Método seco (Método de prueba 1 A) .....	130
7.2.1.2. Método Húmedo (Método de prueba 1 B) .....	134
7.2.2. Muestras de Material de Préstamo .....	140
7.2.2.1. Método seco (Método de prueba 1 A) .....	140
7.2.2.2. Método Húmedo (Método de prueba 1 B) .....	143
7.3. Análisis e Interpretación de los resultados.....	147
7.3.1. Método seco .....	147
7.3.1.1. Material Propio.....	147
7.3.1.2. Material de Préstamo.....	148
7.3.2. Método húmedoMaterial Propio .....	148
7.3.2.1. Material de Préstamo.....	149
7.3.3. Densidad Relativa.....	150
7.3.3.1. Material Propio.....	150
7.3.3.2. Material de Préstamo.....	151
CAPÍTULO VIII .....	152
8. COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS .....	153
8.1. Concepto.....	153
8.2. Tipos de compactación .....	153
8.2.1. Compactación por amasado .....	153
8.2.2. Compactación por presión estática.....	153
8.2.3. Compactación por impacto .....	153
8.2.4. Compactación por vibración .....	154
8.3. Resultados en laboratorio .....	155
8.3.1. Material Propio.....	155
8.3.2. Material de Préstamo.....	157
8.4. Interpretación final.....	160
CAPÍTULO IX.....	163
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	164
9.1. Conclusiones .....	164

9.2. Recomendaciones .....	167
BIBLIOGRAFÍA .....	168
ANEXOS .....	170



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1 Relación humedad y peso unitario seco.....	21
Figura 3.2 Curvas de compactación típicas para 5 suelos diferentes.....	21
Figura 3.3 Varios tipos de curva de compactación.....	22
Figura 4. 1 Mapa del Perú.....	28
Figura 4. 2 Mapa del departamento de Arequipa.....	28
Figura 4. 3 Plano de Ubicación de las calicatas.....	29
Figura 4. 4 Plano ubicación calicata 1.....	32
Figura 4. 5 - Plano ubicación calicata 2.....	33
Figura 4. 6 - Plano ubicación calicata 3.....	34
Figura 4. 7 - Plano ubicación calicata 4.....	35
Figura 4. 8 - Plano ubicación calicata 5.....	36
Figura 4. 9 - Plano ubicación calicata 6.....	37
Figura 4. 10 - Plano ubicación cantera 1.....	38
Figura 4. 11 - Plano ubicación cantera 2.....	39
Figura 4. 12 - Plano ubicación cantera 3.....	40
Figura 4. 13 - Plano ubicación cantera 4.....	41
Figura 4. 14 Estratigrafía de Calicata N°1 – Acequia Alta.....	43
Figura 4. 15 Estratigrafía de Calicata N°2 - Pachacutec.....	44
Figura 4. 16 Estratigrafía de Calicata N°3 - Miraflores.....	45
Figura 4. 17 Estratigrafía de Calicata N°4 - Yanahuara.....	46
Figura 4. 18 Estratigrafía de Calicata N°5 - Socabaya.....	47
Figura 4. 19 Estratigrafía de Calicata N°6 - Paucarpata.....	48
Figura 6. 1 Molde Cilíndrico de 4”.....	98
Figura 6. 2 Molde Cilíndrico de 6”.....	99

Figura 6. 3 Pisón del Proctor Modificado.....	99
Figura 6. 4 Curva de compactación.....	103
Figura 7. 1 Esquema del montaje de molde típico .....	123
Figura 7. 2 Detalles de Moldes.....	124
Figura 7. 3 Sobre carga circular y placa base .....	125



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 Densidad de un suelo granular.....	23
Tabla 4 1 Cuadro resumen de toma de muestras .....	42
Tabla 5. 1 Clasificación de los suelos SUCS y AASHTO .....	92
Tabla 5. 2 Clasificación de los suelos SUCS y AASHTO .....	93
Tabla 5. 3 Contenido de humedad .....	94
Tabla 5. 4 Contenido de humedad .....	94
Tabla 5. 5 Densidad en campo (Cono de Arena) .....	95
Tabla 6 1 Tiempo de permanencia requerido de especímenes en saturación	102
Tabla 6 2 Proctor Modificado MPROP. ....	118
Tabla 6 2 Proctor Modificado MPRST. ....	119
Tabla 7 1 Masa de muestra requerida, tamaño de molde .....	122
Tabla 7. 2 Densidad Máxima y Mínima (MS).....	147
Tabla 7. 3 Densidad Máxima y Mínima (MS).....	148
Tabla 7. 4 Densidad Máxima y Mínima (MH) .....	149
Tabla 7. 5 Densidad Máxima y Mínima (MH) .....	149
Tabla 7. 6 Densidad Relativa .....	150
Tabla 7. 7 Densidad Relativa .....	151
Tabla 8. 1 Cuadro comparativo de las densidades .....	155
Tabla 8. 2 Cuadro comparativo de las densidades máximas secas.....	155
Tabla 8. 3 Variación Porcentual PM – DRMS.....	156
Tabla 8. 4 Variación Porcentual PM – DRMH .....	156
Tabla 8. 5 Variación Porcentual DRMS – DRMH .....	157
Tabla 8. 6 Cuadro comparativo de las densidades .....	157
Tabla 8. 7 Cuadro comparativo de las densidades máximas secas.....	158

Tabla 8. 8 Variación Porcentual PM – DRMS.....	158
Tabla 8. 9 Variación Porcentual PM – DRMH .....	158
Tabla 8. 10 Variación Porcentual DRMS – DRMH .....	159
Tabla 8. 11 Cuadro comparativo D.S.M.(M.P.).....	160
Tabla 8. 12 Cuadro comparativo D.S.M.(M.P.).....	161



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO I</b> .....	171
<b>ANEXO II</b> .....	175
<b>ANEXO III</b> .....	181
<b>ANEXO IV</b> .....	186
<b>ANEXO V</b> .....	193
<b>ANEXO VI</b> .....	196





# CAPÍTULO I

## 1. ASPECTOS GENERALES

### 1.1. Antecedentes

Actualmente gracias a la mecánica de suelos se han descubierto las diferentes propiedades que poseen los suelos, para poder hallar dichas propiedades existen una variedad de ensayos en laboratorio y campo, gracias a dichos ensayos se logra clasificar el tipo de suelo.

El estudio de los suelos otorga un importante aporte a los proyectos ingenieriles ya que a partir de ellos se pueden diseñar cimentaciones para cualquier tipo de estructura, terraplenes, plataformas, presas de tierra y pavimentos, como podemos observar para poder realizar una obra debemos siempre realizar primero un estudio de mecánica de suelos, ya que todos los suelos son distintos.

En el caso de la conformación de terraplenes o plataformas y pavimentos van directamente involucrados con la compactación de los suelos, el cual es un procedimiento mecánico para disminuir el índice de vacíos logrando así que la densidad sea mayor con una humedad óptima, lo cual es beneficioso para la ingeniera dando mayor estabilidad y resistencia al corte.

### 1.2. Justificación

A nivel mundial existen normas que regulan y clasifican de los suelos, como el SUCS y el AASHTO.

Los ensayos de laboratorio están basados en las normas que nos ayudan a clasificar los suelos por sus propiedades físicas, una de las propiedades es el peso unitario o la Densidad para obtener dicha propiedad existen varios métodos en laboratorio. En la presente investigación se evaluará y analizará ambos métodos, para poder comparar los resultados y las variables que existen entre dichos ensayos.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo principal

Realizar un estudio comparativo entre el ensayo de Proctor Modificado (Densidad máxima seca) y el ensayo de Densidad Relativa (Densidad seca máxima y mínima) para poder establecer correlaciones.

#### 1.3.2. Objetivo secundario

- Ubicar y seleccionar los sectores de muestreo
- Realizar los ensayos esenciales para poder determinar la clasificación de los suelos en estudio
- Proceder a realizar correctamente los ensayos en laboratorio con los métodos de Proctor Modificado y Densidad Relativa
- Determinar las densidades de las muestras extraídas.

### 1.4. Normatividades

#### 1.4.1. Normatividad

Para realizar la investigación y los ensayos se tomará como base las siguientes Normas:

- Normas ASTM (American Society of Testing Materials / Asociación Americana de ensayos de materiales)
- Las Normas Técnicas Peruanas (NTP) que actualmente se encuentran regularizadas por el INACAL
- Las normas del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) siendo regularizadas por esta misma entidad pública.

A continuación, enumeraremos cada una de las normas que usaremos en los procedimientos del siguiente trabajo de investigación.

### NORMAS ASTM

ASTM D421-85	Practice for dry preparation of soils samples for particle size Analysis of soils
ASTM D2488-93	Practice for Description and Identification of soils (Visual – Manual Procedure)
ASTM D2216-92	Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) content of soil and rock
ASTM D2487-93	Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes
ASTM D4318- 93	Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of soils
ASTM D1557-91	Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of soils using Modified Effort (56 000 ft-lbf / ft <sup>3</sup> (2700 KNm/m <sup>3</sup> ))
ASTM D4253-91	Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils using a Vibratory Table
ASTM D4254-91	Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of soils and calculation of Relative Density
ASTM D1556-90	Test Method for Density and Unit Weight os Soil in Place by Sand cone Method

### NORMAS TÉCNICAS PERUANAS

NTP.339.089	SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)
NTP 339.127	SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo
NTP 339.128	SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico
NTP 339.129	SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de los suelos

- NTP 339.134 SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería SUCS
- NTP 339.137 SUELOS. Métodos de ensayo estándar para la determinación del índice de densidad y peso unitario máximo de suelos utilizando una mesa vibratoria
- NTP 339.138 SUELOS. Método de ensayo estándar para la determinación del índice de densidad y peso unitario mínimos de suelos y cálculo de densidad relativa
- NTP 339.141 SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))
- NTP 339.143 SUELOS. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo *in situ* mediante el método del cono de arena

#### NORMAS MTC

- MTC E105 Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)
- MTC E107 Análisis granulométrico de suelos por tamizado
- MTC E 108 Determinación del contenido de humedad de un suelo
- MTC E 110 Determinación del límite líquido (L.L) de los suelos
- MTC E 111 Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)
- MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado)
- MTC E 117 Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo *in situ* mediante el método del cono de arena

### 1.5. Descripción temática

En el Capítulo 1 se dará a conocer los antecedentes de la mecánica de suelos, la justificación del trabajo de investigación que se realizará teniendo en cuenta las normas dispuestas internacionalmente y en el ámbito de la nación.

En el Capítulo 2 se hace una recopilación y mención de las diferentes propiedades de los suelos, que afectan directamente a la Ingeniería Civil.

En el Capítulo 3 se abarca netamente las definiciones y los tipos de las densidades de los suelos.

En el Capítulo 4 se expone la metodología, planteamiento y la operación de las extracciones de las muestras de suelo en diferentes sectores de la ciudad de Arequipa.

En el Capítulo 5 se muestran todos los ensayos realizados tanto el laboratorio como *in situ*, basándonos a las normas y se interpretan los resultados obtenidos

En el Capítulo 6 se abarca específicamente el ensayo de compactación mecánica (Proctor modificado), además se muestran los resultados obtenidos en laboratorio

En el Capítulo 7 se define la compactación por medio de mesa vibratoria y se muestran los resultados de los ensayos realizados en laboratorio.

En el Capítulo 8 se ejecuta comparaciones entre los tipos de energía de compactación, basándonos entre los ensayos de laboratorio, siendo el Proctor Modificado y Mesa Vibratoria y evaluaremos la densidad máxima que nos otorgan ambos ensayos.

En el Capítulo 9 se explica las conclusiones y recomendaciones con respecto al tema investigado.

En el Capítulo 10 se menciona toda la bibliografía utilizada para la presente investigación.



## CAPÍTULO II

## 2. MECÁNICA DE SUELOS

### 2.1. Definición

La mecánica suelos fue una disciplina desarrollada y practicada por varios años, sin embargo, no se le daba el énfasis necesario como una Ingeniería.

Con el pasar de los años, el segmento construcción aumentó y generó dudas sobre la calidad de cada tipo de suelo, ya que se comenzaron a realizar obras de gran envergadura donde el estudio del tipo de suelo era esencial e indispensable.

Fue entonces que en 1936 se realizó el primer Congreso de Mecánica de Suelos, realizada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos y Cimentaciones, la cual fue dirigida por Karl Terzaghi y organizada por Arthur Casagrande, en donde se dieron a conocer gran cantidad de información acerca de los estudios que se deberían realizar antes de realizar cualquier construcción.

Actualmente como se sabe los suelos son muy variables, lo cual incide directamente al tipo de proyecto que se construirá, es por este motivo que la Mecánica de Suelos es una ciencia que se convirtió imprescindible a Ingeniería del proyecto.

A través de los años y los estudios realizados se lograron clasificar a los suelos por sus diferentes propiedades, las cuales son:

- Propiedades Físicas
- Propiedades Químicas
- Propiedades Mecánicas
- Propiedades Biológicas
- Propiedades Térmicas
- Propiedades Hidráulicas
- Propiedades Hidromecánicas

En el campo de la Ingeniería Civil las propiedades más importantes son las, propiedades Físicas, Mecánicas e Hidráulicas; las cuales se expondrán a continuación (Badillo, 2001).

## 2.2. Propiedades Físicas de los suelos

El suelo es una mezcla de materiales sólidos (partículas), líquidos (agua) y gaseosos (aire). La proporción de estos componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva, entre otras.

### 2.2.1. Textura

Es el porcentaje de arena, limo y arcilla que contenga una porción de suelo, dichos porcentaje y los tamaños de las partículas generan texturas particulares para cada tipo de suelo. Existen 12 clases texturales que derivan de la combinación de las tres clases de partículas antes mencionadas (Terzaghi & Peck, 1978).

### 2.2.2. Estructura

La estructura es la forma en que las partículas del suelo se reúnen para formar las diferentes formas de los suelos. De acuerdo a esta característica se distinguen suelos de estructura esferoidal (redondeados), laminar (en láminas), prismática (en forma de prisma), blocosa (en bloques), y granular (en granos). La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados (Terzaghi & Peck, 1978).

### 2.2.3. Color

El color del suelo depende de sus componentes y puede usarse como una medida indirecta de ciertas propiedades. El color varía con el contenido de humedad. El color rojo indica contenido de óxidos de hierro y manganeso; el amarillo indica óxidos de hierro hidratado; el blanco y el gris indican presencia de cuarzo, yeso y caolín; y el negro y marrón indican materia orgánica (Terzaghi & Peck, 1978).

#### **2.2.4. Permeabilidad**

Permeabilidad es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire a través de los poros.

El suelo está constituido por varios horizontes, y que, generalmente, cada uno de ellos tiene propiedades físicas y químicas diferentes. Para determinar la permeabilidad del suelo en su totalidad, se debe estudiar cada horizonte por separado. La permeabilidad del suelo se relaciona con su textura y estructura (Terzaghi & Peck, 1978).

#### **2.2.5. Drenaje**

El drenaje de un suelo es su mayor o menor rapidez o su facilidad para evacuar el agua por escurrimiento superficial y por infiltración profunda (Terzaghi & Peck, 1978).

#### **2.2.6. Consistencia**

La consistencia, es la característica física que gobierna las fuerzas de cohesión-adhesión, responsables de la resistencia del suelo a ser moldeado o roto. Dichas fuerzas dependen del contenido de humedades por esta razón que la consistencia se debe expresar en términos de seco, húmedo y superficialmente húmedo. Se refiere a las fuerzas que permiten que las partículas se mantengan unidas; se puede definir como la resistencia que ofrece la masa de suelo a ser deformada o amasada. Las fuerzas que causan la consistencia son: cohesión y adhesión (Terzaghi & Peck, 1978).

### **2.3. Granulometría**

Se refiere a la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo (grava, arena, limo y arcilla). Expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra totalmente seca.

Dichos porcentajes se estudian para poder obtener una clasificación más objetiva del suelo en estudio; la variedad de los tamaños de las partículas es casi ilimitada.

La clasificación de un suelo es de suma importancia desde la obra más pequeña hasta la más majestuosa, ya que con los datos obtenidos se puede estimar el tipo de suelo sobre el cual se apoyará la superestructura.

Teniendo como base la granulometría se puede proceder a realizar los demás ensayos ya que para cada tipo de suelo existen diferentes ensayos que se pueden ejecutar (Braja M. Das, 2012).

## **2.4. Límites de Consistencia/Atterberg**

Dichos límites se aplican en los suelos arcillosos, el cual consiste en obtener los valores límites de humedad, siendo estos:

### **2.4.1. Límite Líquido (LL)**

Es el contenido de humedad, en porcentaje, en donde el suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico (Braja M. Das, 2012).

### **2.4.2. Límite Plástico (LP)**

Es el contenido de humedad, en porcentaje, en donde el suelo cambia de un estado plástico a un estado semisólido (Braja M. Das, 2012).

### **2.4.3. Límite Contracción (LC)**

Es el contenido de humedad en el que el suelo no sufre ningún cambio en su volumen, es decir el suelo cambia de estado semisólido a estado sólido (Braja M. Das, 2012).

### **2.4.4. Índice de Plasticidad (IP)**

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, es decir, el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene plástico (Braja M. Das, 2012).

$$IP (\%) = LL - LP$$

## **2.5. Relaciones Volumen y Peso en los suelos**

### **2.5.1. Contenido de humedad (w)**

Es el porcentaje de agua que posee una porción de suelo con relación al peso del mismo. La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las

características más importantes para explicar el comportamiento de este, como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica (Badillo, 2001).

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

$w$  : Contenido de agua (%)

$W_w$  : Peso del agua (grf)

$W_s$  : Peso de los sólidos (grf)

### 2.5.2. Relación de vacíos (e)

Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de los sólidos.

La relación de vacíos y la porosidad de un suelo dependen del grado de compactación o consolidación, por lo cual sirven para determinar la capacidad portante del suelo, y esta se incrementa cuando ambas relaciones disminuyen (Badillo, 2001).

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

Donde:

$e$  : Relación de vacíos (adimensional)

$V_v$ : Volumen de vacíos (cm<sup>3</sup>)

$V_s$ : Volumen de sólidos (cm<sup>3</sup>)

### 2.5.3. Porosidad (n)

Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del suelo, entendiéndose como volumen de vacíos parte del volumen total que no está ocupada por las partículas sólidas.

Esta propiedad está expresada en porcentaje.

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

Donde:

n : Porosidad (adimensional)

Vv: Volumen de vacíos (cm<sup>3</sup>)

Vt: Volumen (cm<sup>3</sup>)

Como consecuencia de la textura y estructura del suelo tenemos su porosidad, es decir su sistema de espacios vacíos o poros. Los poros en el suelo se distinguen en: macroscópicos y microscópicos. Los primeros son de notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, en efecto, el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad. Los segundos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares (Badillo, 2001).

#### 2.5.4. Grado de Saturación (S)

Se define como el grado o la proporción en que los espacios vacíos de un suelo o una roca contienen. Se expresa como un porcentaje en relación a volumen total de vacíos.

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

Donde:

S : Grado de Saturación

V<sub>w</sub>: Volumen del agua (cm<sup>3</sup>)

V<sub>v</sub> : Volumen de vacíos (cm<sup>3</sup>)

#### 2.5.5. Peso Unitario (γ)

Resulta de la relación entre el peso de la muestra de suelo con humedad natural y el volumen de la misma, además se pueden distinguir dos tipos de peso específico, los cuales son utilizados para cualquier investigación:

- Peso unitario seco

- Peso unitario saturado

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Donde:

$\gamma$  : Peso Unitario (grf/cm<sup>3</sup>)

W: Peso de la muestra (grf)

V: Volumen de la muestra (cm<sup>3</sup>)

### 2.5.6. Gravedad específica de los sólidos (Gs)

La gravedad específica de los sólidos (G) se define como el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua destilada a 4° Celcius.

La gravedad específica puede ser calculada utilizando cualquier relación de peso de suelo (Ws) al peso del agua (Ww), siempre y cuando se consideren los mismos volúmenes (Badillo, 2001).

Expresando lo mencionado tenemos la siguiente expresión:

$$Gs = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Donde:

Gs : Gravedad específica

$\gamma_s$  : Peso unitario de la muestra sólida (grf)

$\gamma_w$  : Peso unitario del agua (grf)

## 2.6. Propiedades Mecánicas

### 2.6.1. Resistencia al corte

La resistencia al corte, se refiere al nivel de fuerzas cortantes que un material puede resistir sin fracturarse. La resistencia al corte se mide en Kilogramo fuerza por metro cuadrado (kgf/m<sup>2</sup>). Las fuerzas cortantes son fuerzas que se aplican tangencialmente al plano de la tierra. La resistencia al corte es difícil de medir ya que depende de una amplia variedad de factores, incluyendo la naturaleza del suelo, la historia de la

muestra de suelo particular que es medida, y la velocidad a la que las fuerzas de corte se aplican (Badillo, 2001).

### **2.6.2. Presión lateral del suelo**

La presión lateral del suelo es la presión que ejerce la tierra horizontalmente. Si tienes una masa cúbica de tierra en un recipiente cúbico, entonces la presión lateral del suelo es la presión ejercida sobre las paredes del recipiente. El empuje lateral se mide en Kilogramo fuerza por metro cuadrado (Badillo, 2001).

### **2.6.3. Capacidad de carga**

La capacidad de carga es la capacidad de la tierra en torno a una estructura para soportar las cargas aplicadas. La capacidad de carga se expresa en kilogramo fuerza por metro cuadrado.

Todas las propiedades mecánicas antes mencionadas se pueden calcular y obtener a través de estos tres ensayos fundamentales realizados en laboratorio, siendo:

- Ensayo Triaxial
- Ensayo de corte directo

A partir de estos ensayos se puede determinar el comportamiento y su resistencia de los suelos a diferentes tipos de cargas (Badillo, 2001).



## CAPÍTULO III

### 3. DENSIDAD DE LOS SUELOS

#### 3.1. Concepto

La densidad del suelo es un indicativo de la relación peso por volumen del suelo, y está en relación a la porosidad. Un suelo muy poroso será menos denso; un suelo poco poroso será más denso. Esto depende directamente a sus propiedades físicas de los suelos.

Por ejemplo, los suelos arenosos de baja porosidad tienen una mayor densidad (1,2 a 1,8 grf/cm<sup>3</sup>) que los suelos arcillosos (1,0 a 1,6 grf/cm<sup>3</sup>) los cuales tienen un mayor volumen de espacio de poros. La materia orgánica tiende a reducir la densidad suelo/masa debido a su propia baja densidad y a la estabilización de la estructura del suelo que resulta en mayor porosidad.

La densidad de los suelos es un indicador del grado de compactación del mismo, la compactación es el término que se utiliza para describir el proceso de densificación de un material mediante medios mecánicos; el incremento de densidad se obtiene al disminuir el contenido de aire en los vacíos en tanto se mantienen el contenido de humedad aproximadamente constante.

El grado compactación de un suelo o de un relleno se mide cuantitativamente mediante la densidad seca. La densidad seca que se obtiene mediante un proceso de compactación dependiendo la energía utilizada durante la compactación, denominada energía de compactación, también depende del contenido de humedad durante la misma.

Por esto la porosidad es una de las razones principales para determinar la densidad del suelo y de allí se considera la densidad real y aparente, las cuales deben ser analizadas y calculadas para así poder hacer comparación lógica y ratificar la porosidad e identificación del suelo según su densidad (Das, 2001).

### 3.2. Tipo de densidades

#### 3.2.1. Peso específico seco - Densidad de los sólidos

El peso específico seco es la relación que existe entre el peso de las partículas secas y el volumen real de la fase sólida (no el volumen aparente) conformada por las mismas, en contraste con la densidad aparente.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

Donde:

$\gamma_d$  = peso específico seco (kg/cm<sup>3</sup>)

$W_s$  = peso de los sólidos (kg)

$V$  = Volumen (cm<sup>3</sup>)

Esta densidad de la masa del suelo se ve influenciada por las partículas individuales de arena, limo, arcilla y materia orgánica sin incluir los espacios porosos.

#### 3.2.2. Densidad aparente

La densidad aparente está definida como la relación que existe entre el peso de la masa del suelo y el volumen que ocupan las partículas del mismo para lo cual están incluidos todos los poros saturables y no saturables.

$$D_{ap} = \frac{W_s}{V}$$

Donde:

$P_s$  = peso seco del suelo

$V_m$  = volumen ocupado por el suelo

Es conveniente aportar que la densidad aparente se puede determinar en estado seco o en estado húmedo, dependiendo del grado de saturación de los poros.

La densidad aparente es una propiedad afectada por factores como:

- La textura
- Estructura
- La materia orgánica
- La consolidación
- La profundidad

### 3.2.3. Densidad Natural o Densidad *in situ*

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Donde:

$\gamma_d$  = peso específico (kg/cm<sup>3</sup>)

W = peso de la muestra (kg)

V = Volumen (cm<sup>3</sup>)

Un suelo natural o compactado requiere la determinación de la densidad *in situ*. En la mayoría de los proyectos, esta verificación se logra con el cono de arena o por el densímetro nuclear.

La consideración de densidad natural es cuando el suelo no ha sido expuesto a ningún tipo de compactación mecánica, y que solamente por fenómenos naturales se auto consolidó.

### 3.2.4. Densidad mínima

Se le denomina así cuando las partículas del suelo se encuentran en el estado más suelto, es decir posee gran cantidad de aire, un elevado índice de poros.

#### **Densidad seca mínima**

Esta densidad se puede hallar en laboratorio mediante un procedimiento estándar que evite el abultamiento y minimice la segregación de partículas, para que dichas partículas no se consoliden.

### 3.2.5. Densidad máxima

A este tipo de densidad se le define cuando las partículas se encuentran en el estado más denso.

Esta densidad máxima se logra a través de la compactación mecánica, ya sea por impacto o por vibración, para lograr una buena compactación se debe tener una cantidad óptima de agua.

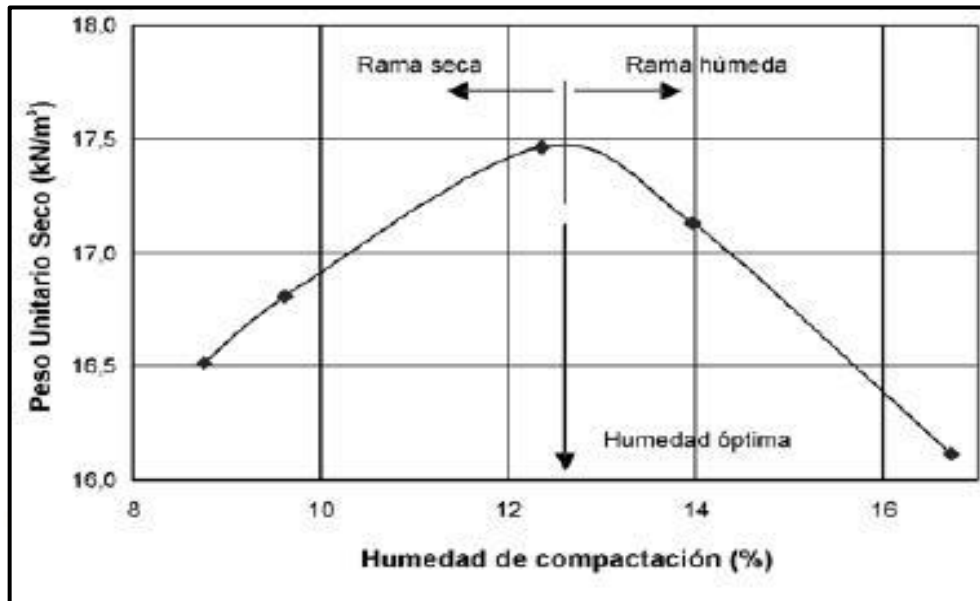
### **Densidad seca máxima**

Esta densidad se denomina a la que se obtiene en correlación con la humedad óptima, la cual se logra con los ensayos de Proctor estándar y Proctor modificado, siendo este último el más utilizado porque el tipo de energía de compactación es más elevado y da mejores resultados al momento de ponerlo en práctica en obra.

Para esta densidad se grafica un plano cartesiano, en el cual las ordenadas son el Peso Unitario Seco ( $\text{kgf/cm}^3$ ) y en las abscisas el Contenido de humedad (%), estos datos se obtienen netamente del laboratorio, los cuales se ubican en el plano cartesiano, generando así una curva denominada “Curva de Compactación”, en donde se puede ver que las ramas secas (izquierdas) y ramas húmedas (derecha) forman un pico marcado al cual se le conoce como, Densidad máxima seca vs el contenido de humedad óptimo.

En la Figura 3.1, se verá gráficamente como se expresa una curva de compactación a través del ensayo de Proctor modificado.

Figura 3. 1 Relación humedad y peso unitario seco

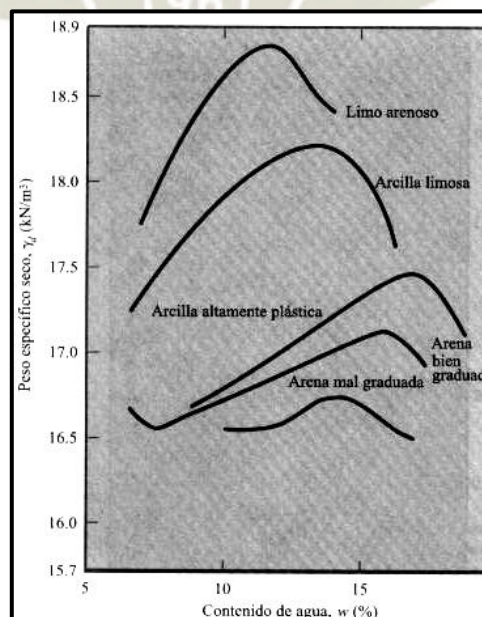


Fuente: Ing. Luis Chang Chang (CISMID,2011)

Esta densidad es usada para comparar y poder lograr que la compactación en campo de cualquier tipo de terreno sea igual a la obtenida en laboratorio, es decir la densidad máxima.

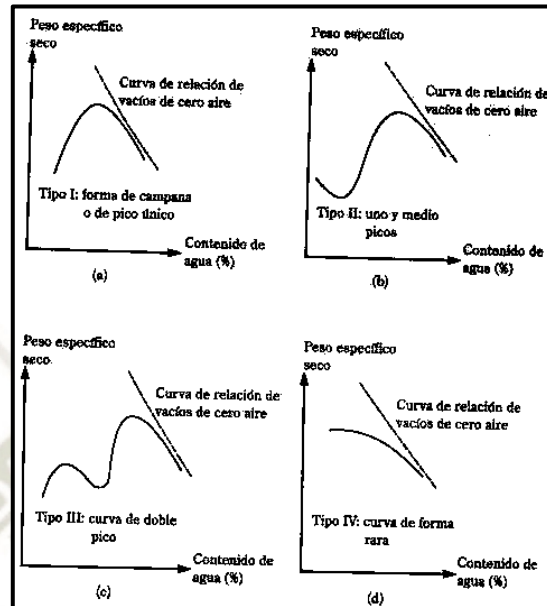
Existen varios tipos de curva de compactación, las cuales depende del tipo de suelo, específicamente de su granulometría, en las figuras 3.2 y 3.3 se mostrarán dichas curvas.

Figura 3.2 Curvas de compactación típicas para 5 suelos diferentes



Fuente: ASTM D698 (1978)

Figura 3.3 Varios tipos de curva de compactación



Fuente: Lee y Suedkamp (1972)

### 3.2.6. Densidad Relativa

Llamada también, Grado de compacidad relativa, la cual es aplicada a los suelos granulares; el grado de compactación en el campo se puede comparar y medir de acuerdo a la densidad relativa, la cual incluye a las densidades naturales, máximas y mínimas, con la siguiente fórmula expresada en porcentaje.

$$Dr (\%) = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100$$

Donde:

$e_{máx}$  = relación de vacíos en el estado más suelto

$e_{min}$  = relación de vacíos en el estado más denso

$e$  = relación de vacíos *in situ*

La densidad relativa también se puede expresar en términos de sus densidades secas o pesos unitarios secos:

$$Dr (\%) = \left\{ \frac{\gamma d - \gamma d \min}{\gamma d \max - \gamma d \min} \right\} \frac{\gamma d(\max)}{\gamma d} \times 100$$

Donde:

$\gamma d$  máx = peso específico seco en el estado más denso, es decir cuando la relación de vacíos es  $e_{min}$ .

$\gamma d$  min = peso específico seco en el estado más suelto, es decir cuando la relación de vacíos es  $e_{max}$ .

$\gamma d$  = peso específico *in situ*

A continuación, se mostrará en la tabla 3.1, en donde se puede apreciar, el estado del suelo con respecto a su densidad relativa, la cual se obtiene haciendo cálculos entre la densidad máxima, densidad mínima y densidad natural.

Tabla 3. 1 Densidad de un suelo granular

DENSIDAD DE UN SUELO GRANULAR	
Densidad Relativa, $Dr$ (%)	Estado del suelo
0 – 20	Muy Suelto
20 – 40	Suelto
40 – 60	Medio
60 – 80	Denso
80 – 100	Muy denso

*Fuente: Fundamentos de Ingeniería de cimentaciones, (Braja M. Das, 2014)*



## CAPÍTULO IV

#### 4. SECTORIZACIÓN Y TOMA DE MUESTRAS

Para poder realizar la investigación de “Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica” se realizaron los siguientes planteamientos operacionales.

##### 4.1. Planteamiento

Para tener una correcta recopilación de datos y estadísticas se plantearon dos tipos de extracción de muestras:

- Material propio
- Material de préstamo

Para ambos casos se desarrolló el mismo procedimiento operacional, los cuales se detallarán sus características y sus usos específicos a través de los resultados de los ensayos

##### 4.1.1. Técnica e Instrumentos

###### 4.1.1.1. Material Propio

Se realizarán los ensayos denominados Calicatas, lo cual consiste en hacer una excavación al terreno natural en estudio, se realiza a diferentes profundidades dependiendo el tipo de terreno, cabe resaltar que los ensayos de calicata son sobre el terreno natural.

Este tipo de extracción de muestras se realizan para evaluar las características del suelo de fundición que a futuro generará la capa de sub-rasante.

###### 4.1.1.2. Material Préstamo

El otro tipo de técnica es la extracción de muestras de canteras, las cuales se encuentran sobre la superficie ya preparadas, que son productos de zarandeos y combinaciones con otro tipo de agregado, siendo este el material que lo conocemos como afirmado que sirve como subbase y/o base para la construcción de las autopistas, carreteras, vías y pistas.

#### 4.1.1.3. Instrumentos

Se realizarán formatos estructurados de acuerdo a cada tipo de ensayo, como lo son: *in situ* y en laboratorio.

Para los ensayos en campo se obtendrán todas las herramientas (pico, lampa, barreta, badilejo, entre otras) y los equipos necesarios para su correcta realización (balanza, cono de arena y sus componentes); y posteriormente para la extracción de muestras (bolsas herméticas y sacos).

Para los ensayos en gabinete se hará uso del “Laboratorio de Suelos” de la Universidad Católica Santa María.

#### 4.1.2. Metodología

A continuación, mencionaremos los dos procedimientos que se siguió para extraer muestras, siendo estas:

Procedimiento I	Procedimiento de Extracción de material propio
Procedimiento II	Procedimiento de Extracción de material de préstamo

##### 4.1.2.1. Procedimiento I

- Ubicación de las zonas de estudio tomando como base los siguientes mapas:
  - o Mapa Geomorfológico de la ciudad de Arequipa, elaborado por el Ingeniero Calixto Yanqui, 1990. (Ver Anexo A1.1)
  - o Mapa Geológico de la ciudad de Arequipa, elaborado por el Ingeniero Calixto Yanqui, 1990. (Ver Anexo A1.2)
  - o Mapa Geotécnico de la ciudad de Arequipa, elaborado por el Ingeniero Calixto Yanqui, 1990. (Ver Anexo A1.3)
- Elaboración de los formatos específicos para los ensayos *in situ* y en laboratorio.
- Extracción de las muestras en zonas determinadas.
- Realización de los ensayos para cada tipo de suelo extraído.

#### 4.1.2.2. Procedimiento II

- Ubicación de algunas de las canteras que producen el material de préstamo (afirmado).
- Elaboración de los formatos para los ensayos en laboratorio.
- Extracción de las muestras en las canteras determinadas.
- Realización de los ensayos para cada muestra extraída.

#### 4.1.2.3. Procesamiento de datos

- Ordenamiento de la información obtenida a partir de los ensayos
- Ejecución de ensayos
- Análisis e interpretación de los resultados
- Comparación y estadísticas de los resultados de densidad máxima
- Fundamentación de conclusiones
- Preparación de informe final

### 4.2. Sectorización del muestreo

#### 4.2.1. Extracción de material propio

El muestro se realizó en la Ciudad de Arequipa que se encuentra en la provincia y departamento de Arequipa (Ver Figura 4.2), ubicado en la parte sur del Perú (Ver Figura 4.1).

Tomándose como base la ciudad de Arequipa y los mapas anteriormente mencionados, se procedió a realizar seis (6) calicatas (Ver Figura 6.3).

La razón fundamental que se tuvo para escoger los seis (6) lugares de muestreo fue porque en dichas zonas según los mapas Geomorfológicos, Geológicos y Geotécnicos del Ing. Calixto Yanqui (1990) son las zonas más extensas y las cuales poseen diversos tipos de suelo tanto por su origen, composición y propiedades.

Por cada zona se extrajeron 1 bolsa hermética de aproximadamente 3 kilogramos para poder mantener la humedad y además 4 saquillos de aproximadamente 30 kilogramos cada uno, para poder realizar los ensayos en laboratorio.

Figura 4. 1 Mapa del Perú



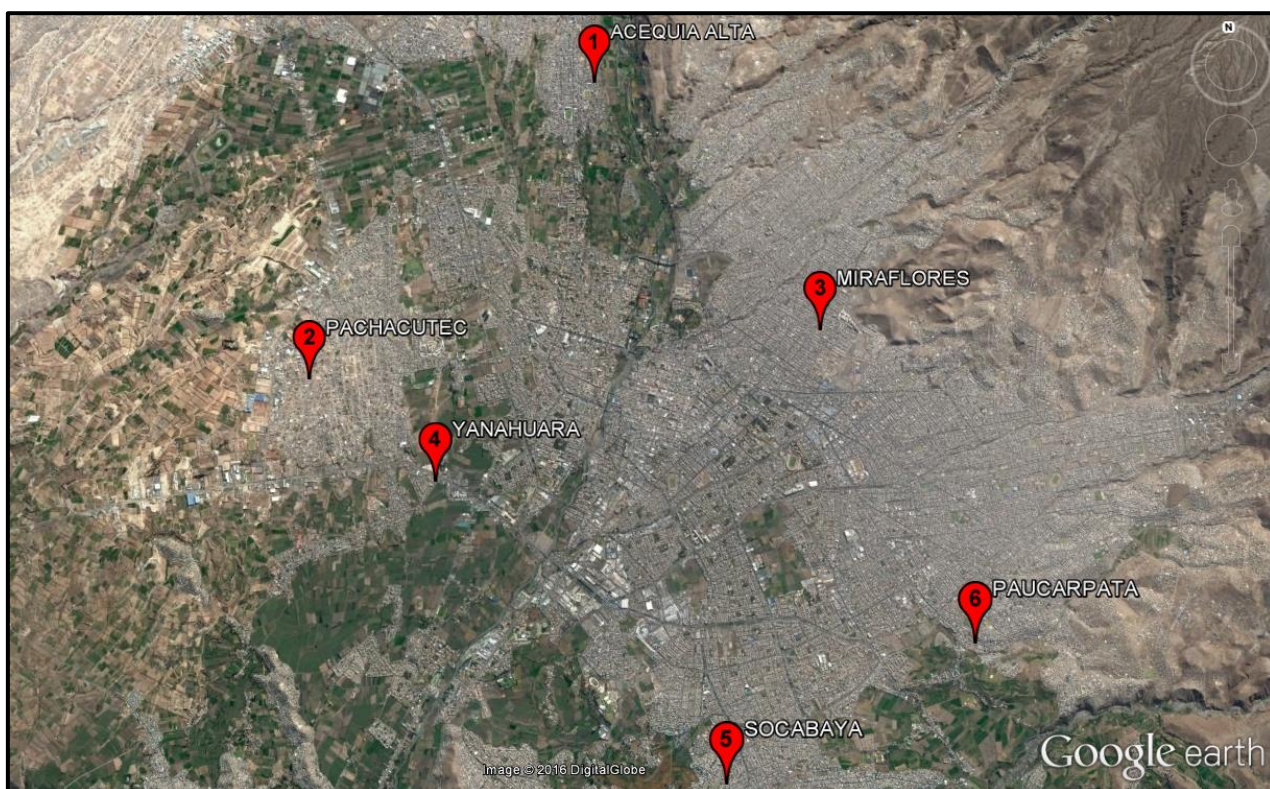
Fuente: Arleco Producciones, 2015

Figura 4. 2 Mapa del departamento de Arequipa



Fuente: Arleco Producciones, 2015

Figura 4. 3 Plano de Ubicación de las calicatas



Fuente: Google Earth, 2017

Las calicatas realizadas fueron:

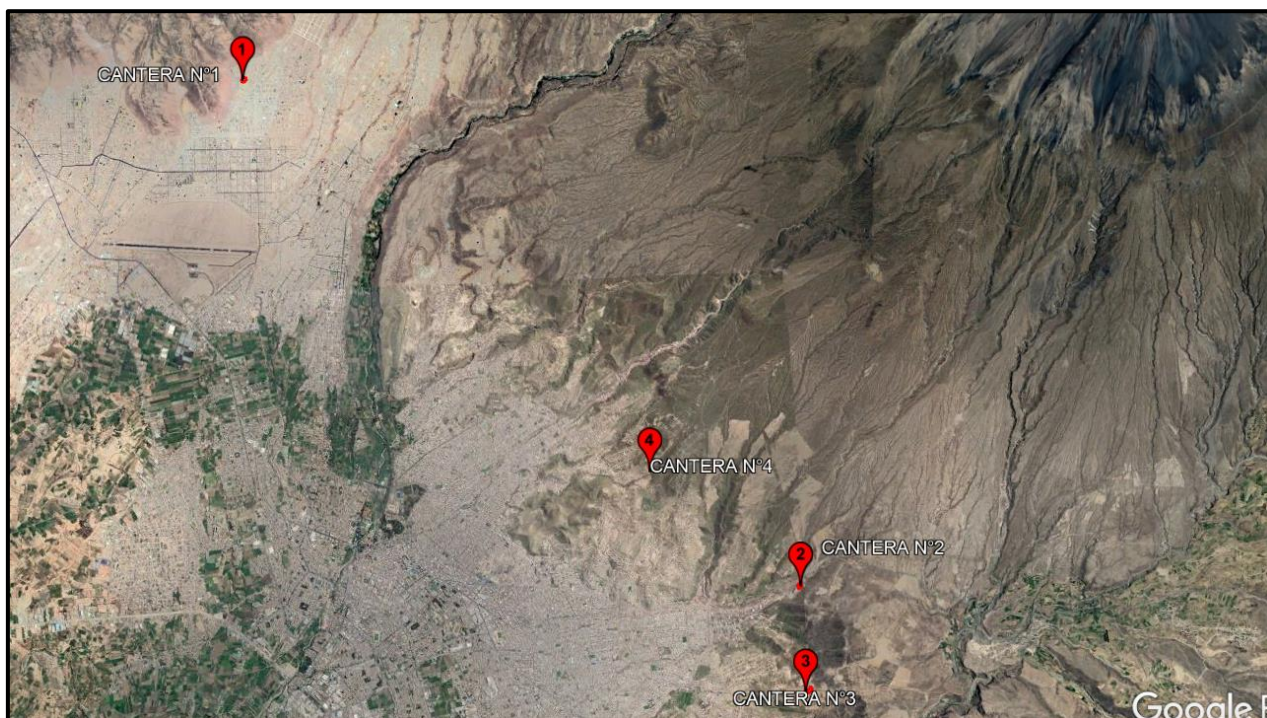
Calicata N° 1	-	Acequia Alta
Calicata N° 2	-	Pachacutec
Calicata N° 3	-	Miraflores
Calicata N° 4	-	Yanahuara
Calicata N° 5	-	Socabaya
Calicata N° 6	-	Paucarpata

#### 4.2.2. Extracción de material de préstamo

El muestro se realizó en la Ciudad de Arequipa que se encuentra en la provincia y departamento de Arequipa (Ver Figura 4.2), ubicado en la parte sur del Perú (Ver Figura 4.1).

Como se conoce en la ciudad de Arequipa existen varias canteras donde se prepara el afirmado, por lo cual se escogió cuatro (4) de ellas, siendo.

Figura 4.4 Plano de Ubicación de las canteras



Fuente: Google Earth, 2018

Las canteras escogidas fueron:

Cantera N° 1	-	EL Azufral
Cantera N° 2	-	Alvarez
Cantera N° 3	-	Los Portales
Cantera N° 4	-	Miraflores

### 4.3. Extracción de muestras

#### 4.3.1. Calicatas

Para las profundidades de excavación se basaron en la Norma C.E. 010 Pavimentos Urbanos (2010), en donde el Capítulo 3 “Técnicas De Investigación De Campo, Ensayos De Laboratorio, Requisitos De Los Materiales Y Pruebas De Control” nos indica lo siguiente:

- La profundidad mínima de investigación será de 1,50 m por debajo de la cota de rasante final de la vía. Si dentro de la profundidad explorada se encontraran suelos blandos o altamente compresibles, la profundidad de investigación deberá ampliarse a criterio del PR.

- Donde exista rellenos no controlados se deberá investigar en todo su espesor debiendo profundizarse no menos de 0,50 m dentro del suelo natural.
- Donde se encuentren macizos rocosos dentro de la profundidad de investigación, se deberá registrar su profundidad y grado de fracturamiento y estimar su resistencia a la compresión.
- Efectuados el registro de la estratigrafía, el muestreo y la toma de fotografía, se deberá rellenar las excavaciones con los materiales extraídos.
- Durante la investigación de campo se elaborará un perfil estratigráfico para cada punto de investigación, basado en la clasificación visual manual, según la NTP 339.150:2001.
- En caso de encontrar suelos finos no plásticos dentro de la profundidad de investigación, se deberán ejecutar ensayos para determinar su densidad natural.
- Se tomará por lo menos una muestra representativa de cada tipo de suelo para su posterior ensayo de laboratorio (Norma C.E. 010 Pavimentos Urbanos, 2010).

#### 4.3.1.1. Acequia Alta

La ubicación de la Calicata N° 1 es en la Av. Miguel Grau 621, Pueblo tradicional de Acequia Alta, distrito de Cayma, Provincia y Departamento de Arequipa, las coordenadas del lugar de la calicata son Latitud 16°21'32.89"S y Longitud 71°32'27.76"O

Dicha zona según los mapas tomados como base para la extracción de muestra tenemos lo siguiente:

- Mapa Geomorfológico – GM-pA-sA Superficie Aeropuerto
- Mapa Geológico – Q-aaa Aluvial Acequia Alta
- Mapa Geotécnico – G4-aa Suelo de Acequia Alta

Para este sector la excavación se realizó a 1.20 metros de profundidad, ya que se comenzó a encontrar en mayor cantidad piedras de gran tamaño.

*Figura 4. 4 Plano ubicación calicata 1*



*Fuente: Google Earth, 2016*

#### 4.3.1.2. Pachacutec

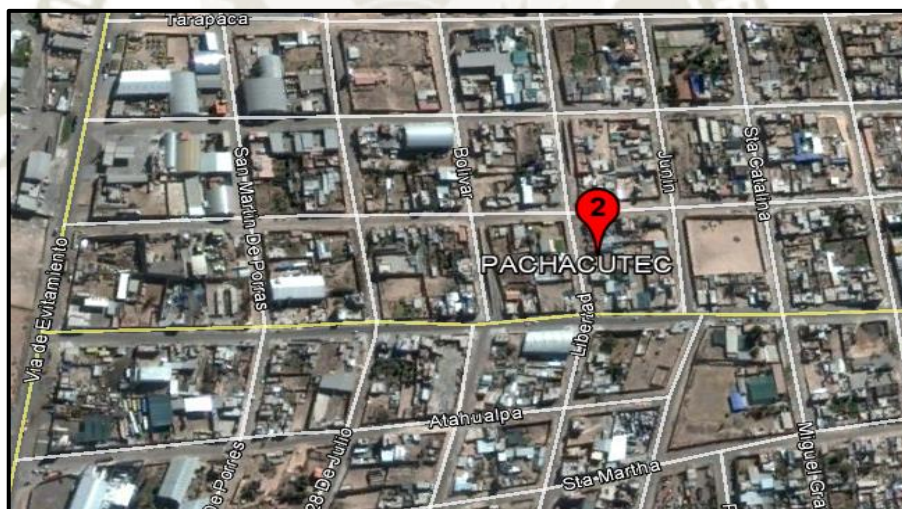
La ubicación de la Calicata N° 2 es en Jirón Libertad 2B, C.P. Semirural Pachacutec, distrito Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa, las coordenadas de la calicata son Latitud  $16^{\circ}23'37.43''S$  y Longitud  $71^{\circ}34'43.86''O$ .

Dicha zona según los mapas tomados como base para la extracción de muestra tenemos lo siguiente:

- Mapa Geomorfológico – GM-pA-sP Superficie Pachacutec
- Mapa Geológico – Tp-vs2 Volcánico Sencca 2
- Mapa Geotécnico – G6-spp Suelo Puzolánico de Pachacutec

La excavación de esta calicata fue de 1.50 metros de profundidad, encontrándose arena.

*Figura 4. 5 - Plano ubicación calicata 2*



*Fuente: Google Earth, 2016*

#### 4.3.1.3. Miraflores

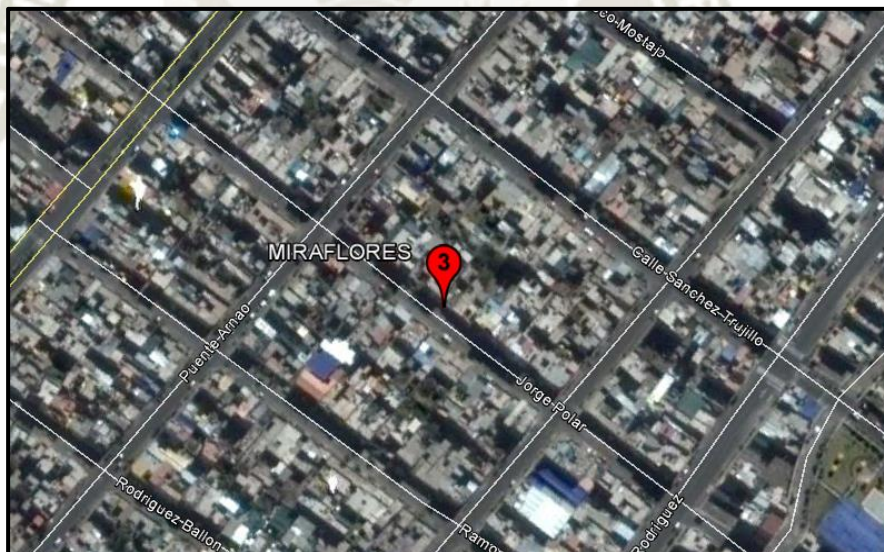
La ubicación de la Calicata N° 3 es en la calle Jorge Polar N° 419, distrito Miraflores, provincia y departamento de Arequipa, las coordenadas para esta calicata son Latitud  $16^{\circ}23'30.87''S$  y Longitud  $71^{\circ}30'55.55''O$

Dicha zona según los mapas tomados como base para la extracción de muestra tenemos lo siguiente:

- Mapa Geomorfológico – GM-pA-sC Superficie Cercado
- Mapa Geológico – Qr-am Aluvial Miraflores
- Mapa Geotécnico – G8-sam Suelo Aluvial de Miraflores

En este sector la excavación de la calicata fue de 1.50 metros, durante la excavación el tipo de suelo era granular.

*Figura 4. 6 - Plano ubicación calicata 3*



*Fuente: Google Earth, 2016*

#### 4.3.1.4. Yanahuara

La ubicación de la Calicata N° 4 es en la Avenida Brasil S/N, distrito Yanahuara, provincia y departamento de Arequipa, las coordenadas de la calicata son Latitud 16°24'24.62"S y Longitud 71°33'50.05"O

Dicha zona según los mapas tomados como base para la extracción de muestra tenemos lo siguiente:

- Mapa Geomorfológico – GM-pA-sC Superficie Cercado
- Mapa Geológico – Qr-au Aluvial Umacollo
- Mapa Geotécnico – G7-sau Suelo Aluvial de Umacollo

Para este sector la calicata fue de 1.50 metros, durante la excavación el material fue homogéneo.

*Figura 4. 7 - Plano ubicación calicata 4*



*Fuente: Google Earth, 2016*

#### 4.3.1.5. Socabaya

La ubicación de la Calicata N° 5 es en la calle Ilo N° 402, San Martín de Socabaya, distrito de Socabaya, provincia y departamento de Arequipa, las coordenadas son Latitud  $16^{\circ}26'34.72''S$  y Longitud  $71^{\circ}31'53.46''O$ .

Dicha zona según los mapas tomados como base para la extracción de muestra tenemos lo siguiente:

- Mapa Geomorfológico – GM-pA-sS Superficie Socabaya
- Mapa Geológico – Q-fb1 Flujo de Barro Brechoso
- Mapa Geotécnico – G5-fb Flujos de Barro

En este sector la excavación se realizó a 1.00 metro de profundidad, ya que se comenzó a encontrar roca fragmentada comúnmente llamada “caliche”.

*Figura 4. 8 - Plano ubicación calicata 5*



*Fuente: Google Earth, 2016*

#### 4.3.1.6. Paucarpata

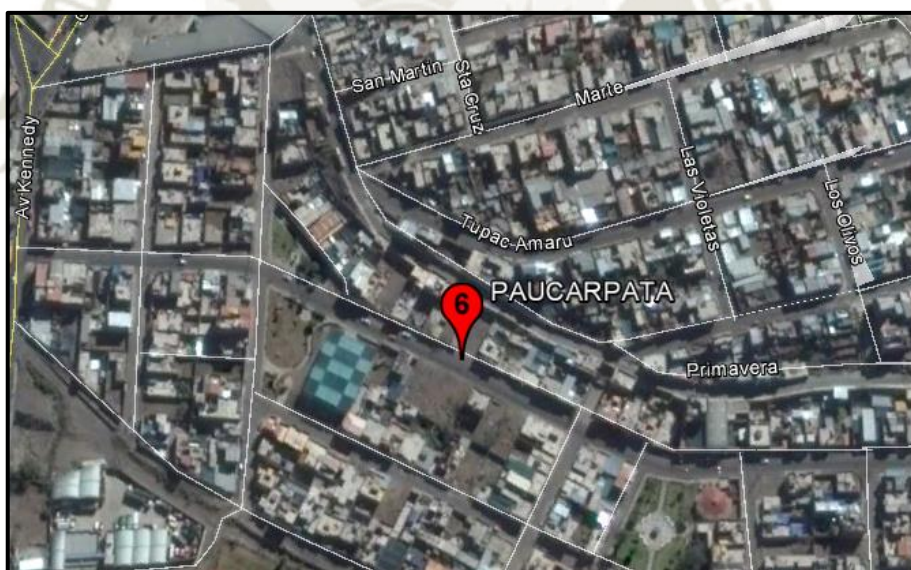
La ubicación de la Calicata N° 6 es en la calle Primavera N° 215, distrito Paucarpata, provincia y departamento de Arequipa, con coordenadas Latitud 16°25'45.47"S y Longitud 71°30'2.93"O

Dicha zona según los mapas tomados como base para la extracción de muestra tenemos lo siguiente:

- Mapa Geomorfológico – GM-cB Cadena del Barroso, Plenillanura de Arequipa
- Mapa Geológico – Q-fb2 Flujo de Barro Rosáceo
- Mapa Geotécnico – G5-fb Flujos de Barro

La excavación de esta calicata fue de 1.50 metros de profundidad, encontrándose diferentes tipos de suelos

*Figura 4. 9 - Plano ubicación calicata 6*



*Fuente: Google Earth, 2016*

#### 4.3.2. Canteras

##### 4.3.2.1. El Azufral

La Cantera N° 1 se encuentra en la zona de Apipe, distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa, con coordenadas Latitud  $16^{\circ}18'42.68''S$  y Longitud  $71^{\circ}33'29.50''O$ . Dicha cantera posee un área aproximada de 7158 m<sup>2</sup>; por lo cual se extrajeron 3 muestras de diferentes rumas de material base.

*Figura 4. 10 - Plano ubicación cantera 1*



*Fuente: Google Earth, 2017*

#### 4.3.2.2. Agregados Alvarez

La Cantera N° 2 se encuentra en la Avenida Villa Hermosa, distrito de Paucarpata, provincia y departamento de Arequipa, con coordenadas Latitud  $16^{\circ}23'56.41''S$  y Longitud  $71^{\circ}27'28.03''O$ . Dicha cantera posee un área aproximada de 7052 m<sup>2</sup>; por lo cual se extrajeron 3 muestras de diferentes rumas de material base.

*Figura 4. 11 - Plano ubicación cantera 2*



*Fuente: Google Earth, 2017*



#### 4.3.2.3. Los Portales

La Cantera N° 3 se encuentra en la Avenida 34C, distrito de Paucarpata, provincia y departamento de Arequipa, con coordenadas Latitud  $16^{\circ}25'2.36''S$  y Longitud  $71^{\circ}27'24.83''O$ .

Dicha cantera posee un área total aproximada de 8956 m<sup>2</sup>; por lo cual se extrajeron 3 muestras de diferentes rumas de material base, ya que no solamente preparan material base, sino también realizan otro tipo de trabajos como chancado, zarandeo, etc.

*Figura 4. 12 - Plano ubicación cantera 3*



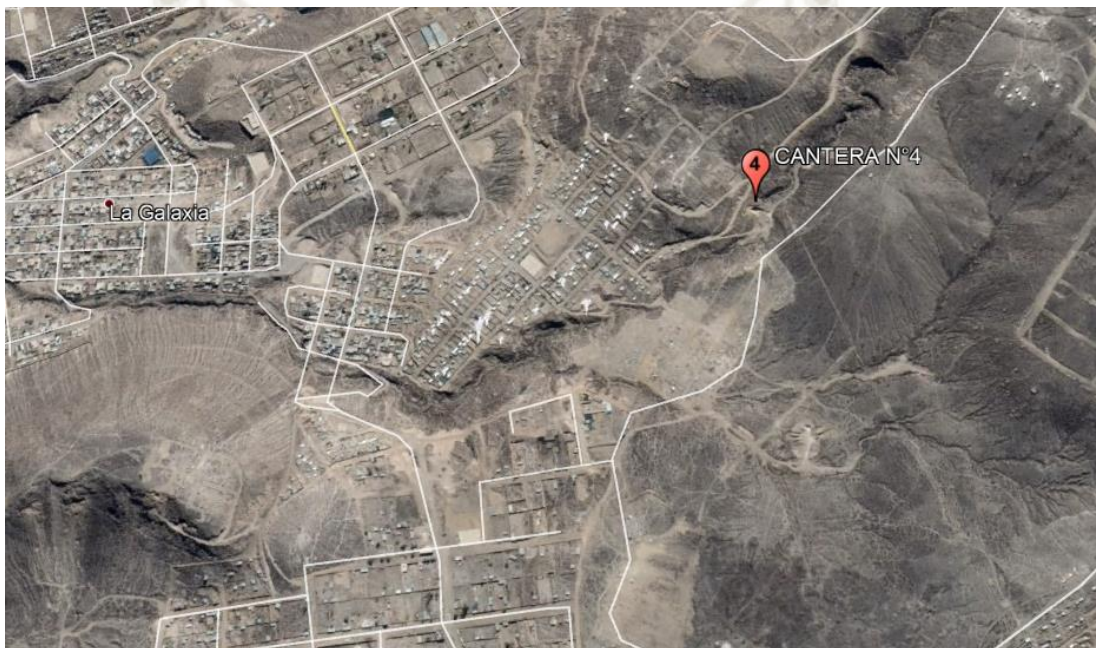
*Fuente: Google Earth, 2017*

#### 4.3.2.4. Alto Misti

La Cantera N° 4 se encuentra en la zona de Alto Misti, distrito de Miraflores, provincia y departamento de Arequipa, con coordenadas Latitud  $16^{\circ}22'45.58''S$  y Longitud  $71^{\circ}29'5.54''O$ .

El lugar mencionado es donde se extrae el material base, sin embargo, este es procesado por la empresa “De la Cadena Ingenieros”, situado en la Variante de Uchumayo.

*Figura 4. 13 - Plano ubicación cantera 4*



*Fuente: Google Earth, 2017*

#### 4.4. Cuadro resumen de toma de muestras

*Tabla 4. 1 Cuadro resumen de muestras "in situ"*

CALICATA	ZONA	COORDENADAS		MAPA GEOTÉCNICO
		LATITUD	LONGITUD	
N°1	Acequia Alta	16°21'32.89"S	71°32'27.76"O	Suelo de Acequia Alta
N°2	Pachacutec	16°23'37.43"S	71°34'43.86"O.	Suelo Puzolánico de Pachacutec
N°3	Miraflores	16°23'30.87"S	71°30'55.55"O	Suelo Aluvial de Miraflores
N°4	Yanahuara	16°24'24.62"S	71°33'50.05"O	Suelo Aluvial de Umacollo
N°5	Socabaya	16°26'34.72"S	71°31'53.46"O	Flujos de Barro
N°6	Paucarpata	16°25'45.47"S	71°30'2.93"O	Flujos de Barro

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 4. 2 Cuadro resumen de muestras de material préstamo*

CANTERA	ZONA	COORDENADAS	
		LATITUD	LONGITUD
N°1	Zamácola, Cerro Colorado	16°18'42.68"S	71°33'29.50"O
N°2	Villa hermosa, Paucarpata	16°23'56.41"S	71°27'28.03"O
N°3	Paucarpata	16°25'2.36"S	71°27'24.83"O
N°4	Alto Misti, Miraflores	16°22'45.58"S	71°29'5.54"O

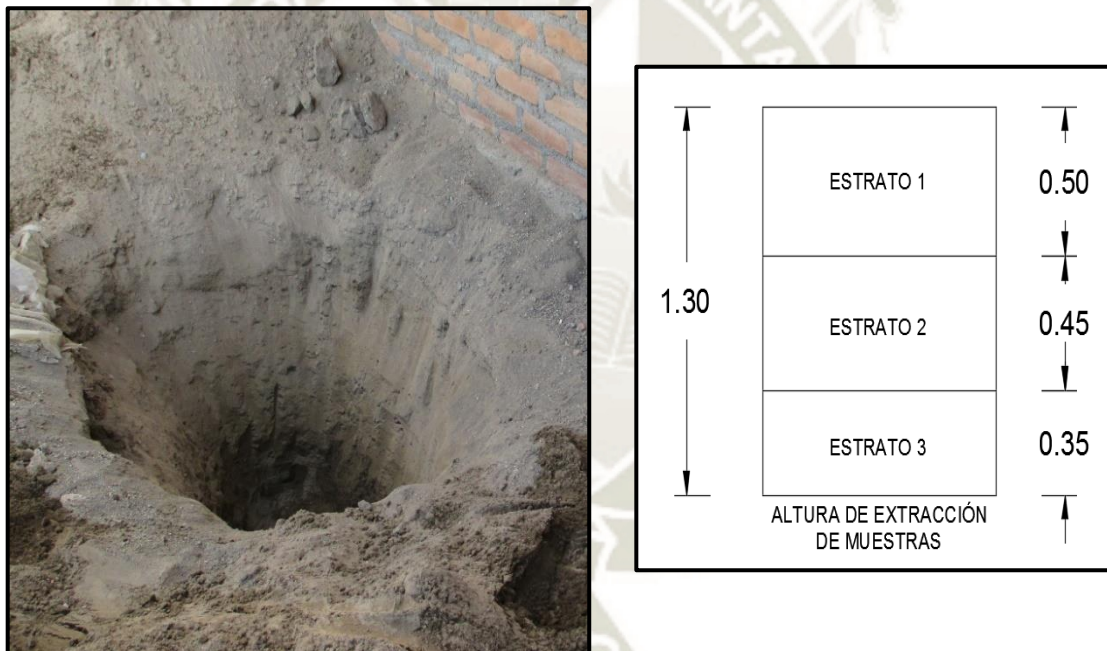
*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.5. Perfil Estratigráfico

El perfil estratigráfico se realizó sobre las seis calicatas antes mencionadas, dicho trabajo trata sobre poder observar y reconocer visualmente las diferentes capas (estratos) que tiene un suelo y llevados al laboratorio para obtener su clasificación del estrato más precisa, además se con este método se puede conocer si el suelo ha sido alterado o inalterado, el estrato más joven siempre va arriba y el más antiguo va apareciendo conforme se vaya excavando.

A continuación, se mostrarán los perfiles estratigráficos:

Figura 4. 14 Estratigrafía de Calicata N°1 – Acequia Alta

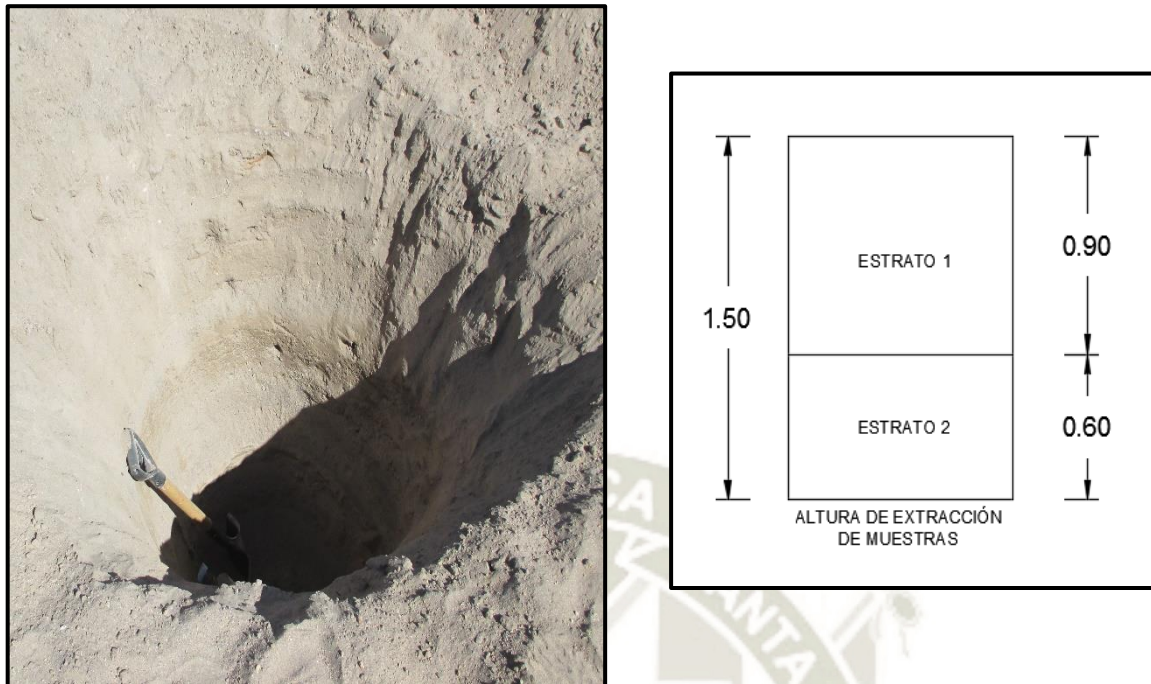


##### Calicata N°1

- En la 1era capa se observó que los primeros 0.50m del estrato posee mayor cantidad de arena.
- En el 2da capa se tiene una combinación más homogénea entre arena y grava
- La 3era capa se inicia a una profundidad de 0.95m, donde comenzó a encontrarse mayor cantidad de grava de mayor diámetro, en esta capa es donde se extrae la muestra para los ensayos, aproximadamente 1.20m

Fuente: Elaboración propia

Figura 4. 15 Estratigrafía de Calicata N°2 - Pachacutec

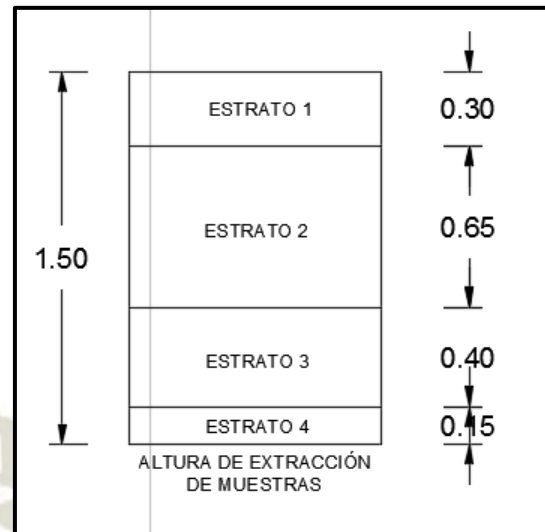


Calicata N°2

- Se puede observar que la 1er capa abarca 0.90m de altura, siendo el estrato de tipo arena
- En la 2da capa, comenzó a aparecer pequeñas cantidades de grava de pequeños diámetros, esta capa se extiende hasta 1.50m, de donde se extrajo las muestras para el estudio

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4. 16 Estratigrafía de Calicata N°3 - Miraflores



**Calicata N°3**

Se encontró que el 1er estrato de 0.30m de profundidad el cual ha sido alterado, también se encontró vegetación.

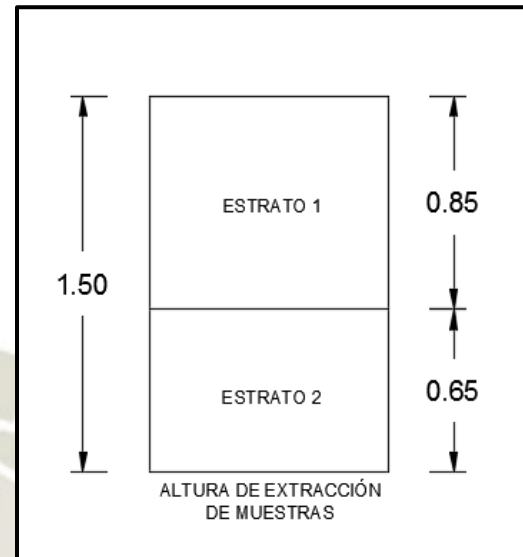
En el 2do estrato se puede notar la aparición de arena gruesa

En el 3er estrato a una profundidad de 0.95m se comenzó a encontrar grava de pequeños tamaños

En 4to estrato se encontró gravas dispersas de mayor tamaño, es en este estrato de -1.40m de altura donde se extrajeron las muestras.

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4. 17 Estratigrafía de Calicata N°4 - Yanahuara



#### Calicata N°4

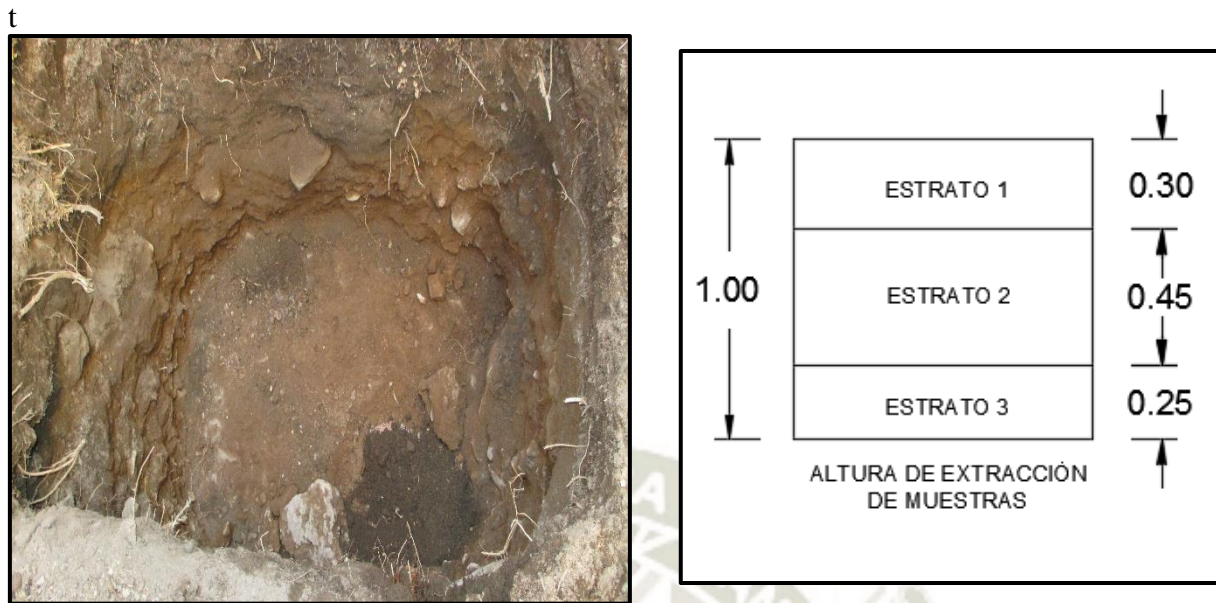
En esta calicata se pudo notar que los estratos eran bastantes similares a simple vista, para lo cual se necesitó extraer muestras a diferentes altura para saber su clasificación.

En la 1era capa de 0.85 de espesor el suelo tiene arena con más finos

En la 2da capa se encontró arena con mayor cantidad de grava, en la cual a una altura de -1.50m se extrajeron las muestras.

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4. 18 Estratigrafía de Calicata N°5 - Socabaya



**Calicata N°5**

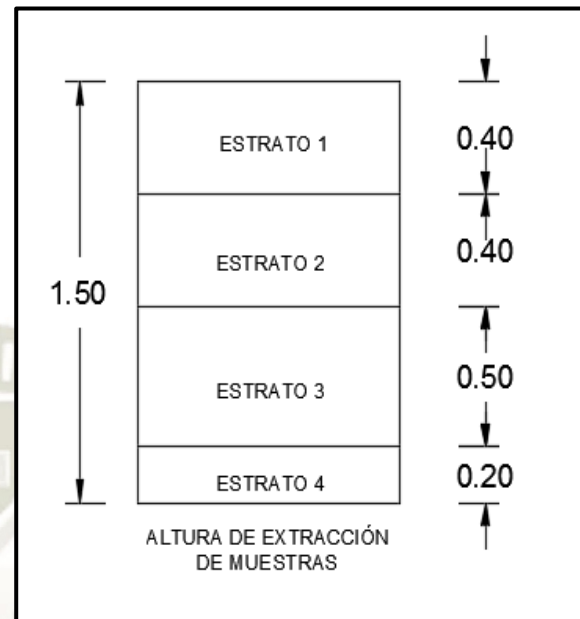
El 1er estrato de 0.30m ha sido alterado.

En el 2do estrato entre -0.30m a -0.75m se notó la aparición de grava con arena

En el 3er estrato comenzó a encontrar mayor cantidad de grava, la cual se pudo notar que era “caliche”, por tal motivo fue en este estrato que se extrajo la muestra, ya que si se procedía excavando se encontraría con roca fracturada.

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4. 19 Estratigrafía de Calicata N°6 - Paucarpata



#### Calicata N°6

- En la 1era capa era netamente arena gruesa
- En la 2da capa se encontró arena con poca cantidad de grava, pero esta era de mediano tamaño (aprox. 2")
- En la 3er capa se encontró arena con mayor cantidad de grava pero de diferentes tamaños.
- En la 4ta capa de 1.40m de profundidad se extrajeron las muestras.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6. Procesos en laboratorio

En la presente tesis de investigación se realizaron los diversos ensayos, tanto en campo y en laboratorio, los cuales darán base a la presente investigación, es por ello que se extrajeron muestras por cada calicata realizada, a continuación, se mencionará los ensayos a realizar:

- Cuarteo de muestra
- Contenido de humedad
- Granulometría
- Límites de consistencia
- Densidad natural, densidad *in situ* (Cono de Arena)
- Proctor Modificado
- Densidad Mínima (Densidad Relativa)
- Densidad Máxima por medio de la mesa vibratoria (Densidad Relativa)

Para los ensayos mencionados anteriormente se utilizaron instrumentos y equipos, los cuales están reglamentados por las Normas Técnicas Peruanas.

Cabe resaltar que los principales ensayos que serán factor de estudios son el de Proctor Modificado y los ensayos de Mesa de Densidad Relativa.



## CAPÍTULO V

## 5. ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS

### 5.1. Alcance

En la actualidad el estudio de Mecánica de Suelos se ha convertido en un factor de estudio fundamental para toda obra civil (edificaciones, carreteras, presas, entre otros).

Dentro de la Mecánica de suelos existen diversidades de ensayos, los cuales se realizan dependiendo el campo de acción al que será sometido el suelo en estudio.

Los Ensayos de Mecánica de Suelos están reconocidos y normados internacionalmente por las instituciones como AASHTO y ASTM, y a nivel nacional tenemos las Normas Técnicas Peruana (NTP) reguladas por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y el Manual de Ensayos de Materiales (EM.2000) regulado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), ambas entidades mantienen actualizadas las normas, por este motivo el MTC según la Resolución Directoral N°18-2016-MTC/14 hizo una actualización reciente del Manual de Ensayos de Materiales en Junio 2016.

A continuación, se mostrarán los cuadros de los ensayos realizados.

### 5.2. Ensayos de laboratorio

#### 5.2.1. Cuarteo de la muestra

NTP 339.089 SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas (Cuarteo).

Para poder realizar los diferentes ensayos, en primer lugar al recibir la muestra se debe efectuar el cuarteo con el fin de homogenizar las muestras extraídas, y que también consiste en reducir el material a un tamaño conveniente de acuerdo al ensayo que se va a realizar, esto se debe efectuar de tal manera que otorgue validez a los ensayos ejecutados, las diferentes proporciones de muestra que tomaremos para ensayar han de ser representativas a la original, es decir estas deben poseer los mismos rangos y proporciones de los granos, esto es vital realizar de forma correcta sino el comportamiento sería diferente para

cada ensayo y los resultado no serían coherentes, cabe adicionar que el cuarteo se realiza con el material húmedo.

Para las seis (6) muestras se realizó lo indicado y posteriormente se rotulo respectivamente.

Calicata N°1	-	Acequia Alta
Calicata N°2	-	Pachacutec
Calicata N°3	-	Miraflores
Calicata N°4	-	Yanahuara
Calicata N°5	-	Socabaya
Calicata N°6	-	Paucarpata

### 5.2.2. Contenido de humedad

NTP 339.127 SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

La norma expresa lo siguiente, *“Contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en un masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas”* (INACAL, 2001).

Este ensayo es de suma importancia, ya que a partir de este se derivan a otros, por ende, hay que tener presente el método operativo donde determina *“el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C\*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua.”* (INACAL, 2001).

Siguiendo los requisitos y parámetros establecidos en esta norma se procede a exponer los siguientes resultados de los ensayos.

### 5.2.3. Muestras de Material Propio (Sub-rasante)

#### CALICATA N°1 – ACEQUIA ALTA

##### ENSAYO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.20 Metros

FECHA: 17/06/2016

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
MUESTRA		N°1	N°2
PESO DE TARA	gf	87.00	86.50
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	385.50	290.00
PESO SUELO SECO + TARA	gf	368.50	276.50
PESO SUELO SECO	gf	281.50	190.00
PESO AGUA	gf	17.00	13.50
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	<b>6.04</b>	<b>7.11</b>

*Fuente: Elaboración propia*

#### CALICATA N°2 – PACHACUTEC

##### ENSAYO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 20/06/2016

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
MUESTRA		N°1	N°2
PESO DE TARA	gf	88.50	87.00
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	402.00	380.00
PESO SUELO SECO + TARA	gf	374.00	358.50
PESO SUELO SECO	gf	285.50	271.50
PESO AGUA	gf	28.00	21.50
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	<b>9.81</b>	<b>7.92</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### CALICATA N°3 - MIRAFLORES

#### ENSAYO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 23/06/2016

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
MUESTRA		N°1	N°2
PESO DE TARA	gf	88.50	88.00
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	397.00	369.00
PESO SUELO SECO + TARA	gf	380.50	351.00
PESO SUELO SECO	gf	292.00	263.00
PESO AGUA	gf	16.50	18.00
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	<b>5.65</b>	<b>6.84</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### CALICATA N°4 - YANAHUARA

#### ENSAYO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 01/07/2016

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
MUESTRA		N°1	N°2
PESO DE TARA	gf	87.00	85.00
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	409.00	380.00
PESO SUELO SECO + TARA	gf	388.50	359.50
PESO SUELO SECO	gf	301.50	274.50
PESO AGUA	gf	20.50	20.50
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	<b>6.80</b>	<b>7.47</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°5 - SOCABAYA**

**ENSAYO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.00 METRO

FECHA: 08/07/2016

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
MUESTRA		N°1	N°2
PESO DE TARA	gf	87.00	88.50
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	397.50	375.00
PESO SUELO SECO + TARA	gf	381.50	358.00
PESO SUELO SECO	gf	294.50	269.50
PESO AGUA	gf	16.00	17.00
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	<b>5.43</b>	<b>6.31</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°6 - PAUCARPATA**

**ENSAYO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 metros

FECHA: 15/07/2016

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
MUESTRA		N°1	N°2
PESO DE TARA	gf	88.00	91.00
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	406.00	383.00
PESO SUELO SECO + TARA	gf	394.50	370.00
PESO SUELO SECO	gf	306.50	279.00
PESO AGUA	gf	11.50	13.00
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	<b>3.75</b>	<b>4.66</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.2.3.1. Muestras de Material de Préstamo

#### CANTERA N° 1 – EL AZUFRAL

##### ENSAYO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 28/01/2017

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
MUESTRA		N°1	N°2
PESO DE TARA	gf	88.50	88.00
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	149.50	172.10
PESO SUELO SECO + TARA	gf	144.40	164.80
PESO SUELO SECO	gf	55.90	76.80
PESO AGUA	gf	5.10	7.30
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	<b>9.12</b>	<b>9.51</b>

*Fuente: Elaboración propia*

#### CANTERA N° 2 – AGREGADOS ALVAREZ

##### ENSAYO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 28/01/2017

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
MUESTRA		N°1	N°2
PESO DE TARA	gf	91.50	90.00
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	149.60	152.80
PESO SUELO SECO + TARA	gf	144.60	146.80
PESO SUELO SECO	gf	53.10	56.80
PESO AGUA	gf	5.00	6.00
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	<b>9.42</b>	<b>10.56</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### CANTERA N° 3 – LOS PORTALES

#### ENSAYO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 28/01/2017

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
MUESTRA		N°1	N°2
PESO DE TARA	gf	88.50	89.50
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	170.30	167.60
PESO SUELO SECO + TARA	gf	162.80	161.00
PESO SUELO SECO	gf	74.30	71.50
PESO AGUA	gf	7.50	6.60
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	<b>10.09</b>	<b>9.23</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### CANTERA N° 4 – ALTO MISTI

#### ENSAYO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 28/01/2017

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
MUESTRA		N°1	N°2
PESO DE TARA	gf	91.00	90.00
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	201.50	200.00
PESO SUELO SECO + TARA	gf	192.00	190.50
PESO SUELO SECO	gf	101.00	100.50
PESO AGUA	gf	9.50	9.50
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	<b>9.41</b>	<b>9.45</b>

*Fuente: Elaboración propia*

#### 5.2.4. Granulometría

NTP 339.128 SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico.

Dicha norma nos hace referencia a *“determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (Nº 200)”*.<sup>1</sup>

Este ensayo es uno de los más importantes e imprescindibles, ya que a partir de este se pueden realizar y determinar los demás ensayos y por ende necesario de realizar antes de proceder a ejecutar otros ensayos, ya que debemos conocer con qué tipo de suelo estamos trabajando, grava, arena, limo, arcilla o la combinación de estos en diferentes porcentajes (INACAL, 2001).

Como lo indica la norma se procedió a realizar los ensayos.

---

<sup>1</sup> Norma Técnica Peruana 339.128

### 5.2.4.1. Muestras de Material Propio (Sub-rasante)

#### CALICATA N°1 – ACEQUIA ALTA

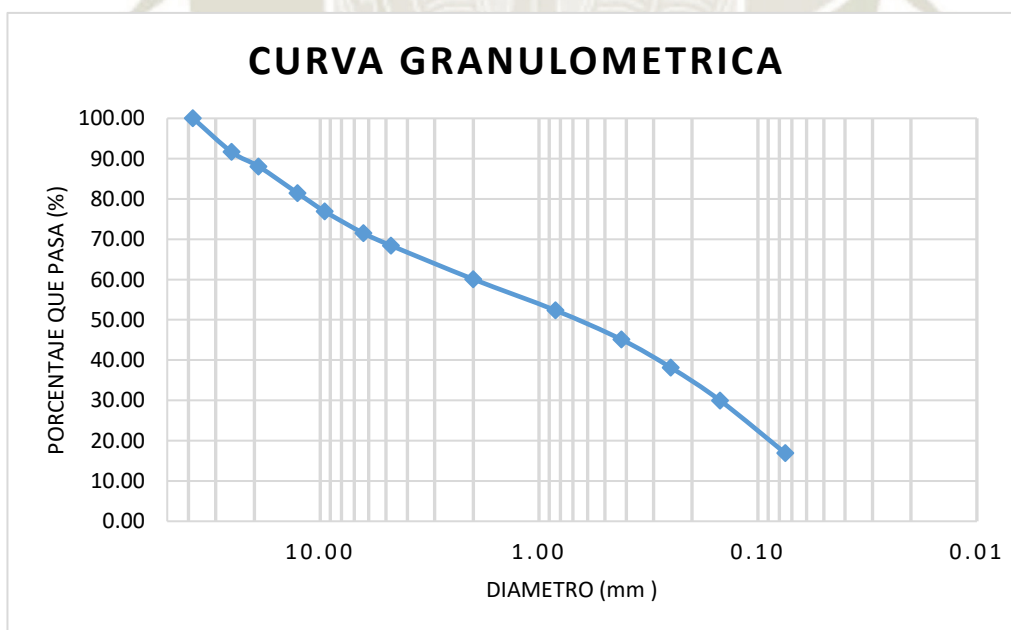
#### ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.20 Metros

FECHA: 17/06/2016

N° TAMIZ	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (gf)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
11/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	208.50	8.36	8.36	91.64
3/4"	19.10	89.50	3.59	11.95	88.05
1/2"	12.70	164.50	6.60	18.54	81.46
3/8"	9.52	114.00	4.57	23.12	76.88
1/4"	6.35	134.50	5.39	28.51	71.49
4	4.750	76.50	3.07	31.58	68.42
10	2.000	208.00	8.34	39.92	60.08
20	0.840	193.50	7.76	47.67	52.33
40	0.420	180.50	7.24	54.91	45.09
60	0.250	173.50	6.96	61.87	38.13
100	0.149	203.50	8.16	70.03	29.97
200	0.075	326.50	13.09	83.12	16.88
FONDO		421.00	16.88	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>2494.00</b>			



D10 =	0.06
D30 =	0.16
D60 =	2.00
<b>Cu =</b>	<b>33.33</b>
<b>Cc =</b>	<b>0.21</b>

Fuente:

Elaboración propia

### CALICATA N°2 – PACHACUTEC

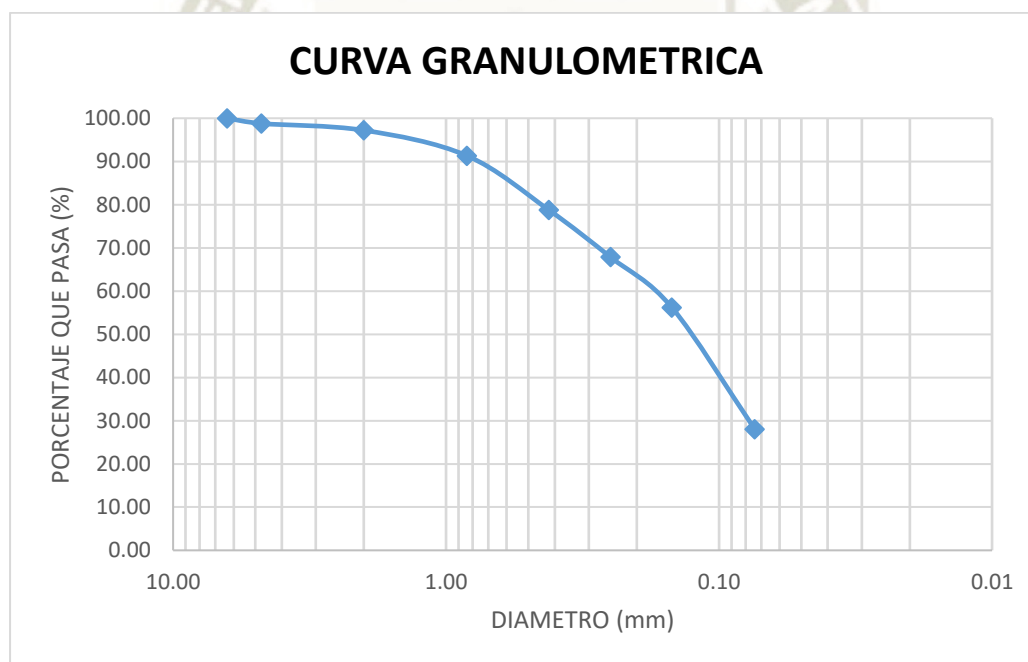
#### ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 20/06/2016

N° TAMIZ	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (gf)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.750	8.50	1.22	1.22	98.78
10	2.000	11.00	1.57	2.79	97.21
20	0.840	41.00	5.87	8.66	91.34
40	0.420	88.00	12.59	21.24	78.76
60	0.250	76.00	10.87	32.12	67.88
100	0.149	81.50	11.66	43.78	56.22
200	0.074	197.00	28.18	71.96	28.04
FONDO		196.00	28.04	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>699.00</b>			



Fuente: Elaboración propia

### CALICATA N°3 - MIRAFLORES

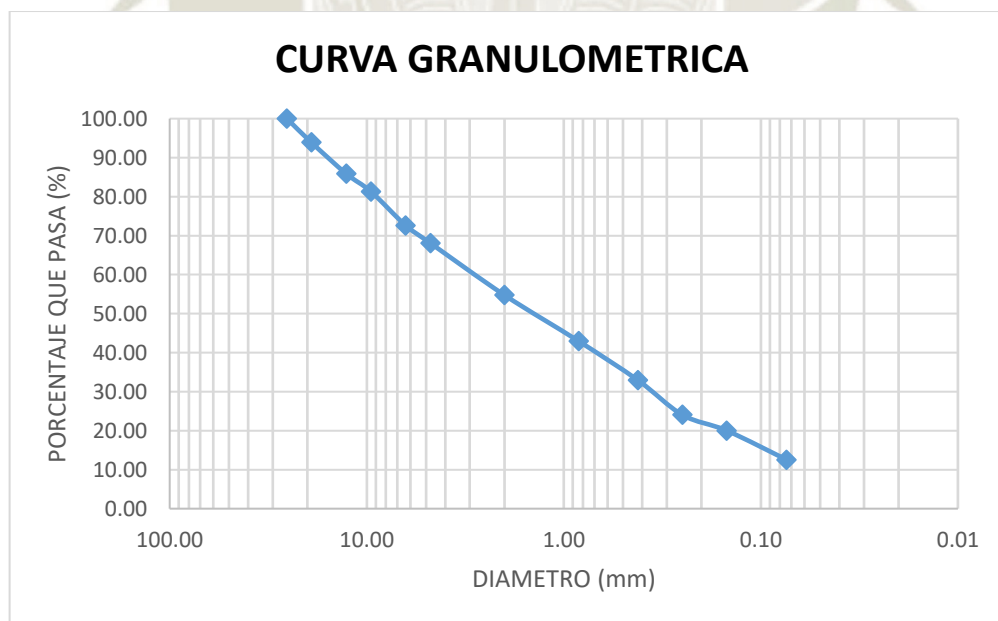
#### ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 23/06/2016

N° TAMIZ	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (gf)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.10	122.00	6.11	6.11	93.89
1/2"	12.70	160.50	8.03	14.14	85.86
3/8"	9.52	91.00	4.55	18.69	81.31
1/4"	6.35	173.50	8.68	27.38	72.62
4	4.750	91.00	4.55	31.93	68.07
10	2.000	266.00	13.31	45.25	54.75
20	0.840	236.00	11.81	57.06	42.94
40	0.420	200.50	10.04	67.09	32.91
60	0.250	177.00	8.86	75.95	24.05
100	0.149	80.50	4.03	79.98	20.02
200	0.074	149.50	7.48	87.46	12.54
FONDO		250.50	12.54	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>1998.00</b>			



<b>D10 =</b>	<b>0.10</b>
<b>D30 =</b>	<b>0.35</b>
<b>D60 =</b>	<b>3.00</b>
<b>Cu =</b>	<b>30.00</b>
<b>Cc =</b>	<b>0.41</b>

Fuente: Elaboración propia

### CALICATA N°4 - YANAHUARA

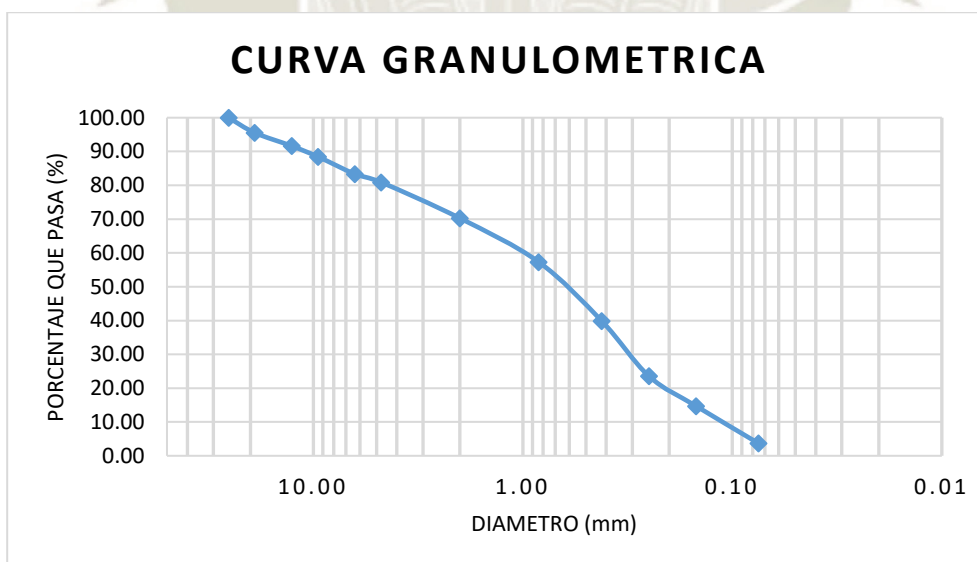
#### ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 01/07/2016

N° TAMIZ	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO (gf)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.10	53.00	4.43	4.43	95.57
1/2"	12.70	47.00	3.93	8.36	91.64
3/8"	9.52	38.00	3.18	11.54	88.46
1/4"	6.35	61.00	5.10	16.64	83.36
4	4.750	29.50	2.47	19.11	80.89
10	2.000	127.00	10.62	29.72	70.28
20	0.840	155.00	12.96	42.68	57.32
40	0.420	209.00	17.47	60.16	39.84
60	0.250	195.00	16.30	76.46	23.54
100	0.149	105.50	8.82	85.28	14.72
200	0.075	132.00	11.04	96.32	3.68
FONDO		44.00	3.68	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>1196.00</b>			



<b>D10 =</b>	<b>0.11</b>
<b>D30 =</b>	<b>0.30</b>
<b>D60 =</b>	<b>1.00</b>
<b>Cu =</b>	<b>9.09</b>
<b>Cc =</b>	<b>0.82</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### CALICATA N°5 - SOCABAYA

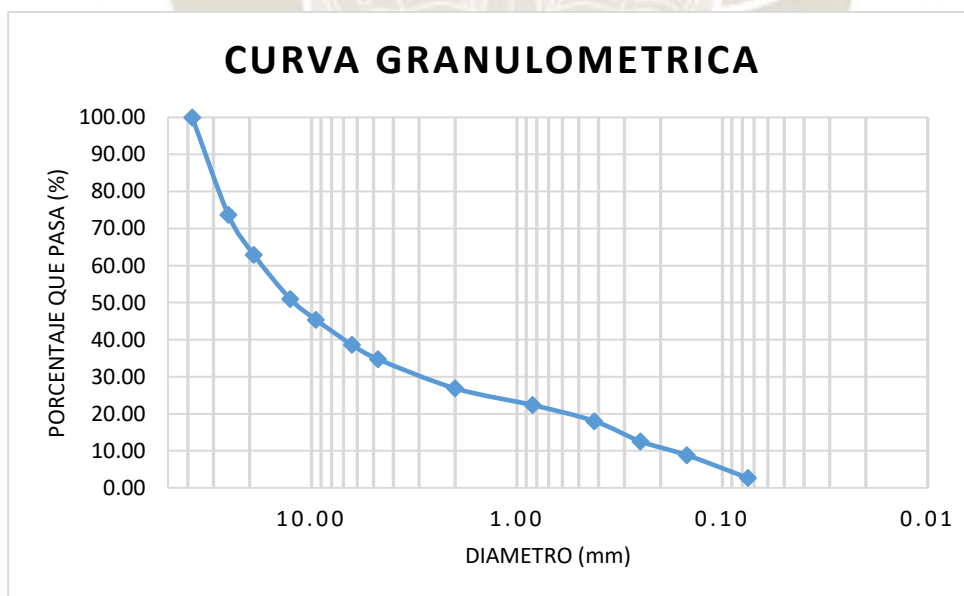
#### ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.00 Metro

FECHA: 08/07/2016

N° TAMIZ	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (gf)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
11/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	526.00	26.33	26.33	73.67
3/4"	19.10	214.50	10.74	37.06	62.94
1/2"	12.70	238.50	11.94	49.00	51.00
3/8"	9.52	112.00	5.61	54.60	45.40
1/4"	6.35	136.00	6.81	61.41	38.59
4	4.750	77.00	3.85	65.27	34.73
10	2.000	157.50	7.88	73.15	26.85
20	0.840	90.00	4.50	77.65	22.35
40	0.420	86.50	4.33	81.98	18.02
60	0.250	109.50	5.48	87.46	12.54
100	0.149	74.00	3.70	91.17	8.83
200	0.075	123.00	6.16	97.32	2.68
FONDO		53.50	2.68	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>1998.00</b>			



*Fuente: Elaboración propia*

### CALICATA N°6 - PAUCARPATA

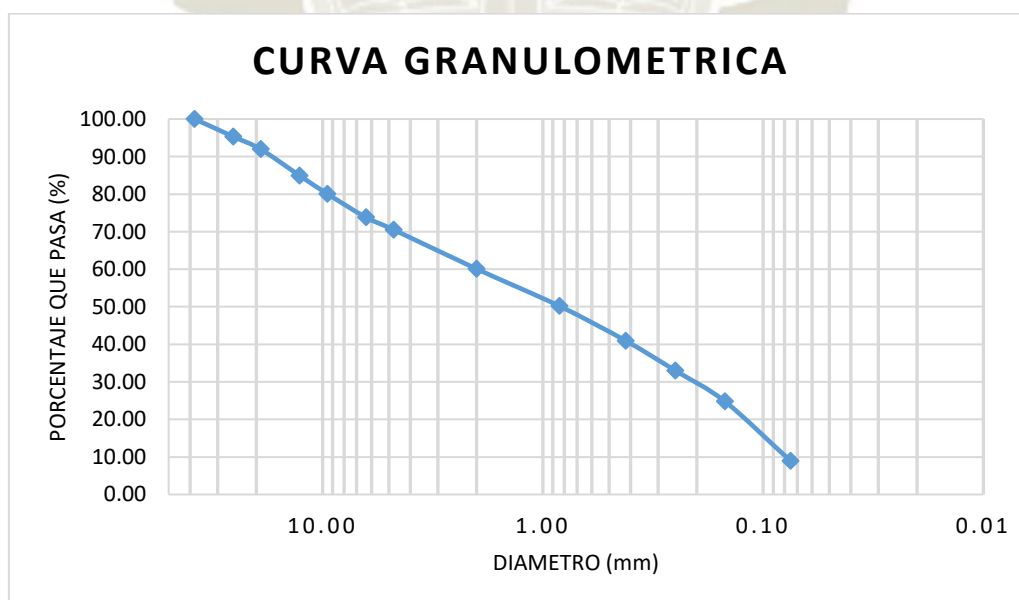
#### ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 15/07/2016

N° TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO (gf)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
11/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	70.50	4.71	4.71	95.29
3/4"	19.10	50.00	3.34	8.04	91.96
1/2"	12.70	105.50	7.04	15.09	84.91
3/8"	9.52	72.50	4.84	19.93	80.07
1/4"	6.35	94.00	6.28	26.20	73.80
4	4.750	49.50	3.30	29.51	70.49
10	2.000	156.00	10.41	39.92	60.08
20	0.840	148.50	9.91	49.83	50.17
40	0.420	138.50	9.25	59.08	40.92
60	0.250	119.00	7.94	67.02	32.98
100	0.149	123.00	8.21	75.23	24.77
200	0.075	237.50	15.85	91.09	8.91
FONDO		133.50	8.91	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>1498.00</b>			



Fuente: Elaboración propia

### 5.2.4.2. Muestras de Material de Préstamo

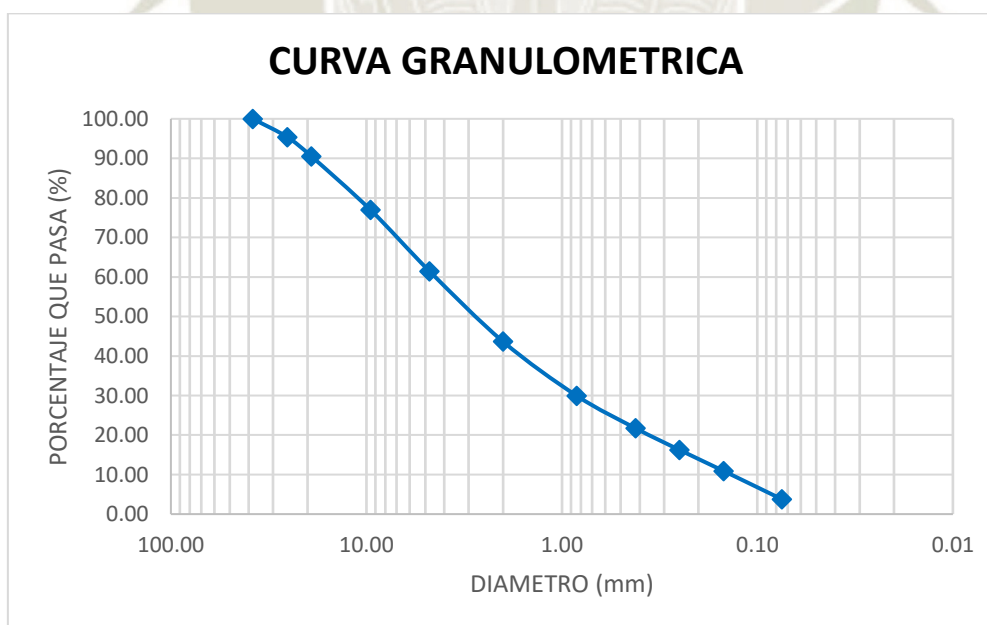
#### CANTERA N° 1 – EL AZUFRAL

#### ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 28/01/2017

N° TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
11/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	184.00	4.60	4.60	95.40
3/4"	19.10	196.00	4.90	9.50	90.50
3/8"	9.52	542.00	13.55	23.05	76.95
4	4.750	621.00	15.53	38.58	61.43
10	2.000	711.00	17.78	56.35	43.65
20	0.840	548.00	13.70	70.05	29.95
40	0.420	329.00	8.23	78.28	21.73
60	0.250	220.00	5.50	83.78	16.23
100	0.149	212.00	5.30	89.08	10.93
200	0.075	286.00	7.15	96.23	3.78
FONDO		151.00	3.78	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>4000.00</b>			



Fuente: Elaboración propia

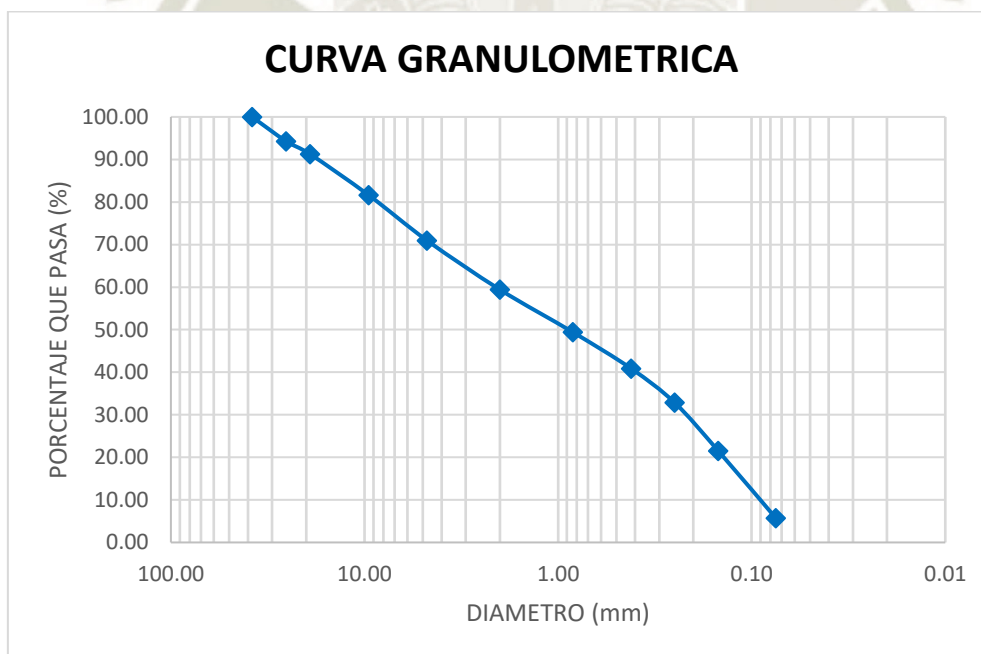
**CANTERA N° 2 – AGREGADOS ALVAREZ**

**ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 28/01/2017

N° TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
11/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	229.00	5.73	5.73	94.28
3/4"	19.10	121.00	3.03	8.75	91.25
3/8"	9.52	385.00	9.63	18.38	81.63
4	4.750	427.00	10.68	29.05	70.95
10	2.000	461.00	11.53	40.58	59.43
20	0.840	400.00	10.00	50.58	49.43
40	0.420	342.00	8.55	59.13	40.88
60	0.250	321.00	8.03	67.15	32.85
100	0.149	452.00	11.30	78.45	21.55
200	0.075	634.00	15.85	94.30	5.70
FONDO		228.00	5.70	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>4000.00</b>			



D10 =	0.09
D30 =	0.21
D60 =	2.05
<b>Cu =</b>	<b>22.78</b>
<b>Cc =</b>	<b>0.24</b>

Fuente: Elaboración propia

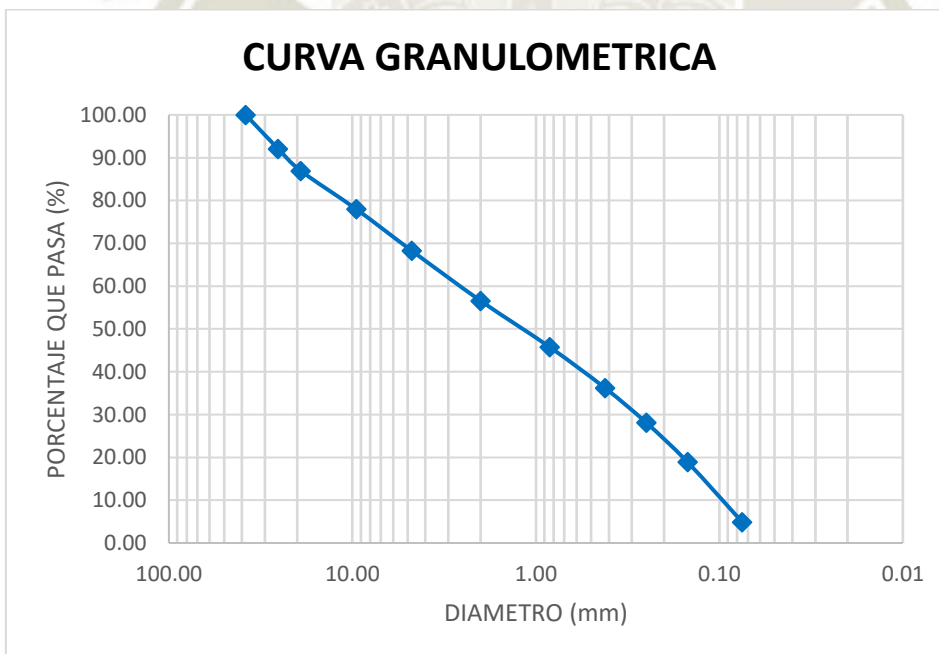
### CANTERA N° 3 – LOS PORTALES

#### ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 28/01/2017

N° TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
11/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	348.00	7.91	7.91	92.09
3/4"	19.10	227.00	5.16	13.07	86.93
3/8"	9.52	394.00	8.95	22.02	77.98
4	4.750	427.00	9.70	31.73	68.27
10	2.000	515.00	11.70	43.43	56.57
20	0.840	476.00	10.82	54.25	45.75
40	0.420	420.00	9.55	63.80	36.20
60	0.250	357.00	8.11	71.91	28.09
100	0.149	405.00	9.20	81.11	18.89
200	0.075	617.00	14.02	95.14	4.86
FONDO		214.00	4.86	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>4400.00</b>			



D10 =	0.10
D30 =	0.30
D60 =	2.80
<b>Cu =</b>	<b>28.00</b>
<b>Cc =</b>	<b>0.32</b>

Fuente: Elaboración propia

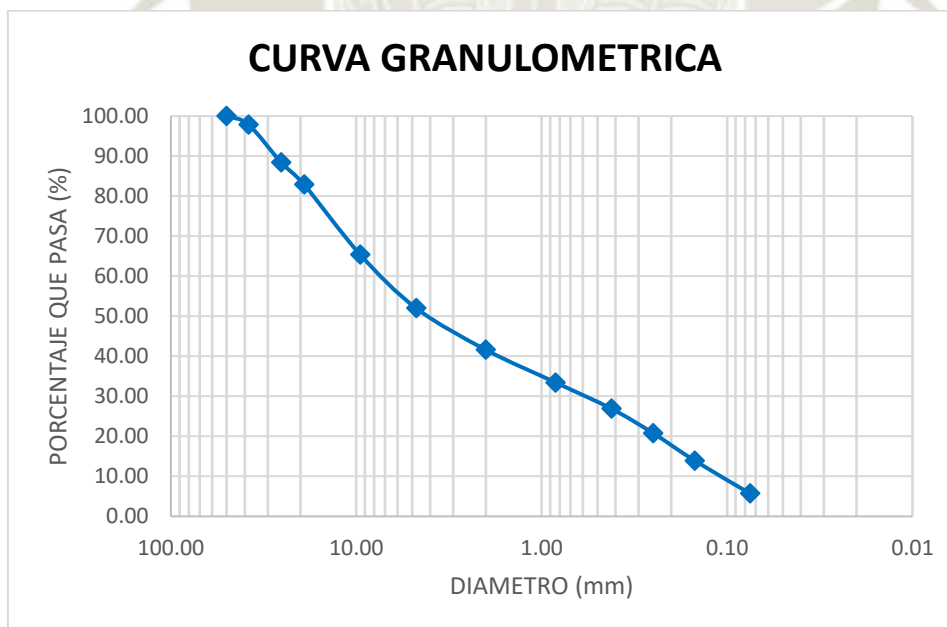
**CANTERA N° 4 – ALTO MISTI**

**ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 28/01/2017

N° TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	86.00	2.15	2.15	97.85
1"	25.40	379.00	9.48	11.63	88.38
3/4"	19.10	221.00	5.53	17.15	82.85
3/8"	9.52	699.00	17.48	34.63	65.38
4	4.750	535.00	13.38	48.00	52.00
10	2.000	416.00	10.40	58.40	41.60
20	0.840	327.00	8.18	66.58	33.43
40	0.420	262.00	6.55	73.13	26.88
60	0.250	245.00	6.13	79.25	20.75
100	0.149	275.00	6.88	86.13	13.88
200	0.075	327.00	8.18	94.30	5.70
FONDO		228.00	5.70	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		4000.00			



D10 =	0.11
D30 =	0.60
D60 =	7.20
<b>Cu =</b>	<b>65.45</b>
<b>Cc =</b>	<b>0.45</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.2.5. Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad

NTP 339.129 SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de los suelos

La norma con respecto al límite líquido nos expresa, *“este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción. El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos son extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte”* (INACAL, 2001).

Con respecto al límite plástico y al índice de plasticidad, *“se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmorone”* (INACAL, 2001).

Siguiendo con lo indicado en la norma se realizaron los siguientes ensayos.

### 5.2.5.1. Muestras de Material Propio

#### CALICATA N°1 – ACEQUIA ALTA

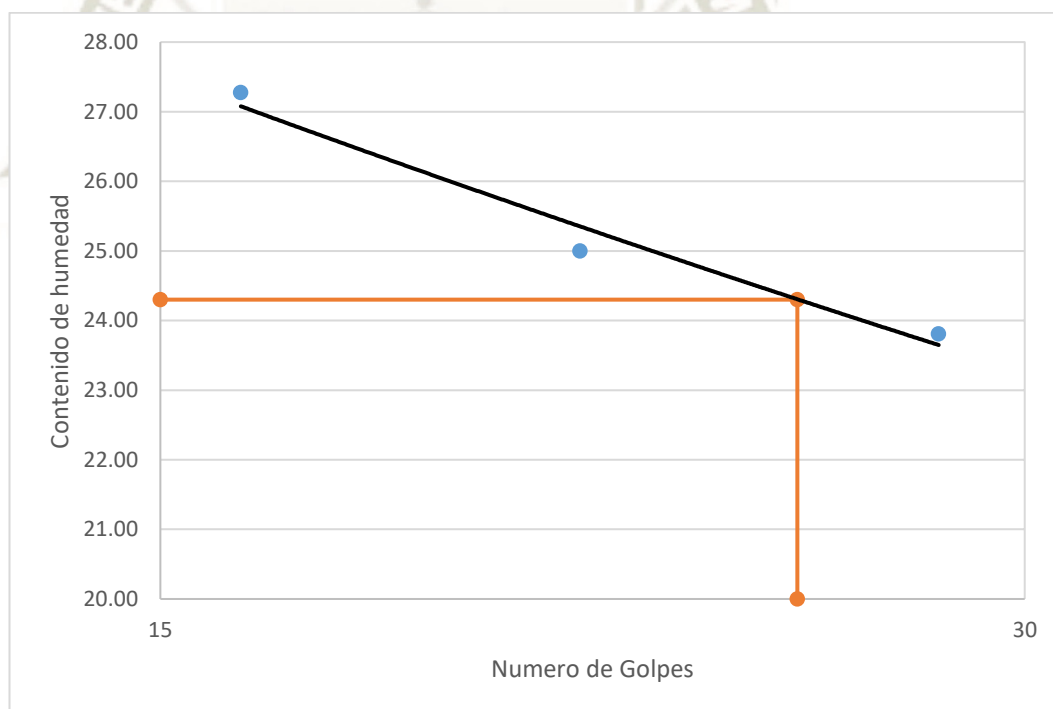
##### LIMITES DE CONSISTENCIA O LIMITES DE ATTERBERG

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.20 Metros

FECHA: 17/06/2016

LIMITES DE CONSISTENCIA					
MUESTRA	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	1	2
N° GOLPES	28	21	16	NP	NP
PESO DE TARA (gr)	25.00	27.50	26.00	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	38.00	40.00	40.00	NP	NP
PESO SUELO SECO + TARA (gr)	35.50	37.50	37.00	NP	NP
PESO SUELO SECO (gr)	10.50	10.00	11.00	NP	NP
PESO AGUA (gr)	2.50	2.50	3.00	NP	NP
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	23.81	25.00	27.27	NP	NP



<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>24.30%</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>NP</b>
<b>INIDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>NP</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°2 – PACHACUTEC**

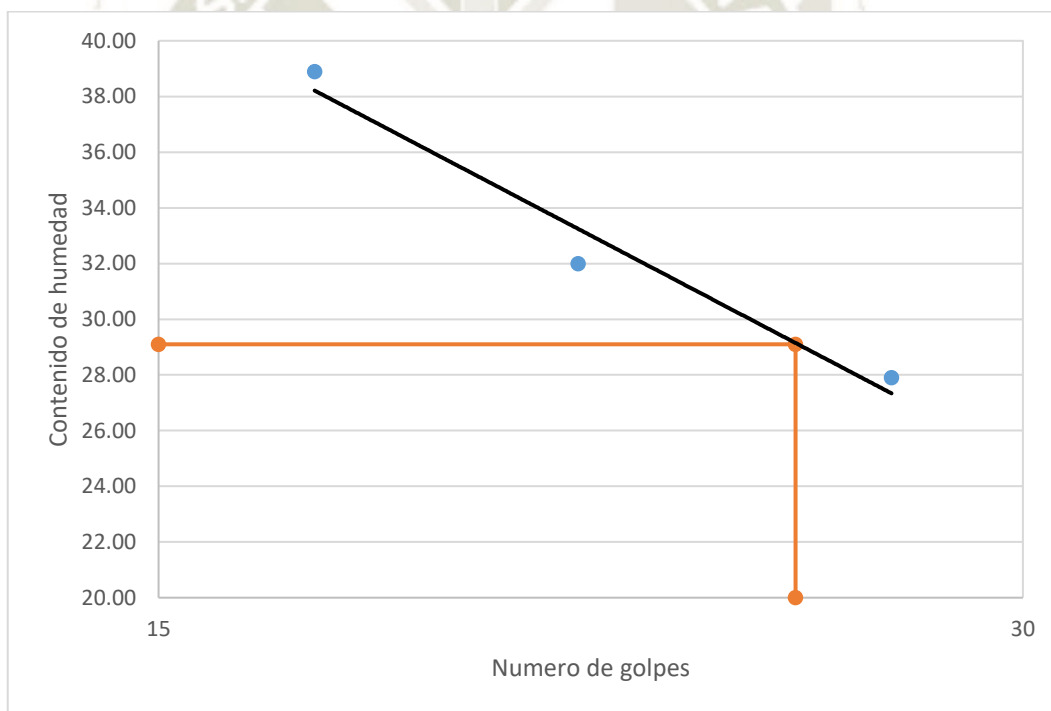
**LIMITES DE CONSISTENCIA O LIMITES DE ATTERBERG**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 20/06/2016

LIMITES DE CONSISTENCIA					
MUESTRA	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	1	2
N° GOLPES	27	21	17	NP	NP
PESO DE TARA (gr)	27.00	27.50	27.50	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	38.00	44.00	40.00	NP	NP
PESO SUELO SECO + TARA (gr)	35.60	40.00	36.50	NP	NP
PESO SUELO SECO (gr)	8.60	12.50	9.00	NP	NP
PESO AGUA (gr)	2.40	4.00	3.50	NP	NP
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	27.91	32.00	38.89	NP	NP



<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>29.10%</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>NP</b>
<b>INIDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>NP</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°3 - MIRAFLORES**

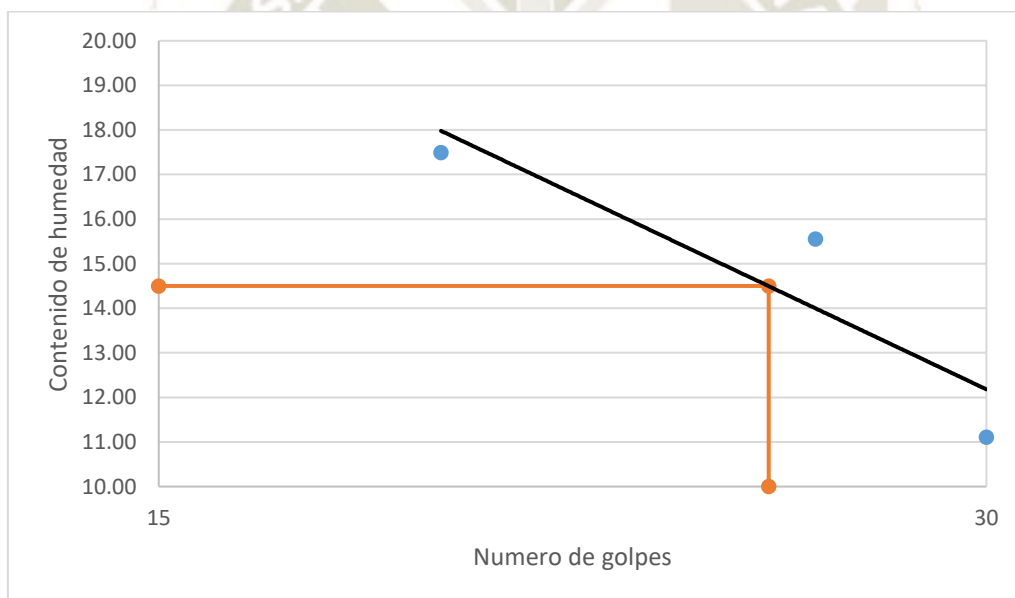
**LIMITES DE CONSISTENCIA O LIMITES DE ATTERBERG**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 23/06/2016

LIMITES DE CONSISTENCIA					
MUESTRA	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	1	2
N° GOLPES	30	26	19	NP	NP
PESO DE TARA (gr)	27.5	27.65	26.38	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	42.5	44.81	40.62	NP	NP
PESO SUELO SECO + TARA (gr)	41	42.50	38.50	NP	NP
PESO SUELO SECO (gr)	13.50	14.85	12.12	NP	NP
PESO AGUA (gr)	1.50	2.31	2.12	NP	NP
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	11.11	15.56	17.49	NP	NP



<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>14.50%</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>NP</b>
<b>INIDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>NP</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°4 - YANAHUARA**

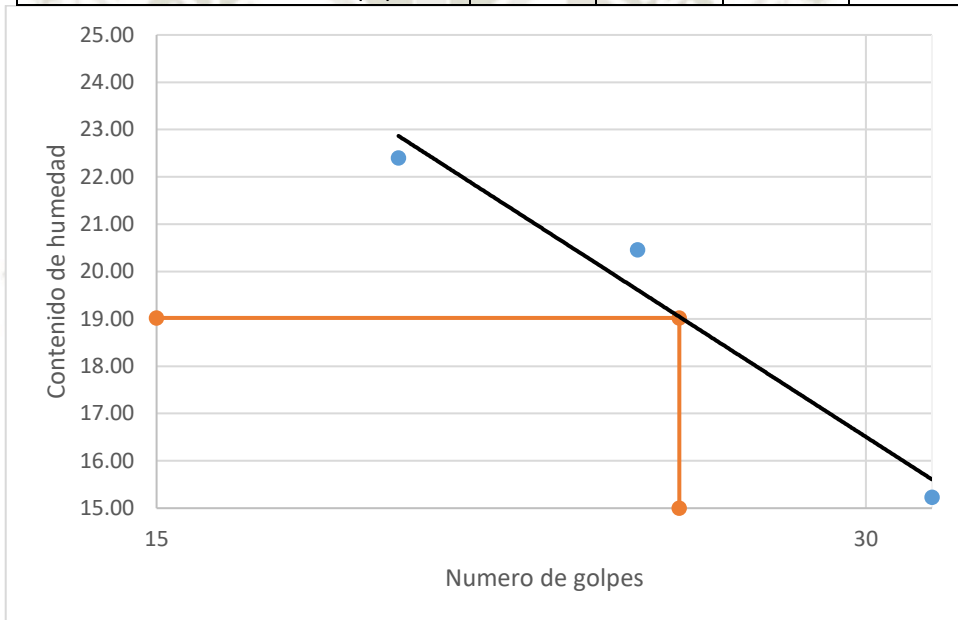
**LIMITES DE CONSISTENCIA O LIMITES DE ATTERBERG**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 01/07/2016

LIMITES DE CONSISTENCIA					
MUESTRA	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	1	2
N° GOLPES	32	24	19	NP	NP
PESO DE TARA (gr)	27.58	25.88	28.04	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	46.42	41.13	44.16	NP	NP
PESO SUELO SECO + TARA (gr)	43.93	38.54	41.21	NP	NP
PESO SUELO SECO (gr)	16.35	12.66	13.17	NP	NP
PESO AGUA (gr)	2.49	2.59	2.95	NP	NP
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	15.23	20.46	22.40	NP	NP



<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>19.02%</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>NP</b>
<b>INIDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>NP</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### CALICATA N°5 - SOCABAYA

#### LIMITES DE CONSISTENCIA O LIMITES DE ATTERBERG

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.00 Metro

FECHA: 08/07/2016

LIMITES DE CONSISTENCIA		
	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO
MUESTRA	1	1
N° GOLPES	NP	NP
PESO DE TARA (gr)	NP	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	NP	NP
PESO SUELO SECO + TARA (gr)	NP	NP
PESO SUELO SECO (gr)	NP	NP
PESO AGUA (gr)	NP	NP
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	NP	NP

Nota: Por no presentar limite liquido no se grafica

<b>NLIMITE LIQUIDO</b>	<b>NP</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>NP</b>
<b>INIDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>NP</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°6 - PAUCARPATA**

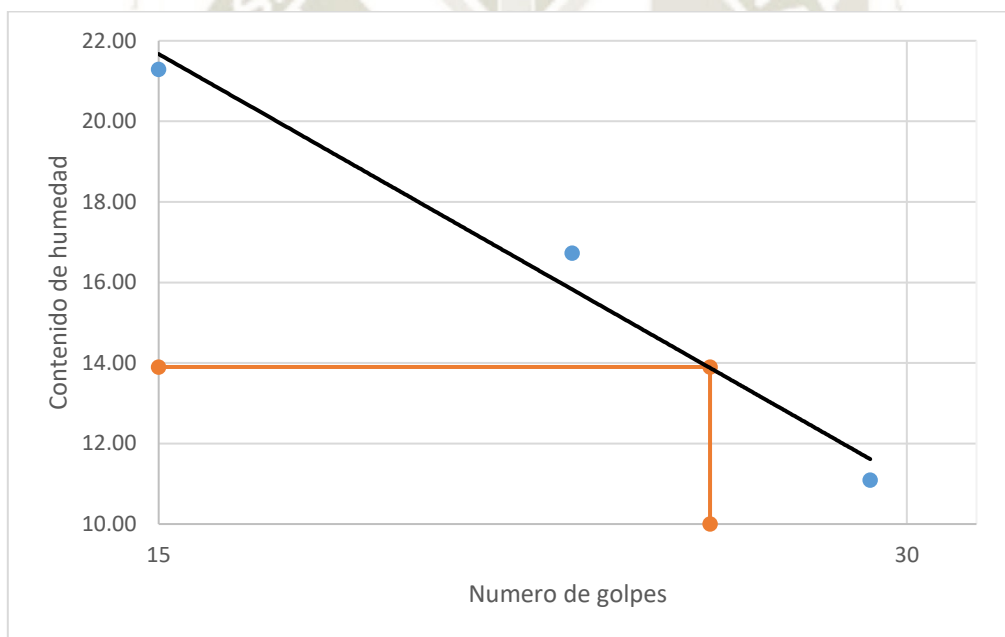
**LIMITES DE CONSISTENCIA O LIMITES DE ATTERBERG**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 15/07/2016

LIMITES DE CONSISTENCIA					
MUESTRA	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	1	2
N° GOLPES	29	22	15	NP	NP
PESO DE TARA (gr)	27.47	26.43	27.31	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	44.50	45.69	47.93	NP	NP
PESO SUELO SECO + TARA (gr)	42.80	42.93	44.31	NP	NP
PESO SUELO SECO (gr)	15.33	16.50	17.00	NP	NP
PESO AGUA (gr)	1.70	2.76	3.62	NP	NP
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	11.09	16.73	21.29	NP	NP



<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>13.90%</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>NP</b>
<b>INIDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>NP</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**5.2.5.2. Muestras de Material de Préstamo**

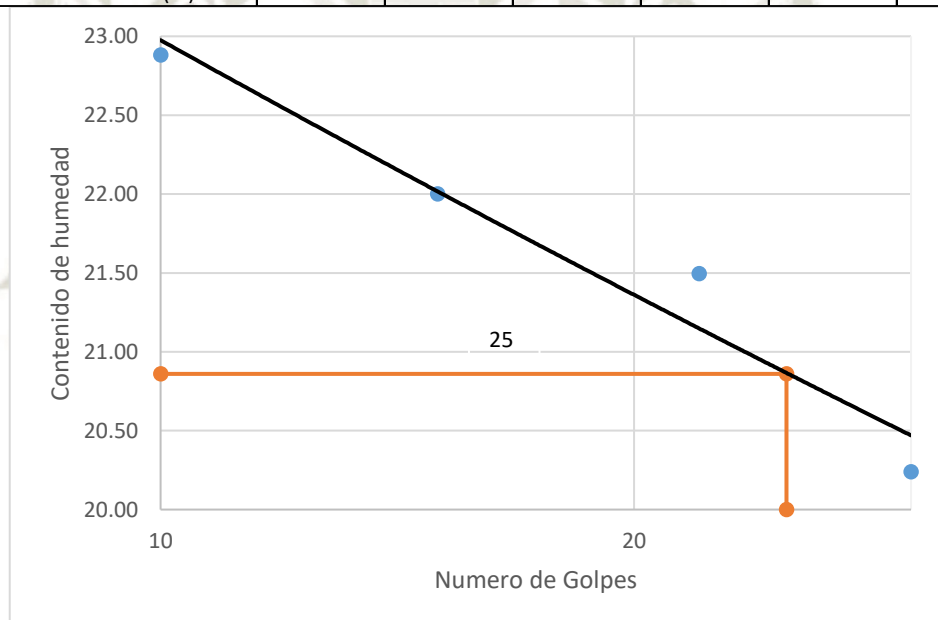
**CANTERA N° 1 – EL AZUFRAL**

**LIMITES DE CONSISTENCIA O LIMITES DE ATTERBERG**

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 28/01/2017

LIMITES DE CONSISTENCIA							
MUESTRA	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	1	2	3
N° GOLPES	31	22	15	10	-	-	-
PESO DE TARA (gr)	28.20	27.80	27.80	27.80	28.20	27.80	28.20
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	38.30	40.80	40.00	42.30	29.50	29.20	29.40
PESO SUELO SECO + TARA (gr)	36.60	38.50	37.80	39.60	29.30	29.00	29.20
PESO SUELO SECO (gr)	8.40	10.70	10.00	11.80	1.10	1.20	1.00
PESO AGUA (gr)	1.70	2.30	2.20	2.70	0.20	0.20	0.20
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	20.24	21.50	22.00	22.88	18.18%	16.67%	20.00%



<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>20.86%</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>18.28%</b>
<b>INIDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>2.58%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

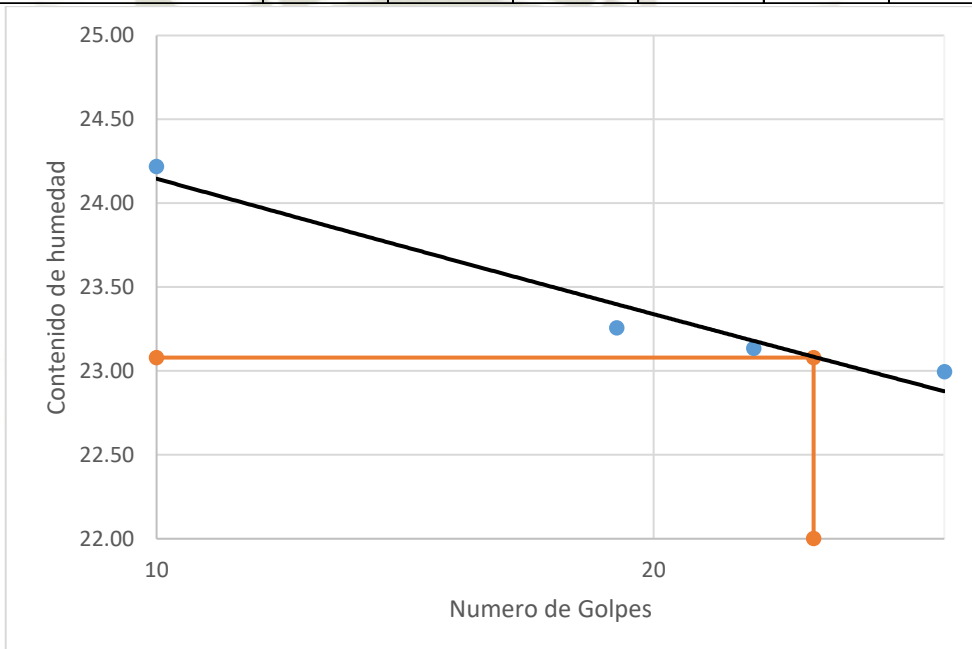
**CANTERA N° 2 – AGREGADOS ALVAREZ**

**LIMITES DE CONSISTENCIA O LIMITES DE ATTERBERG**

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 28/01/2017

MUESTRA	LIMITES DE CONSISTENCIA						
	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO		
N° GOLPES	1	2	3	4	1	2	3
PESO DE TARA (gr)	30	23	19	10	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	28.20	27.80	27.80	28.20	27.80	27.80	28.20
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	39.70	41.00	38.40	44.10	28.90	29.40	29.50
PESO SUELO SECO + TARA (gr)	37.55	38.52	36.40	41.00	28.76	29.15	29.28
PESO SUELO SECO (gr)	9.35	10.72	8.60	12.80	0.96	1.35	1.08
PESO AGUA (gr)	2.15	2.48	2.00	3.10	0.14	0.25	0.22
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	22.99	23.13	23.26	24.22	14.58%	18.52%	20.37%



<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>23.08%</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>17.82%</b>
<b>INIDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>5.26%</b>

Fuente: Elaboración propia

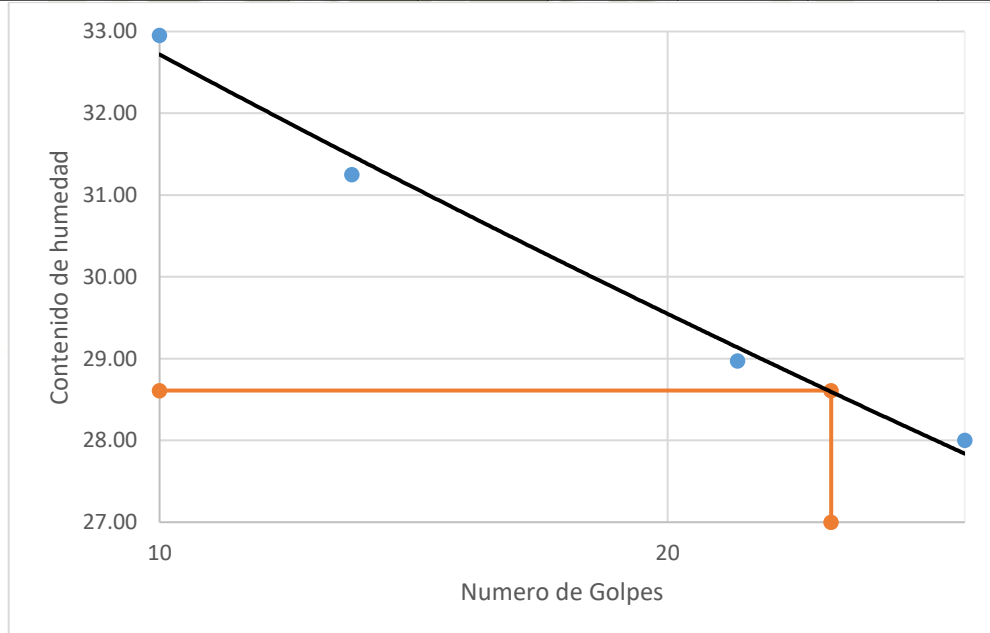
### CANTERA N° 3 – LOS PORTALES

#### LIMITES DE CONSISTENCIA O LIMITES DE ATTERBERG

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 28/01/2017

	LIMITES DE CONSISTENCIA						
	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO		
MUESTRA	1	2	3	4	1	2	3
N° GOLPES	30	22	13	10	-	-	-
PESO DE TARA (gr)	27.80	27.80	28.80	27.80	28.20	27.80	28.20
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	40.60	41.60	41.40	39.50	30.10	30.20	29.40
PESO SUELO SECO + TARA (gr)	37.80	38.50	38.40	36.60	29.70	29.70	29.15
PESO SUELO SECO (gr)	10.00	10.70	9.60	8.80	1.50	1.90	0.95
PESO AGUA (gr)	2.80	3.10	3.00	2.90	0.40	0.50	0.25
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	28.00	28.97	31.25	32.95	26.67%	26.32%	26.32%



<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>28.61%</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>26.43%</b>
<b>INIDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>2.18%</b>

Fuente: Elaboración propia

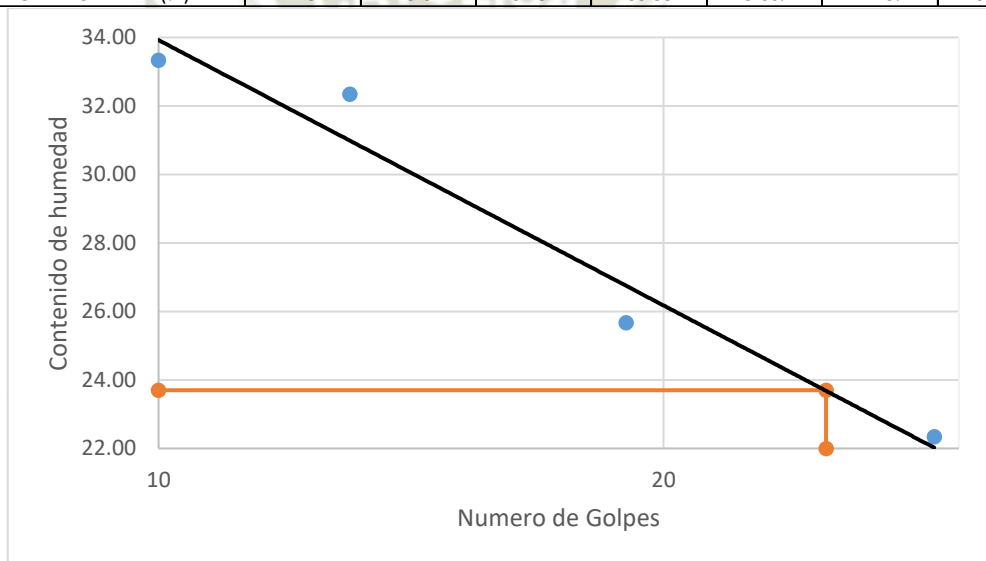
**CANTERA N° 4 – ALTO MISTI**

**LIMITES DE CONSISTENCIA O LIMITES DE ATTERBERG**

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 28/01/2017

MUESTRA	LIMITES DE CONSISTENCIA						
	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	1	2	3
N° GOLPES	29	19	13	10	-	-	-
PESO DE TARA (gr)	28.20	28.20	27.80	28.20	27.80	27.80	28.20
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	39.70	51.70	45.60	38.60	29.30	29.50	29.40
PESO SUELO SECO + TARA (gr)	37.60	46.90	41.25	36.00	29.00	29.20	29.20
PESO SUELO SECO (gr)	9.40	18.70	13.45	7.80	1.20	1.40	1.00
PESO AGUA (gr)	2.10	4.80	4.35	2.60	0.30	0.30	0.20
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	22.34	25.67	32.34	33.33	25.00%	21.43%	20.00%



<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>23.70%</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>22.14%</b>
<b>INIDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>1.56%</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.6. Cono de Arena

NTP 339.143 SUELOS. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena

*Esta norma no hace referencia, “este método es usado para determinar la densidad de suelos compactados que se encuentran en el lugar durante la construcción de terraplenes de tierra, capas de rodadura, rellenos de carreteras y estructuras de contención”*

*“Este método puede ser usado para determinar la densidad in-situ de depósitos de suelos naturales, agregados, mezcla de suelos u otro material similar (INACAL, 2001).*

Para realizar este ensayo hay que tener en cuenta lo siguiente, *“Este método de ensayo se aplica a suelos que no contengan una cantidad excesiva de roca o materiales gruesos con un diámetro mayor a 1 ½ pulg (38 mm) (INACAL, 2001).*

*“Esta norma también puede utilizarse para determinar la densidad y el peso unitario de suelos inalterados o suelos in-situ, que contengan vacíos naturales o cuando los poros sean lo suficientemente pequeños para prevenir que la arena usada en el ensayo penetre en los vacíos naturales (INACAL, 2001).*

Este ensayo se realizó dentro de la calicata a la profundidad realizada en cada calicata.

Como lo indica la norma se procedió a realizar los ensayos *in situ*.

### 5.2.6.1. Muestras de Material Propio

#### CALICATA N°1 – ACEQUIA ALTA

#### ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO IN SITU MEDIANTE EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.20 Metros

FECHA: 17/06/2016

<b>DENSIDAD EN CAMPO</b>		
PESO INICIAL ARENA + FRASCO ( $W_o$ )	gf	6194.00
PESO FINAL ARENA + FRASCO ( $W_f$ )	gf	1640.00
PESO ARENA EN CONO ( $W_c$ )	gf	1630.00
PESO UNITARIO ARENA ( $\gamma_d$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.54
PESO AREANA EN HOYO ( $W_e$ )	gf	2924.00
VOLUMEN HUECO (V)	cm <sup>3</sup>	1898.70
<b>MUESTRA</b>		<b>AA</b>
PESO SUELO HÚMEDO ( $W_h$ )	gf	2383.00
VOLUMEN SUELO HÚMEDO ( $V_h$ )	cm <sup>3</sup>	1898.70
DENS. SUELO HUMEDO ( $\gamma_h$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.26
<b>MUESTRA LABORATORIO</b>		<b>N°1</b>
P. RECIPIENTE (t) (Capsula)	gf	29.50
P. TOTAL HÚMEDO ( $W_{th}$ )	gf	82.00
P-. TOTAL SECO ( $W_{ts}$ )	gf.	79.00
P. AGUA ( $W_w$ )	gf	3.00
P. SUELO SECO ( $W_s$ )	gf	49.50
% HUMEDAD SUELO (%w)	%	6.06
DENS. SUELO SECO ( $\gamma_d$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.18

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°2 – PACHACUTEC**

**ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO  
IN SITU MEDIANTE EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 METROS

FECHA: 20/06/2016

<b>DENSIDAD EN CAMPO</b>		
PESO INICIAL ARENA + FRASCO ( $W_o$ )	gf	6155.00
PESO FINAL ARENA + FRASCO ( $W_f$ )	gf	1975.00
PESO ARENA EN CONO ( $W_c$ )	gf	1630.00
PESO UNITARIO ARENA ( $\gamma_d$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.54
PESO ARENA EN HOYO ( $W_e$ )	gf	2550.00
VOLUMEN HUECO (V)	cm <sup>3</sup>	1655.84
<b>MUESTRA</b>		<b>PA</b>
PESO SUELO HÚMEDO ( $W_h$ )	gf	2458.00
VOLUMEN SUELO HÚMEDO ( $V_h$ )	cm <sup>3</sup>	1655.84
DENS. SUELO HUMEDO ( $\gamma_h$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.48
<b>MUESTRA LABORATORIO</b>		<b>N°1</b>
P. RECIPIENTE (t) (Capsula)	gf	28.00
P. TOTAL HÚMEDO ( $W_{th}$ )	gf	73.00
P-. TOTAL SECO ( $W_{ts}$ )	gf	69.00
P. AGUA ( $W_w$ )	gf	4.00
P. SUELO SECO ( $W_s$ )	gf	41.00
% HUMEDAD SUELO (%w)	%	9.76
DENS. SUELO SECO ( $\gamma_d$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.35

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°3 - MIRAFLORES**

**ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO  
IN SITU MEDIANTE EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 METROS

FECHA: 23/06/2016

<b>DENSIDAD EN CAMPO</b>		
PESO INICIAL ARENA + FRASCO ( $W_o$ )	gf	6940.00
PESO FINAL ARENA + FRASCO ( $W_f$ )	gf	2487.00
PESO ARENA EN CONO ( $W_c$ )	gf	1630.00
PESO UNITARIO ARENA ( $\gamma_d$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.54
PESO AREANA EN HOYO ( $W_e$ )	gf	2823.00
VOLUMEN HUECO (V)	cm <sup>3</sup>	1833.12
<b>MUESTRA</b>		<b>MI</b>
PESO SUELO HÚMEDO ( $W_h$ )	gf	3430.00
VOLUMEN SUELO HÚMEDO ( $V_h$ )	cm <sup>3</sup>	1833.12
DENS. SUELO HUMEDO ( $\gamma_h$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.87
<b>MUESTRA LABORATORIO</b>		<b>N°1</b>
P. BANDEJA (t)	gf	638.50
P. TOTAL HÚMEDO ( $W_{th}$ )	gf	4055.00
P-. TOTAL SECO ( $W_{ts}$ )	gf	3871.50
P. AGUA ( $W_w$ )	gf	183.50
P. SUELO SECO ( $W_s$ )	gf	3233.00
% HUMEDAD SUELO (%w)	%	5.68
DENS. SUELO SECO ( $\gamma_d$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.77

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N° 4 - YANAHUARA**

**ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO  
IN SITU MEDIANTE EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 METROS

FECHA: 01/07/2016

<b>DENSIDAD EN CAMPO</b>		
PESO INICIAL ARENA + FRASCO ( $W_o$ )	gf	6820.00
PESO FINAL ARENA + FRASCO ( $W_f$ )	gf	2895.50
PESO ARENA EN CONO ( $W_c$ )	gf	1552.50
PESO UNITARIO ARENA ( $\gamma_d$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.54
PESO AREANA EN HOYO ( $W_e$ )	gf	2372.00
VOLUMEN HUECO (V)	cm <sup>3</sup>	1540.26
<b>MUESTRA</b>		<b>YH</b>
PESO SUELO HÚMEDO ( $W_h$ )	gf	2539.00
VOLUMEN SUELO HÚMEDO ( $V_h$ )	cm <sup>3</sup>	1540.26
DENS. SUELO HUMEDO ( $\gamma_h$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.65
<b>MUESTRA LABORATORIO</b>		<b>N°1</b>
P. BANDEJA (t)	gf	542.00
P. TOTAL HÚMEDO ( $W_{th}$ )	gf	2881.00
P-. TOTAL SECO ( $W_{ts}$ )	gf	2733.00
P. AGUA ( $W_w$ )	gf	148.00
P. SUELO SECO ( $W_s$ )	gf	2191.00
% HUMEDAD SUELO (%w)	%	6.75
DENS. SUELO SECO ( $\gamma_d$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.54

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N° 5 - SOCABAYA**

**ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO  
IN SITU MEDIANTE EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.00 METRO

FECHA: 08/07/2016

<b>DENSIDAD EN CAMPO</b>		
PESO INICIAL ARENA + FRASCO ( $W_o$ )	gf	6700.00
PESO FINAL ARENA + FRASCO ( $W_f$ )	gf	2182.00
PESO ARENA EN CONO ( $W_c$ )	gf	1552.50
PESO UNITARIO ARENA ( $\gamma_d$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.54
PESO AREANA EN HOYO ( $W_e$ )	gf	2965.50
VOLUMEN HUECO ( $V$ )	cm <sup>3</sup>	1925.65
<b>MUESTRA</b>		
SO		
PESO SUELO HÚMEDO ( $W_h$ )	gf	2685.00
VOLUMEN SUELO HÚMEDO ( $V_h$ )	cm <sup>3</sup>	1925.65
DENS. SUELO HUMEDO ( $\gamma_h$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.39
<b>MUESTRA LABORATORIO</b>		
N°1		
P. BANDEJA ( $t$ )	gf	520.00
P. TOTAL HÚMEDO ( $W_{th}$ )	gf	3105.00
P-. TOTAL SECO ( $W_{ts}$ )	gf	2972.00
P. AGUA ( $W_w$ )	gf	133.00
P. SUELO SECO ( $W_s$ )	gf	2452.00
% HUMEDAD SUELO (%w)	%	5.42
DENS. SUELO SECO ( $\gamma_d$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.32

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°6 - PAUCARPATA**

**ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO  
IN SITU MEDIANTE EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 metros

FECHA: 15/07/2016

<b>DENSIDAD EN CAMPO</b>		
PESO INICIAL ARENA + FRASCO ( $W_o$ )	gf	6250.00
PESO FINAL ARENA + FRASCO ( $W_f$ )	gf	2095.00
PESO ARENA EN CONO ( $W_c$ )	gf	1552.00
PESO UNITARIO ARENA ( $\gamma_d$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.54
PESO AREANA EN HOYO ( $W_e$ )	gf	2603.00
VOLUMEN HUECO ( $V$ )	cm <sup>3</sup>	1690.26
<b>MUESTRA</b>		<b>PP</b>
PESO SUELO HÚMEDO ( $W_h$ )	gf	3165.00
VOLUMEN SUELO HÚMEDO ( $V_h$ )	cm <sup>3</sup>	1690.26
DENS. SUELO HUMEDO ( $\gamma_h$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.87
<b>MUESTRA LABORATORIO</b>		<b>N°1</b>
P. BANDEJA ( $t$ )	gf	545.00
P. TOTAL HÚMEDO ( $W_{th}$ )	gf	3445.00
P-. TOTAL SECO ( $W_{ts}$ )	gf	3343.00
P. AGUA ( $W_w$ )	gf	102.00
P. SUELO SECO ( $W_s$ )	gf	2798.00
% HUMEDAD SUELO (%w)	%	3.65
DENS. SUELO SECO ( $\gamma_d$ )	gf/cm <sup>3</sup>	1.81

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.2.6.2. Muestras de Material Préstamo

#### CANTERA N°1 – AZUFRAL

#### ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO IN SITU MEDIANTE EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

FECHA: 27/01/2017

<b>DENSIDAD EN CAMPO</b>		
PESO INICIAL ARENA + FRASCO ( $W_o$ )	gr.	6850.00
PESO FINAL ARENA + FRASCO ( $W_f$ )	gr.	2487.00
PESO ARENA EN CONO ( $W_c$ )	gr.	1630.00
PESO UNITARIO ARENA ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.54
PESO AREANA EN HOYO ( $W_e$ )	gr.	2733.00
VOLUMEN HUECO ( $V$ )	cm <sup>3</sup>	1774.68
<b>MUESTRA</b>		<b>MI</b>
PESO SUELO HÚMEDO ( $W_h$ )	gr.	3420.00
VOLUMEN SUELO HÚMEDO ( $V_h$ )	cm <sup>3</sup>	1774.68
DENS. SUELO HUMEDO ( $\gamma_h$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.93
<b>MUESTRA LABORATORIO</b>		<b>N°1</b>
P. BANDEJA ( $t$ )	gr.	638.50
P. TOTAL HÚMEDO ( $W_{th}$ )	gr.	3986.00
P-. TOTAL SECO ( $W_{ts}$ )	gr.	3617.00
P. AGUA ( $W_w$ )	gr.	369.00
P. SUELO SECO ( $W_s$ )	gr.	2978.50
% HUMEDAD SUELO (%w)	%	12.39
DENS. SUELO SECO ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.71

Fuente: Elaboración propia

**CANTERA N°2 – AGREGADO ALVAREZ**

**ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO  
IN SITU MEDIANTE EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

FECHA: 27/01/2017

<b>DENSIDAD EN CAMPO</b>		
PESO INICIAL ARENA + FRASCO ( $W_o$ )	gr.	6820.00
PESO FINAL ARENA + FRASCO ( $W_f$ )	gr.	2895.50
PESO ARENA EN CONO ( $W_c$ )	gr.	1552.50
PESO UNITARIO ARENA ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.54
PESO AREANA EN HOYO ( $W_e$ )	gr.	2372.00
VOLUMEN HUECO (V)	cm <sup>3</sup>	1540.26
<b>MUESTRA</b>		YH
PESO SUELO HÚMEDO ( $W_h$ )	gr.	2650.00
VOLUMEN SUELO HÚMEDO ( $V_h$ )	cm <sup>3</sup>	1540.26
DENS. SUELO HUMEDO ( $\gamma_h$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.72
<b>MUESTRA LABORATORIO</b>		N°1
P. BANDEJA (t)	gr.	542.00
P. TOTAL HÚMEDO ( $W_{th}$ )	gr.	3320.00
P-. TOTAL SECO ( $W_{ts}$ )	gr.	3290.00
P. AGUA ( $W_w$ )	gr.	30.00
P. SUELO SECO ( $W_s$ )	gr.	2748.00
% HUMEDAD SUELO (%w)	%	1.09
DENS. SUELO SECO ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.70

*Fuente: Elaboración propia*

**CANTERA N°3 – LOS PORTALES**

**ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO  
IN SITU MEDIANTE EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

FECHA: 27/01/2017

<b>DENSIDAD EN CAMPO</b>		
PESO INICIAL ARENA + FRASCO ( $W_o$ )	gr.	6510.00
PESO FINAL ARENA + FRASCO ( $W_f$ )	gr.	2183.00
PESO ARENA EN CONO ( $W_c$ )	gr.	1560.50
PESO UNITARIO ARENA ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.54
PESO AREANA EN HOYO ( $W_e$ )	gr.	2766.50
VOLUMEN HUECO ( $V$ )	cm <sup>3</sup>	1796.43
<b>MUESTRA</b>		<b>SO</b>
PESO SUELO HÚMEDO ( $W_h$ )	gr.	3288.00
VOLUMEN SUELO HÚMEDO ( $V_h$ )	cm <sup>3</sup>	1796.43
DENS. SUELO HUMEDO ( $\gamma_h$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.83
<b>MUESTRA LABORATORIO</b>		<b>N°1</b>
P. BANDEJA ( $t$ )	gr.	518.00
P. TOTAL HÚMEDO ( $W_{th}$ )	gr.	3361.00
P-. TOTAL SECO ( $W_{ts}$ )	gr.	3250.00
P. AGUA ( $W_w$ )	gr.	111.00
P. SUELO SECO ( $W_s$ )	gr.	2732.00
% HUMEDAD SUELO (%w)	%	4.06
DENS. SUELO SECO ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.76

*Fuente: Elaboración propia*

**CANTERA N°4 – ALTO MISTI**

**ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO  
IN SITU MEDIANTE EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

FECHA: 27/01/2017

<b>DENSIDAD EN CAMPO</b>		
PESO INICIAL ARENA + FRASCO ( $W_o$ )	gr.	6250.00
PESO FINAL ARENA + FRASCO ( $W_f$ )	gr.	2095.00
PESO ARENA EN CONO ( $W_c$ )	gr.	1552.00
PESO UNITARIO ARENA ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.54
PESO AREANA EN HOYO ( $W_e$ )	gr.	2603.00
VOLUMEN HUECO ( $V$ )	cm <sup>3</sup>	1690.26
<b>MUESTRA</b>		<b>PP</b>
PESO SUELO HÚMEDO ( $W_h$ )	gr.	2890.00
VOLUMEN SUELO HÚMEDO ( $V_h$ )	cm <sup>3</sup>	1690.26
DENS. SUELO HUMEDO ( $\gamma_h$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.71
<b>MUESTRA LABORATORIO</b>		<b>N°1</b>
P. BANDEJA ( $t$ )	gr.	542.00
P. TOTAL HÚMEDO ( $W_{th}$ )	gr.	3439.00
P-. TOTAL SECO ( $W_{ts}$ )	gr.	3310.00
P. AGUA ( $W_w$ )	gr.	129.00
P. SUELO SECO ( $W_s$ )	gr.	2768.00
% HUMEDAD SUELO (%w)	%	4.66
DENS. SUELO SECO ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.63

*Fuente: Elaboración propia*

### **5.3. Análisis e Interpretación de resultados**

#### **5.3.1. Clasificación de los suelos**

##### **5.3.1.1. Granulometría**

Teniendo en cuenta las fracciones de grava, arena y fino, los coeficientes de uniformidad y curvatura, los cuales son obtenidos del ensayo de granulometría, se puede tener una clasificación de los suelos según los sistemas SUCS y AASHTO.

##### **5.3.1.2. Limite líquido y plástico**

Con los resultados obtenidos a partir de los ensayos de la cuchara de Casa Grande y el rollo, se obtuvo en índice de plasticidad.

Compatibilizando estos dos ensayos realizados en laboratorio, se obtuvo la clasificación de los suelos, teniendo el siguiente cuadro de resumen estadístico.

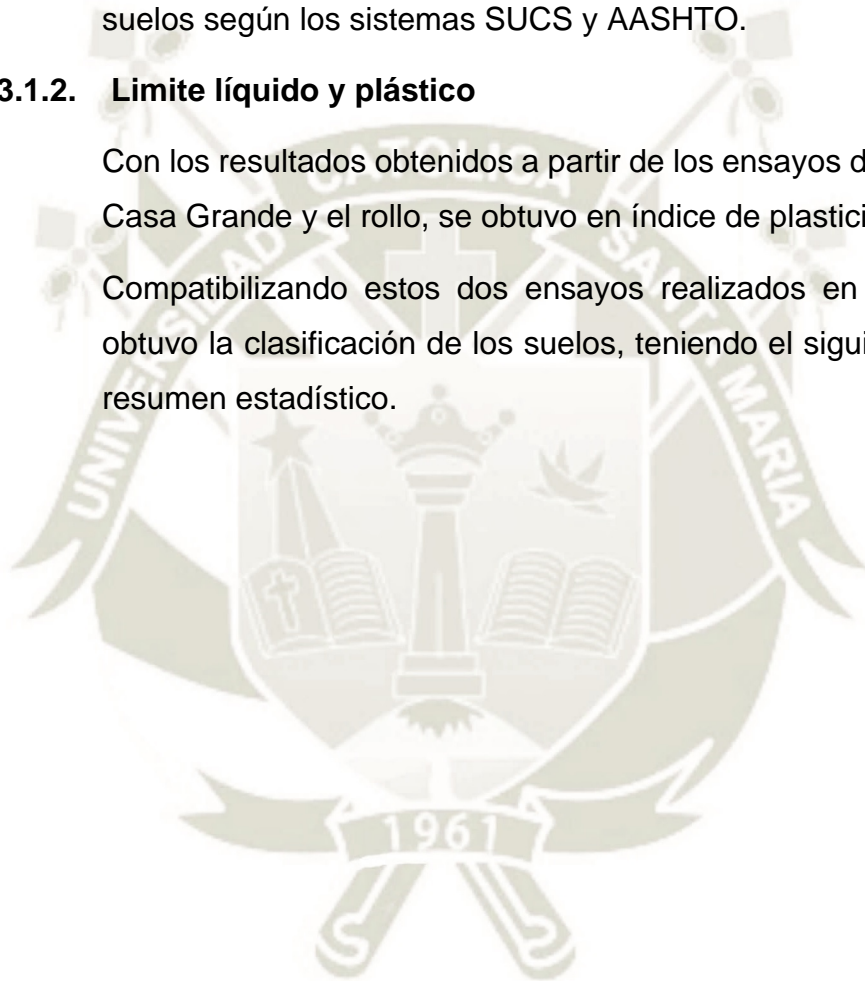


Tabla 5. 1 Clasificación de los suelos SUCS y AASHTO

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS							
		ACEQUIA ALTA	PACHACUTEC	MIRAFLORES	YANAHUARA	SOCABAYA	PAUCARPATA
FRACCIONES	GRAVA	31.58%	1.22%	31.93%	19.11%	65.27%	29.51%
	ARENA	51.54%	70.74%	55.53%	77.22%	32.06%	61.58%
	FINO	16.88%	28.04%	12.54%	3.68%	2.68%	8.91%
LIMITES DE CONSISTENCIA	LIMITE LIQUIDO	24.15%	29.00%	16.00%	19.75%	NP	14.30%
	LIMITE PLASTICO	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	INDICE DE PLASTICIDAD	NP	NP	NP	NP	NP	NP
CLASIFICACIÓN SUCS	SIMBOLO	SM	SM	SM	SP	GP	SP SM
	NOMBRE DEL GRUPO	Arena limosa con grava	Arena limosa	Arena limosa con grava	Arena mal graduada con grava	Grava mal graduada con arena	Arena mal graduada con limo y grava
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-1-b	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-1-a	A-1-b

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 2 Clasificación de los suelos SUCS y AASHTO

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS					
		AZUFRAL	ALVAREZ	LOS PORTALES	ALTO MISTI
FRACCIONES	GRAVA	38.58%	29.05%	31.73%	48.00%
	ARENA	57.65%	65.25%	63.41%	46.30%
	FINO	3.78%	5.70%	4.86%	5.70%
LIMITES DE CONSISTENCIA	LIMITE LIQUIDO	21.00%	23.10%	28.80%	23.80%
	LIMITE PLASTICO	18.28%	17.82%	26.43%	22.14%
	INDICE DE PLASTICIDAD	2.72%	5.28%	2.37%	1.66%
CLASIFICACIÓN SUCS	SIMBOLO	GW	GP-GM	GP	GP-GM
	NOMBRE DEL GRUPO	Grava bien graduada	Grava mal graduada con limo	Grava mal graduada	Grava mal graduada con limo
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-1-a	A-1-a	A-1-b	A-1-a

Fuente: Elaboración propia

## 5.4. Contenido de humedad

### 5.4.1. Muestras de Material Propio

Las muestras para obtener el contenido de humedad se obtuvieron a 1.20 metros debajo del nivel de terreno, dando como resultado los siguientes datos.

*Tabla 5. 3 Contenido de humedad*

CONTENIDO DE HUMEDAD		
CALICATA N°1	ACEQUIA ALTA	6.04%
CALICATA N°2	PACHACUTEC	9.81%
CALICATA N°3	MIRAFLORES	5.65%
CALICATA N°4	YANAHUARA	6.80%
CALICATA N°5	SOCABAYA	5.44%
CALICATA N°6	PAUCARPATA	3.75%

*Fuente: Elaboración propia*

Se puede observar que el Contenido de humedad de los suelos varía entre un 3% a un 10%, es decir que los suelos con mayor porcentaje de grano grueso tienen menor contenido de humedad a diferencia de los suelos más finos que poseen mayor humedad.

### 5.4.2. Muestras de Material de Préstamo

Para poder obtener el contenido de humedad del material del préstamo, se retiraron muestras de los acopios que se tenían en las canteras, sin embargo, como se explicó anteriormente era época de término de lluvias por lo cual la puede existir una variación con el contenido de humedad en épocas de sequía, dando como resultado los siguientes datos resumen.

*Tabla 5. 4 Contenido de humedad*

CONTENIDO DE HUMEDAD		
CANTERA N°1	AZUFRAL	9.30%
CANTERA N°2	AGREGADOS ALVAREZ	9.60%
CANTERA N°3	LOS PORTALES	9.65%
CANTERA N°4	ALTO MISTI	9.35%

*Fuente: Elaboración propia*

Como se puede visualizar el Contenido de humedad varía entre 9.30% entre 9.65%, por lo que su variabilidad es mínima, ya que es un material preparado en cantera.

### 5.5. Cono de arena

Posterior a la excavación de las calicatas en las seis (6) zonas, se realizaron los ensayos *in situ*, a diferentes alturas las cuales varían entre 1.20 a 1.50 metros, dando el siguiente cuadro de resumen de resultados:

*Tabla 5. 5 Densidad en campo (Cono de Arena)*

<b>DENSIDAD NATURAL</b>		
	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )
CALICATA N°1 - ACEQUIA ALTA	1.65	1.75
CALICATA N°2 - PACHACUTEC	1.35	1.48
CALICATA N°3 - MIRAFLORES	1.77	1.87
CALICATA N°4 - YANAHUARA	1.54	1.65
CALICATA N°5 - SOCABAYA	1.32	1.39
CALICATA N°6 - PAUCARPATA	1.81	1.87

*Fuente: Elaboración propia*

Visualizando el cuadro se puede concluir que las calicatas con mayor densidad natural son las Calicatas N°3 (sector Miraflores) y N°6 (sector Paucarpata) y, siendo caso opuesto los suelos de las calicatas N°2 (sector Pachacutec) y N°5 (sector Socabaya).

Vale tener en cuenta la similitud en la clasificación de los suelos para los casos de una mayor y menor densidad natural.



# CAPÍTULO VI

## 6. ENSAYOS DE COMPACTACIÓN MECÁNICA

### 6.1. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))

#### 6.1.1. Objetivo del ensayo

Este ensayo indica los procedimientos para la compactación en laboratorio, que se utilizan para determinar las relaciones de contenido de humedad óptimo ( $w_{opt}$ ) con el peso unitario seco de los suelos ( $\gamma_d$ ), con lo cual se determina la curva de compactación (INACAL, 2001).

#### 6.1.2. Alcance

Este método se utiliza para los suelos que poseen el 30% o menos en sus partículas retenidas en el tamiz de 19.00 mm (3/4 pulg). Existen tres procedimientos para realizar el ensayo, siendo:

##### 6.1.2.1. 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 capa: 25
- Uso: Se utiliza, si la malla N°4 (4.75 mm) retiene el 20% o menos del peso del material (INACAL, 2001).

##### 6.1.2.2. Procedimiento B

- Molde de 101.6 mm (4 pulg) de diámetro
- Material que pasa la malla N°4 (4.75 mm)
- Capas: cinco
- Golpes por capa: 25
- Uso: Se utiliza, si el tamiz 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 (INACAL, 2001).

### 6.1.2.3. Procedimiento C

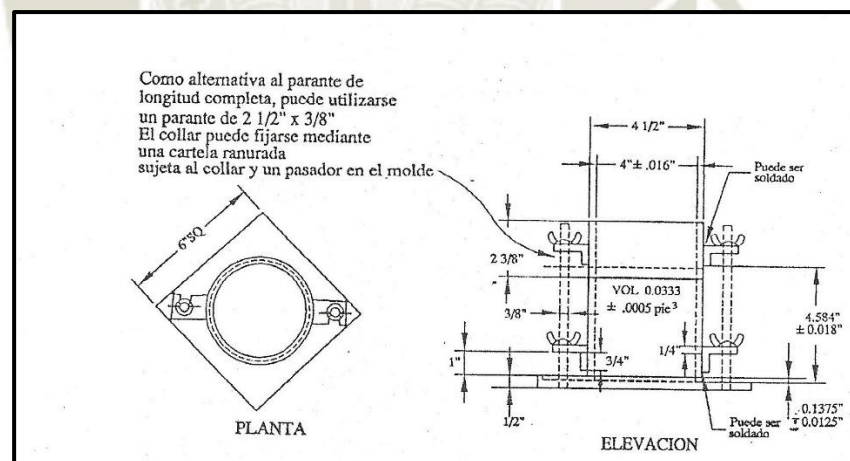
- Molde de 152.4 mm (6 pulg) de diámetro
- Material que pasa la malla 19.0 mm (3/4 pulg)
- Capas: cinco
- Golpes por capa: 56
- Uso: Se utiliza, si el tamiz 9.53 mm (3/8 pulg) retiene más del 20% en peso del material y el tamiz 19.0 mm (3/4 pulg) retiene menos del 30% en peso del material.

En caso que el espécimen ensayado contenga más del 5% en peso de un tamaño de fracción gruesa, y el material no se incluye en algún ensayo se deberá corregir el peso unitario (INACAL, 2001).

### 6.1.3. Instrumentos

Para dicho ensayo existen dos tamaños de moldes, los cuales deberán tener las características que se mostrarán en las figuras 5.1 y la figura 5.2.

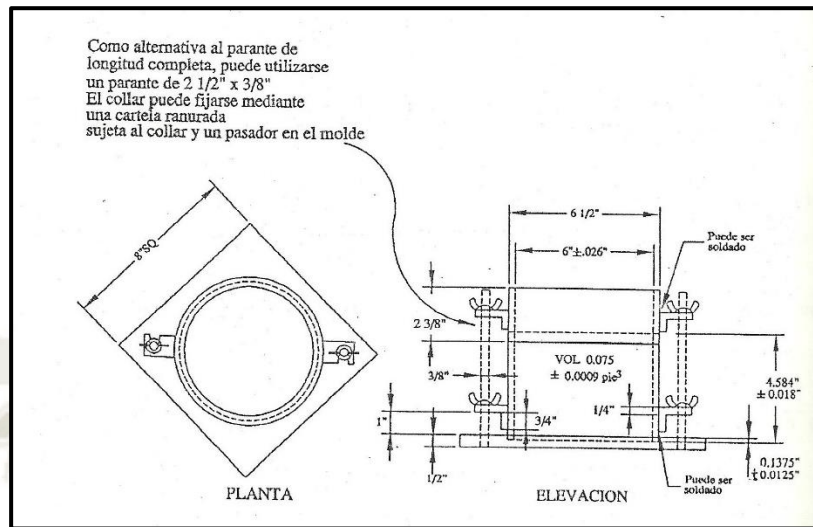
Figura 6. 1 Molde Cilíndrico de 4"



Fuente: Norma Técnica Peruana 339.141 (2000)

Este molde debe tener un promedio de 101.6 mm  $\pm$  0.4 mm (4.00 pulg  $\pm$  0.016 pulg) de diámetro interior, una altura de 116.4 mm  $\pm$  0.5 mm (4.584 pulg  $\pm$  0.018 pulg), con un volumen de 944 cm<sup>3</sup>  $\pm$  14 cm<sup>3</sup> (0.0333 pie<sup>3</sup>  $\pm$  0.0005 pie<sup>3</sup>), en la figura 5.1 se muestran los ensamblajes con los requisitos mínimos; el material de fabricación del molde es de acero.

Figura 6. 2 Molde Cilíndrico de 6"



Fuente: Norma Técnica Peruana 339.141 (2000)

Este molde debe tener un promedio de  $152.4\text{ mm} \pm 0.7\text{ mm}$  ( $6.00\text{ pulg} \pm 0.026\text{ pulg}$ ) de diámetro interior, una altura de  $116.4\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$  ( $4.584\text{ pulg} \pm 0.018\text{ pulg}$ ), con 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 figura 5.2 se muestran los ensamblajes con los requisitos mínimos; el material de fabricación del molde es de acero.

Figura 6. 3 Pisón del Proctor Modificado



Fuente: Mecánica de suelos, UNH (2014)

En la figura 5.3 se pueda observar el pisón de Proctor modificado, el cual tiene un peso de  $44.5\text{-N}$  ( $10\text{ lbf}$ ) que cae de una altura de  $457\text{ mm}$  ( $18\text{ plg}$ ), el cual produce un esfuerzo de compactación de  $2700\text{ kN-m/m}^3$  ( $56000\text{ pie-lbf/pie}^3$ ), el material del pisón es de Acero con acabado en Acero Zincado.

Dicho pisón debe tener un tubo guía de caída el cual le permita caer libremente desde la altura normada, la cara del mismo debe tener un diámetro de  $50.8 \text{ mm} \pm 0.13 \text{ mm}$  ( $2.00 \text{ pulg} \pm 0.005 \text{ pulg}$ ).

También cabe mencionar que dicho instrumento debe tener al menos cuatro orificios de ventilación en cada extrema, es decir un total de 8 orificios, los cuales deben de tener un diámetro de  $9.5 \text{ mm}$  ( $3/8 \text{ pulg}$ ).

#### 6.1.4. Energía específica de compactación

La energía específica es la presión aplicada al suelo por unidad de volumen, durante cualquier procedimiento de compactación, en laboratorio, la compactación por impacto queda definida por:

$$E_c = \frac{NnWh}{V}$$

Donde:

E : Energía Específica

N : Número de golpes del pisón por capas

n : Número de capas

W : Peso del pisón compactador

h : Altura de caída del pisón

V : Volumen total del molde de compactación.

Reemplazando los datos para cualquier tipo de procedimiento A, B o C tenemos que la energía es  $2700 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $56000 \text{ pie}\cdot\text{lbf}/\text{pie}^3$ ).

## 6.1.5. Procedimiento

### 6.1.5.1. Preparación del espécimen

El material no es necesario que esté totalmente seco, tampoco debe estar saturado, lo ideal es que la muestra tenga humedad natural.

No se debe volver a utilizar el suelo que ya ha sido sometido a la compactación de laboratorio, ya que esto causa una deformación volumétrica de tipo plástico, además la compactación sucesiva puede producir fraccionamiento de las partículas y originar agrietamiento.

Se debe preparar como mínimo cuatro especímenes con contenidos de agua diferentes, que sean graduales que varíen en un 2%, se recomienda que dos contenidos de agua se ubiquen en el lado seco y las otras dos en el lado húmedo, para así poder definir la curva de compactación, la cual nos indicará el peso unitario máximo y el contenido de humedad óptimo. Algunos tipos de suelos requieren un valor de contenido de agua elevado, para esto los porcentajes de incremento de agua no debe de exceder el 4%.

La muestra requerida aproximada para los procedimientos A y B es de 2.30 kg (5.0 lbm) y para el procedimiento C es de 5.90 kg (13.0 lbm).

Lo primero que se debe hacer es la mezcla del espécimen con un porcentaje de agua, para esto el agua deberá verterse poco a poco mientras se amasa la muestra con el fin de homogenizar y que todas las partículas tengan el mismo contenido de agua. Una vez que se tiene la mezcla se coloca en un contenedor con tapa o en una bolsa hermética con el fin de que no se pierda el agua adicionada, en el siguiente cuadro se mostrará el tiempo requerido de la muestra que debe permanecer en saturación.

Tabla 6 1 Tiempo de permanencia requerido de especímenes en saturación

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

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.141 (2000)

#### 6.1.6. Compactación

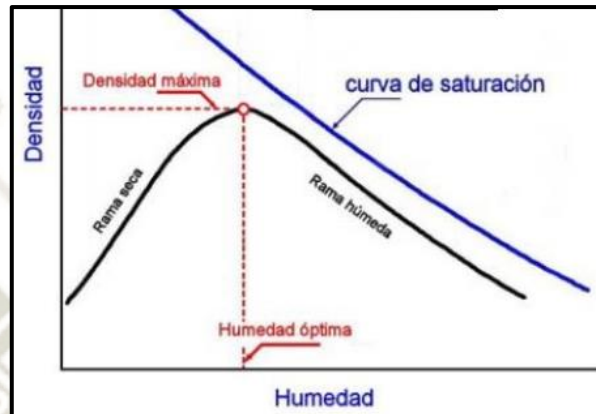
Una vez preparado es espécimen se iniciará la compactación teniendo en cuenta lo siguiente:

- El molde debe de estar en un lugar rígido y uniforme, preferentemente que la base sea de concreto.
- El molde será llenado por 5 capas, las cuales procurarán tener el mismo espesor distribuido, se recomienda apisonar suavemente el suelo para que no esté esponjoso ni suelto antes de iniciar con la compactación.
- La cantidad de golpes, 25 o 56 dependerán del procedimiento que se esté utilizando. Se debe aplicar 25 golpes/minuto aproximadamente en forma de espiral de modo que se asegure una cobertura completa y uniforme sobre la superficie del espécimen.
- Una vez culminada la última capa, se retira el collar, evitando remover el suelo del molde, luego se procede a cortar e igualar la parte superior del molde, si en caso aparecieran pequeños huecos se rellenan y se presionan con el cuchillo o regla metálica para darle la igualdad necesaria.
- Se procede a pesar el molde más el suelo compactado, se registra y anota dicho peso, posterior se remueve el material del molde, de donde se toma una muestra representativa del suelo para poder hallar su contenido de humedad real (INACAL, 2001).

### 6.1.7. Cálculos y Grafica

Teniendo los datos hallados de pesos unitarios y contenidos de humedad se procede a registrar en la gráfica los mismos, donde se observa lo siguiente.

Figura 6. 4 Curva de compactación



Fuente: *Mecánica de suelos, UNH (2014)*

Podemos observar una vez recopilado los datos se pueden hallar el contenido de humedad óptimo ( $w_{opt}$ ) y peso unitario seco máximo del suelo ( $\gamma_{dmax}$ ).

Adicionalmente a la Curva de compactación se puede notar la Curva 100 % de saturación, la cual se dibuja en forma paralela a la rama húmeda, teóricamente dicha curva no puede ser ploteada a la izquierda de la curva de compactación, ni tampoco se deben cruzar, para dibujar la curva de saturación de debe calcular la gravedad específica del suelo (Terzaghi & Peck, 1978).

### 6.1.8. Investigaciones Previas

En varios países se han realizado estudios comparativos para analizar la eficacia y veracidad del ensayo de compactación mecánica (Proctor modificado). A continuación, mencionaremos algunos de estos:

#### 6.1.8.1. Primer Antecedente

En el año 2011, la asociación ASEFMA organizó la Jornada Nacional de “Estudio Comparativo de la metodología de compactación”, en donde se propone otro tipo de energía de compactación diferente a la energía de impacto, ya que si bien es cierto dicha energía está normalizada, lo que se sugiere es mejorar los resultados a través de una energía vibratoria y otra giratoria, y a la vez determinar alguna correlación que pueda existir entre estos tipos de energía. Para esto realizaron una serie de ensayos con diferentes tipos de materiales a diferentes escalas en donde se demuestra que, si es factible comparar resultados entre los varios tipos de energía de compactación que existen, sin embargo, para lograr una correlación se deben realizar varios ensayos del mismo material para llegar así a un rango porcentual variable pequeño. Al momento de realizar los ensayos se deben tomar datos a cada momento y seguir las normas en los ensayos ya establecidos (ASEFMA , 2011).

#### 6.1.8.2. Segundo Antecedente

La tesis presentada en la Universidad Rafael Urdaneta de la ciudad de Maracaibo – Venezuela en el año 2009 por las alumnas Paola Carruyo y Johanna Villalobos titulada, “Estudio comparativo entre el método de Proctor modificado y la metodología Ramcodes en suelos cohesivos”, tiene como objetivo establecer lineamientos de comparación y conocer que método es el más óptimo para el área de la geotecnia. Para dicha tesis tomaron muestras de material de préstamo del cual hicieron los ensayos correspondientes, contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, Proctor modificado y CBR, realizados los ensayos llegaron a la siguiente conclusión, *“Después de realizados los ensayos pertinentes, haber analizado cada metodología siguiendo el procedimiento referido a cada una y finalmente generar los lineamientos de comparación entre el método Proctor Modificado y la metodología Ramcodes demostrando semejanzas y diferencias entre cada una de ellas, se pudo observar que, en lo que se refiere a la optimización de los*

*materiales, la metodología Ramcodes es más efectiva, ya que se obtienen mejores valores de resistencia o CBR en comparación con la metodología tradicional (Proctor modificado) ya que los mapas de resistencia abarcan una región amplia de densidad y humedad para el material estudiado, a pesar de la calidad del mismo” (Carruyo & Villalobos, 2009).*

### **6.1.8.3. Tercer Antecedente**

En la Universidad Católica De Colombia, el año 2013 los alumnos Luis Ángel Ortiz Naranjo Y Arnold Emilio Bastidas Garzón presentaron su tesis titulada, “Estudio Del Fenómeno Del Crushing En El Ensayo De Compactación De Un Proctor Normal”, en donde su objetivo era, analizar los efectos generados sobre la humedad, por el crushing en una muestra de suelo, como consecuencia de un sobreapisonamiento en laboratorio, este es caso más común de falla que también sucede en obra, por tal motivo se hacen diferentes ensayos alterando contenido de humedad y números golpes por impacto, quienes llegaron a las siguientes conclusiones, *Se necesita la cantidad correcta de agua, para que las partículas, de suelo o de agregado, se deslicen contra las otras. El agua, en efecto, actúa como un lubricante. Si hay mucha agua en el suelo, ésta ocupará espacio entre las partículas y evitará que permanezcan juntas. Esto significa que le efecto crushing influye considerablemente es esta deducción al alterar directamente la cantidad de humedad óptima presente en el suelo. El contenido de humedad como parámetro de control de la base durante la compactación, es crítico para poder lograr la máxima densidad. Y aunque la densidad máxima seca, se mantiene constante durante el proceso del crushing, el 59 contenido de agua baja dificultando la compactación y obligando a usar maquinaria mas pesada para lograr la densidad seca óptima. La compresión es comúnmente acompañada por cierta cantidad de rotura de granos. Los suelos gruesos se comprimen más y muestran más rotura de granos que los suelos finos. Los suelos con partículas angulosas se comprimen más y muestran más rotura de granos que los suelos con*

*partículas redondeadas. Los suelos uniformes se comprimen y rompen más que los suelos bien graduados con el mismo tamaño máximo en su granulometría (Ortiz Naranjo & Bastidas Garzó, 2013).*

#### **6.1.9. Ensayos de Proctor Modificado**

NTP 339.141 SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))

Esta norma nos indica, “Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)). Para este ensayo se toma en cuenta, “se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (¾” pulg).”

Cumpliendo lo establecido en la norma, se tiene que a escoger uno de los tres métodos A, B y C los cuales varían según su gradación y composición granulométrica, por ende, se procedió a escoger el método para cada tipo de suelo (INACAL, 2001).

#### **6.1.10. Muestras de Material Propio**

Calicata N°1 - Acequia Alta	–	Método C
Calicata N°2 - Pachacutec	–	Método A
Calicata N°3 – Miraflores	–	Método B
Calicata N°4 - Yanahuara	–	Método A
Calicata N°5 - Socabaya	–	Método C
Calicata N°6 - Paucarpata	–	Método B

Una vez establecido el Método para cada tipo de suelo se procedió a realizar los ensayos de acuerdo a lo normado.

**CALICATA N°1 – ACEQUIA ALTA**

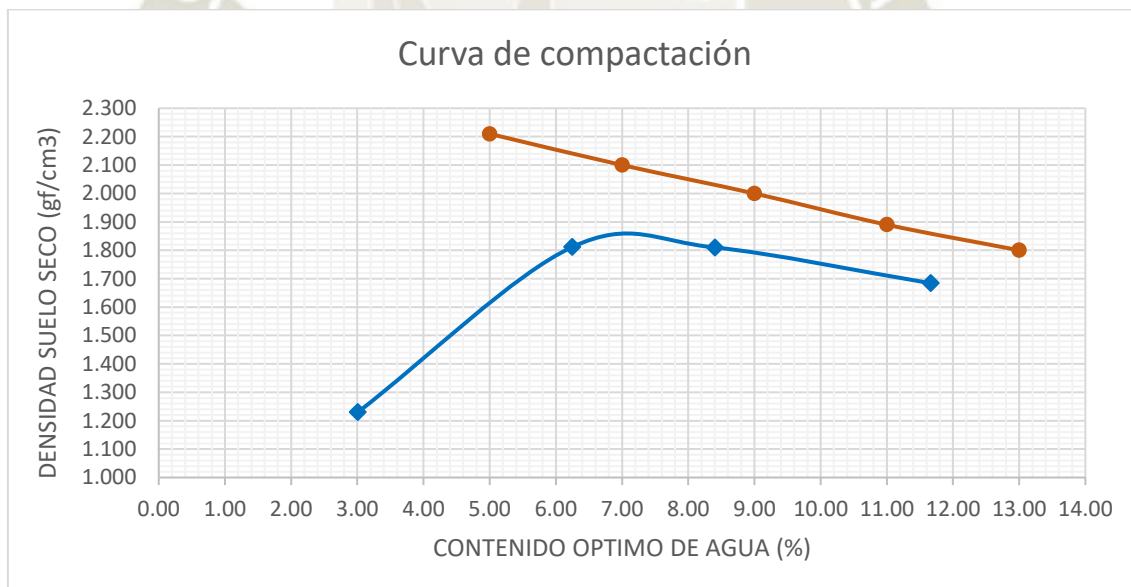
**ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO  
UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.20 Metros

FECHA: 17/06/2016

MUESTRA		1	2	3	4
PESO MOLDE	gf	6816.50	6816.50	6816.50	6816.50
VOLUMEN DE MOLDE	cm <sup>3</sup>	2123.45	2123.45	2123.45	2123.45
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	gf	9506.36	10904.00	10982.50	10809.50
PESO SUELO COMPACTADO	gf	2689.86	4087.50	4166.00	3993.00
PESO TARA	gf	26.50	26.50	29.50	24.50
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	95.00	94.50	94.00	91.50
PESO SUELO SECO + TARA	gf	93.00	90.50	89.00	84.50
PESO SUELO SECO	gf	66.50	64.00	59.50	60.00
PESO AGUA	gf	2.00	4.00	5.00	7.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	3.01	6.25	8.40	11.67
DENSIDAD SUELO HUMEDO	gf/cm <sup>3</sup>	1.267	1.925	1.962	1.880
DENSIDAD SUELO SECO	gf/cm <sup>3</sup>	1.230	1.812	1.810	1.684



<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	<b>7.00</b>
<b>DENSIDAD MAXIMA (gf/cm3)</b>	<b>1.88</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°2 – PACHACUTEC**

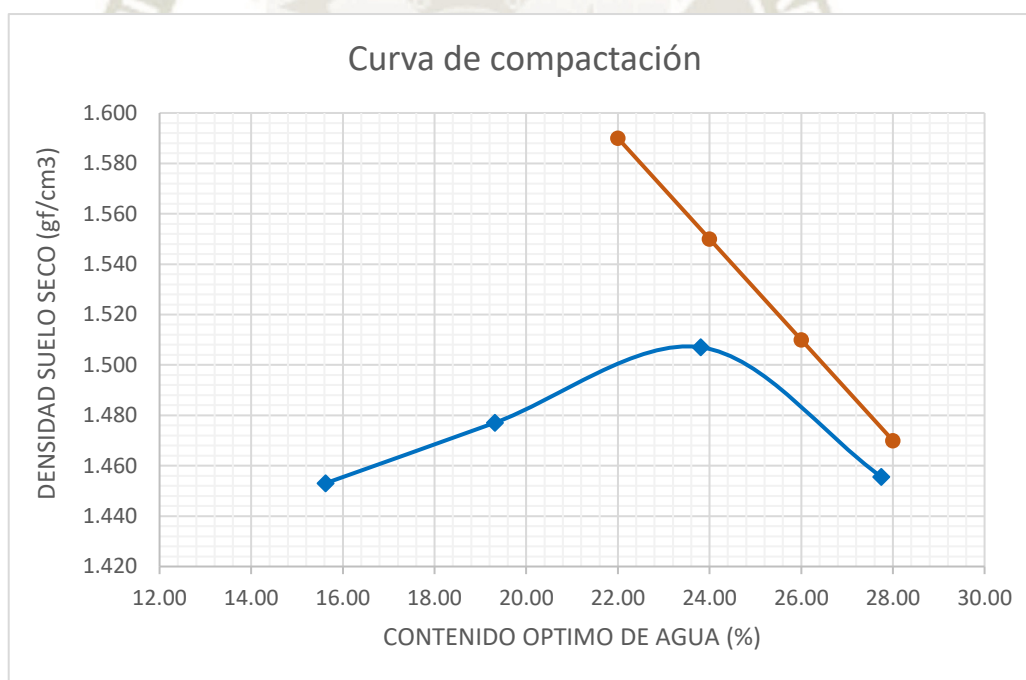
**ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO  
UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 20/06/2016

PORCENTAJE DE AGUA	%	12.00	16.00	20.00	24.00
MUESTRA		5	6	7	8
PESO MOLDE	gr	3453.50	3453.50	3453.50	3453.50
VOLUMEN DE MOLDE (4")	cm <sup>3</sup>	947.84	947.84	947.84	947.84
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	gr	5046.00	5124.00	5222.00	5216.00
PESO SUELO COMPACTADO	gr	1592.50	1670.50	1768.50	1762.50
PESO TARA	gr	27.00	28.50	27.00	27.00
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr	82.50	81.00	79.00	92.00
PESO SUELO SECO + TARA	gr	75.00	72.50	69.00	77.88
PESO SUELO SECO	gr	48.00	44.00	42.00	50.88
PESO AGUA	gr	7.50	8.50	10.00	14.12
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	15.63	19.32	23.81	27.75
DENSIDAD SUELO HUMEDO	gr/cm <sup>3</sup>	1.680	1.762	1.866	1.859
DENSIDAD SUELO SECO	gr/cm <sup>3</sup>	1.453	1.477	1.507	1.456



<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	<b>23.90</b>
<b>DENSIDAD MAXIMA (gf/cm3)</b>	<b>1.508</b>

Fuente: Elaboración propia

**CALICATA N°3 - MIRAFLORES**

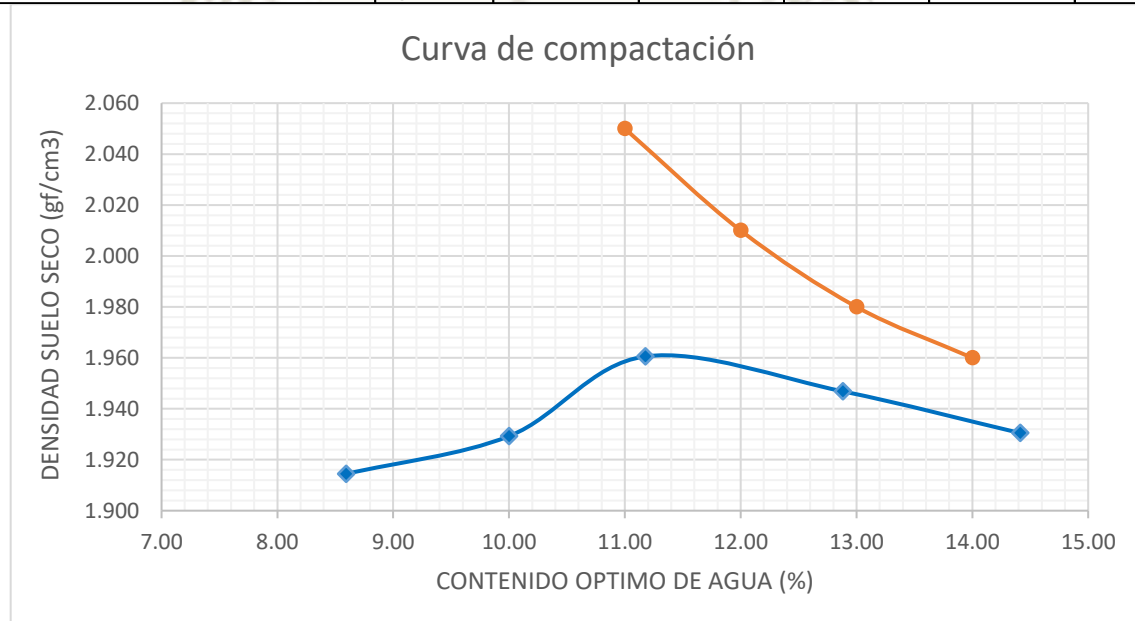
**ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO  
UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 23/06/2016

PORCENTAJE DE AGUA	%	2.00	4.00	6.00	8.00	12.00
MUESTRA		1	2	3	4	5
PESO MOLDE	gr	3454.00	3454.00	3454.00	3454.00	3454.00
VOLUMEN DE MOLDE (4")	cm <sup>3</sup>	947.84	947.84	947.84	947.84	947.84
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	gr	5424.50	5465.50	5520.00	5537.00	5547.50
PESO SUELO COMPACTADO	gr	1970.50	2011.50	2066.00	2083.00	2093.50
PESO TARA	gr	28.00	25.00	28.00	28.00	27.50
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr	97.50	96.50	84.00	94.00	104.50
PESO SUELO SECO + TARA	gr	92.00	90.00	78.37	86.40	94.80
PESO SUELO SECO	gr	64.00	65.00	50.37	59.00	67.30
PESO AGUA	gr	5.50	6.50	5.63	7.60	9.70
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.59	10.00	11.18	12.88	14.41
DENSIDAD SUELO HUMEDO	gr/cm <sup>3</sup>	2.079	2.122	2.180	2.198	2.209
DENSIDAD SUELO SECO	gr/cm <sup>3</sup>	1.914	1.929	1.961	1.947	1.930



<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	<b>11.20</b>
<b>DENSIDAD MAXIMA SECA (gf/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.967</b>

Fuente: Elaboración propia

**CALICATA N°4 - YANAHUARA**

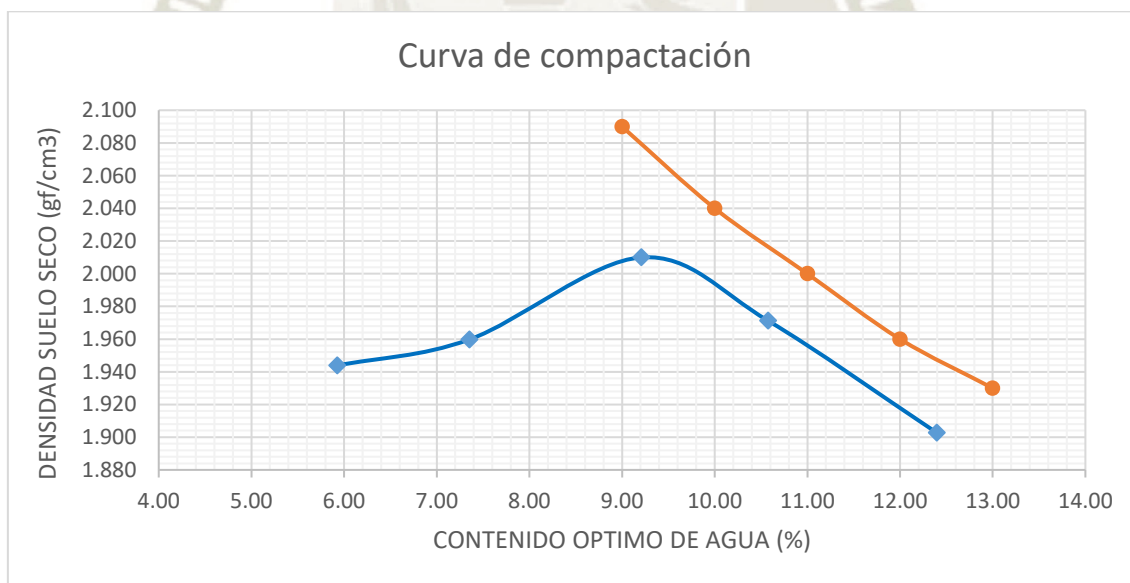
**ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO  
UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 01/07/2016

MUESTRA		1	2	3	4	5
PESO MOLDE	gf	3329.50	3329.50	3329.50	3329.50	3329.50
VOLUMEN DE MOLDE	cm3	936.37	936.37	936.37	936.37	936.37
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	gf	5257.50	5299.50	5435.00	5370.50	5332.00
PESO SUELO COMPACTADO	gf	1928.00	1970.00	2105.50	2041.00	2002.50
PESO TARA	gf	27.00	27.00	29.00	28.00	26.50
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	98.50	100.00	112.00	85.50	94.50
PESO SUELO SECO + TARA	gf	94.50	95.00	105.00	80.00	87.00
PESO SUELO SECO	gf	67.50	68.00	76.00	52.00	60.50
PESO AGUA	gf	4.00	5.00	7.00	5.50	7.50
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	5.93	7.35	9.22	10.58	12.40
DENSIDAD SUELO HUMEDO	gf/cm3	2.059	2.104	2.249	2.180	2.139
DENSIDAD SUELO SECO	gf/cm3	1.944	1.960	2.010	1.971	1.903



<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	<b>9.30</b>
<b>DENSIDAD MAXIMA (gf/cm3)</b>	<b>2.060</b>

Fuente: Elaboración propia

**CALICATA N°5 - SOCABAYA**

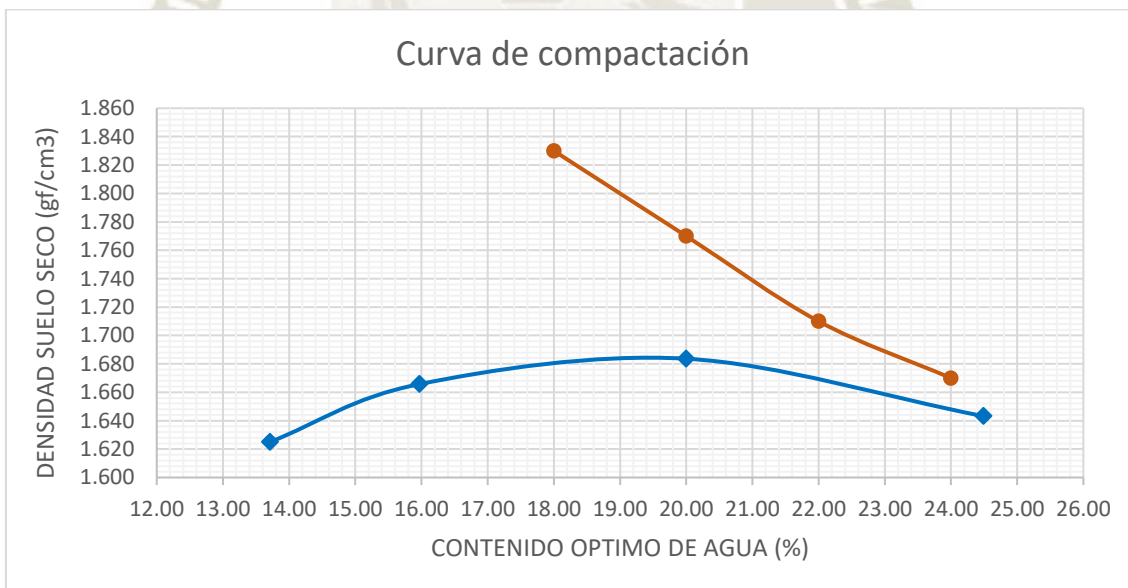
**ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO  
UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.00 Metro

FECHA: 08/07/2016

MUESTRA		1	2	3	4
PESO MOLDE	gr	6817.50	6817.50	6817.50	6817.50
VOLUMEN DE MOLDE	cm <sup>3</sup>	2117.93	2117.93	2117.93	2117.93
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	gr	10731.00	10909.00	11096.50	11150.00
PESO SUELO COMPACTADO	gr	3913.50	4091.50	4279.00	4332.50
PESO TARA	gr	27.50	27.50	27.00	24.00
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr	98.00	111.00	111.00	115.50
PESO SUELO SECO + TARA	gr	89.50	99.50	97.00	97.50
PESO SUELO SECO	gr	62.00	72.00	70.00	73.50
PESO AGUA	gr	8.50	11.50	14.00	18.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	13.71	15.97	20.00	24.49
DENSIDAD SUELO HUMEDO	gr/cm <sup>3</sup>	1.848	1.932	2.020	2.046
DENSIDAD SUELO SECO	gr/cm <sup>3</sup>	1.625	1.666	1.684	1.643



<b>HUMEDAD ÓPTIMA (%)</b>	<b>19.50</b>
<b>DENSIDAD MÁXIMA (gf/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.684</b>

Fuente: Elaboración propia

**CALICATA N°6 - PAUCARPATA**

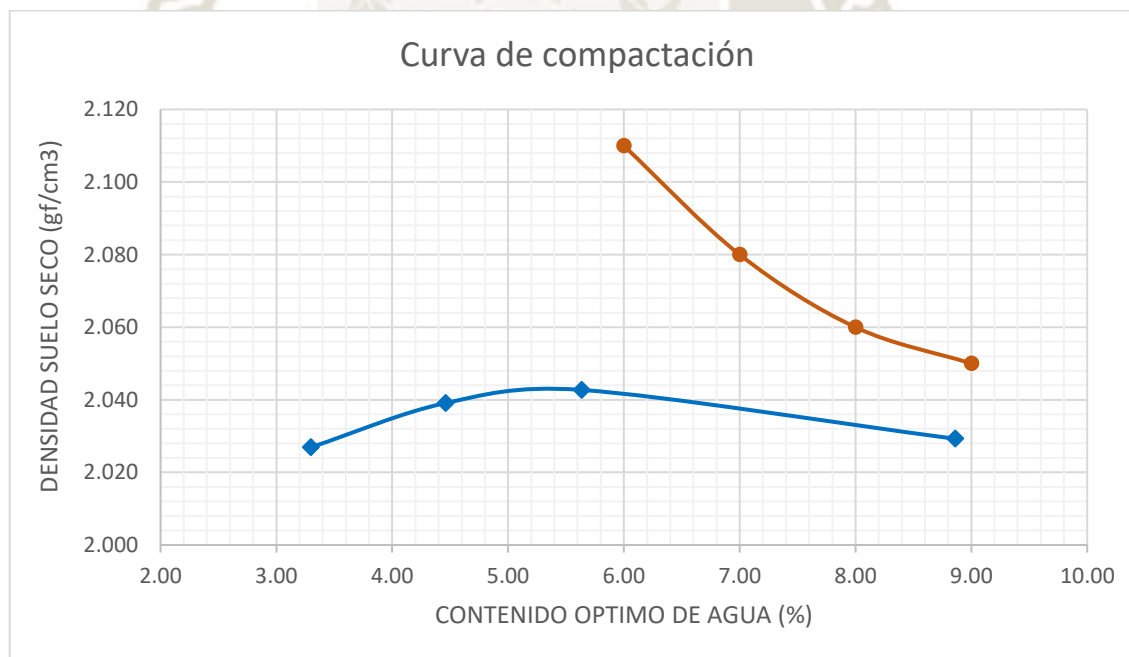
**ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO  
UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 15/07/2016

MUESTRA		1	2	3	4
PESO MOLDE	gf	3329.50	3329.50	3329.50	3329.50
VOLUMEN DE MOLDE	cm <sup>3</sup>	936.37	936.37	936.37	936.37
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	gf	5290.00	5324.00	5350.00	5398.00
PESO SUELO COMPACTADO	gf	1960.50	1994.50	2020.50	2068.50
PESO TARA	gf	28.00	28.50	28.00	28.00
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gf	75.00	73.00	65.50	71.00
PESO SUELO SECO + TARA	gf	73.50	71.10	63.50	67.50
PESO SUELO SECO	gf	45.50	42.60	35.50	39.50
PESO AGUA	gf	1.50	1.90	2.00	3.50
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	3.30	4.46	5.63	8.86
DENSIDAD SUELO HUMEDO	gf/cm <sup>3</sup>	2.094	2.130	2.158	2.209
DENSIDAD SUELO SECO	gf/cm <sup>3</sup>	2.027	2.039	2.043	2.029



<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	<b>5.30</b>
<b>DENSIDAD MAXIMA (gf/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.043</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 6.1.11. Muestras de Material de Préstamo

Cantera N°1 – Azufral	–	Método A
Cantera N°2 – Alvarez	–	Método A
Cantera N°3 – Los Portales	–	Método A
Cantera N°4 – Alto Misti	–	Método A

Una vez establecido el Método para cada tipo de suelo se procedió a realizar los ensayos de acuerdo a lo normado.



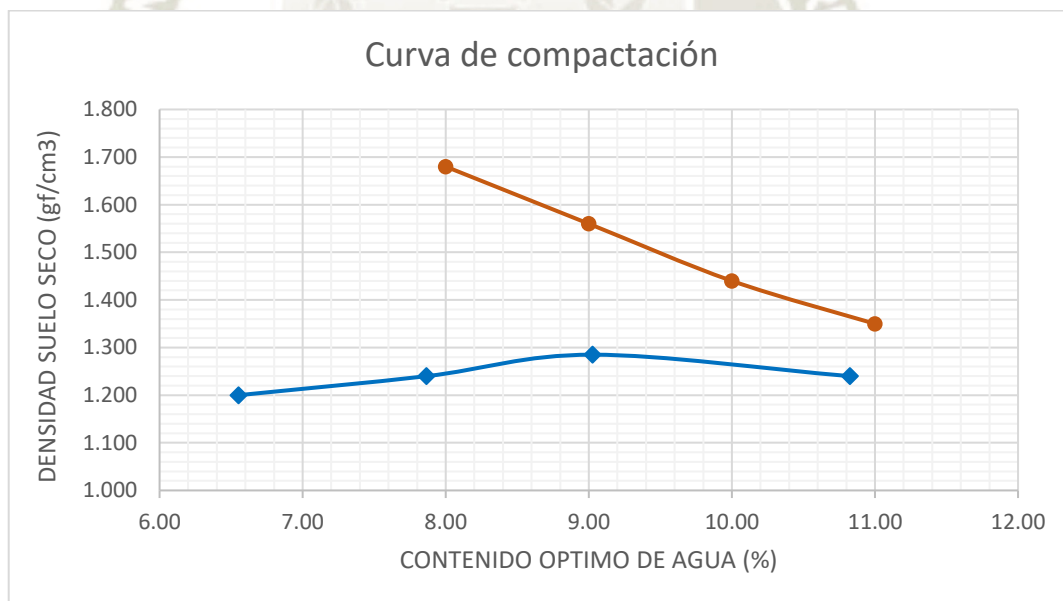
**CANTERA N° 1 – EL AZUFRAL**

**ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO  
UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA**

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 04/03/2017

MUESTRA		1	2	3	4
PESO MOLDE	gr	8625.00	8625.00	8625.00	8625.00
VOLUMEN DE MOLDE	cm <sup>3</sup>	2123.45	2123.45	2123.45	2123.45
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	gr	11340.00	11465.00	11600.00	11610.00
PESO SUELO COMPACTADO	gr	2715.00	2840.00	2975.00	2985.00
PESO TARA	gr	28.20	27.80	27.20	27.50
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr	90.00	95.00	90.00	92.00
PESO SUELO SECO + TARA	gr	86.20	90.10	84.80	85.70
PESO SUELO SECO	gr	58.00	62.30	57.60	58.20
PESO AGUA	gr	3.80	4.90	5.20	6.30
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.55	7.87	9.03	10.82
DENSIDAD SUELO HUMEDO	gr/cm <sup>3</sup>	1.279	1.337	1.401	1.406
DENSIDAD SUELO SECO	gr/cm <sup>3</sup>	1.200	1.240	1.285	1.240



<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	<b>9.03</b>
<b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.29</b>

Fuente: Elaboración propia

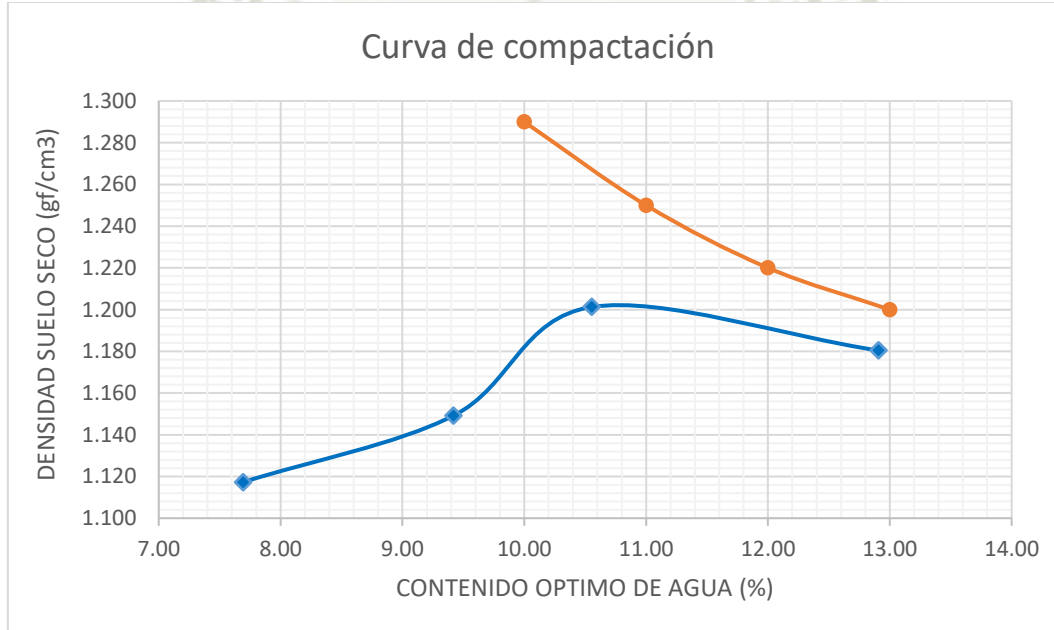
**CANTERA N° 2 – AGREGADOS ALVAREZ**

**ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO  
UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA**

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 04/03/2017

MUESTRA		1	2	3	4
PESO MOLDE	gr	8625.00	8625.00	8625.00	8625.00
VOLUMEN DE MOLDE (4")	cm <sup>3</sup>	2123.45	2123.45	2123.45	2123.45
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	gr	11180.00	11295.00	11445.00	11455.00
PESO SUELO COMPACTADO	gr	2555.00	2670.00	2820.00	2830.00
PESO TARA	gr	26.80	27.60	28.20	37.30
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr	80.00	70.00	90.00	90.00
PESO SUELO SECO + TARA	gr	76.20	66.35	84.10	82.30
PESO SUELO SECO	gr	49.40	38.75	55.90	59.65
PESO AGUA	gr	3.80	3.65	5.90	7.70
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.69	9.42	10.55	12.91
DENSIDAD SUELO HUMEDO	gr/cm <sup>3</sup>	1.203	1.257	1.328	1.333
DENSIDAD SUELO SECO	gr/cm <sup>3</sup>	1.117	1.149	1.201	1.180



<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	<b>10.60</b>
<b>DENSIDAD MAXIMA SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.20</b>

*Fuente: Elaboración propia*

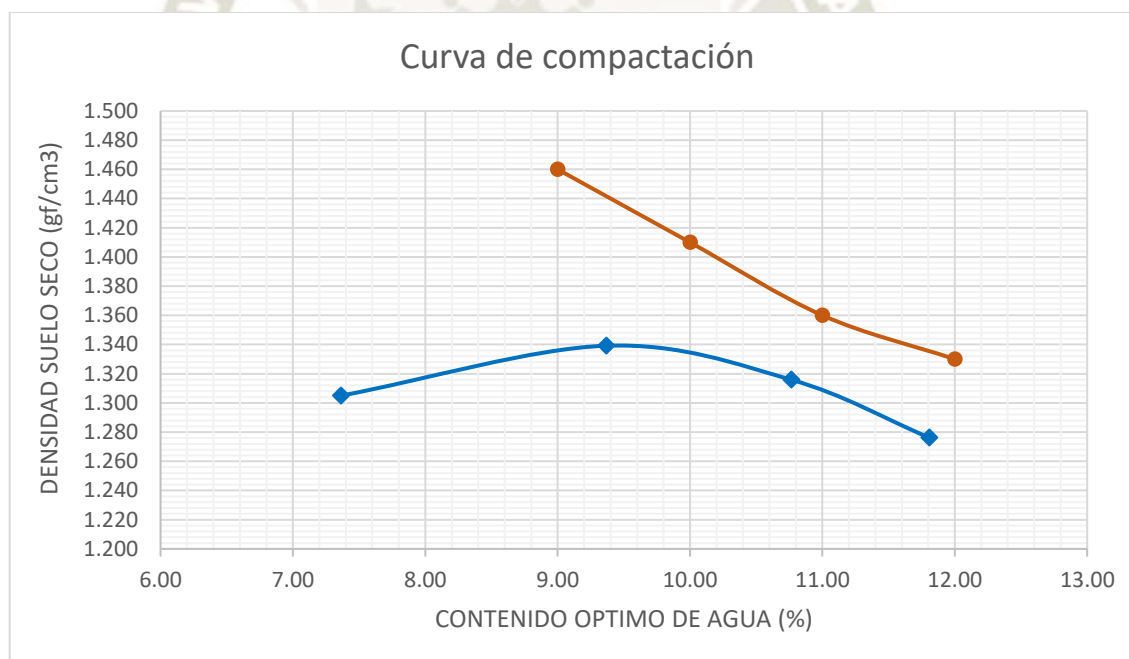
**CANTERA N° 3 – LOS PORTALES**

**ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO  
UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA**

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 04/03/2017

MUESTRA		1	2	3	4
PESO MOLDE	gr	8625.00	8625.00	8625.00	8625.00
VOLUMEN DE MOLDE	cm <sup>3</sup>	2123.45	2123.45	2123.45	2123.45
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	gr	11600.00	11735.00	11720.00	11655.00
PESO SUELO COMPACTADO	gr	2975.00	3110.00	3095.00	3030.00
PESO TARA	gr	27.50	35.70	29.00	27.50
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr	80.00	90.00	100.00	90.00
PESO SUELO SECO + TARA	gr	76.40	85.35	93.10	83.40
PESO SUELO SECO	gr	48.90	49.65	64.10	55.90
PESO AGUA	gr	3.60	4.65	6.90	6.60
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.36	9.37	10.76	11.81
DENSIDAD SUELO HUMEDO	gr/cm <sup>3</sup>	1.401	1.465	1.458	1.427
DENSIDAD SUELO SECO	gr/cm <sup>3</sup>	1.305	1.339	1.316	1.276



<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	<b>9.40</b>
<b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)</b>	<b>1.340</b>

Fuente: Elaboración propia

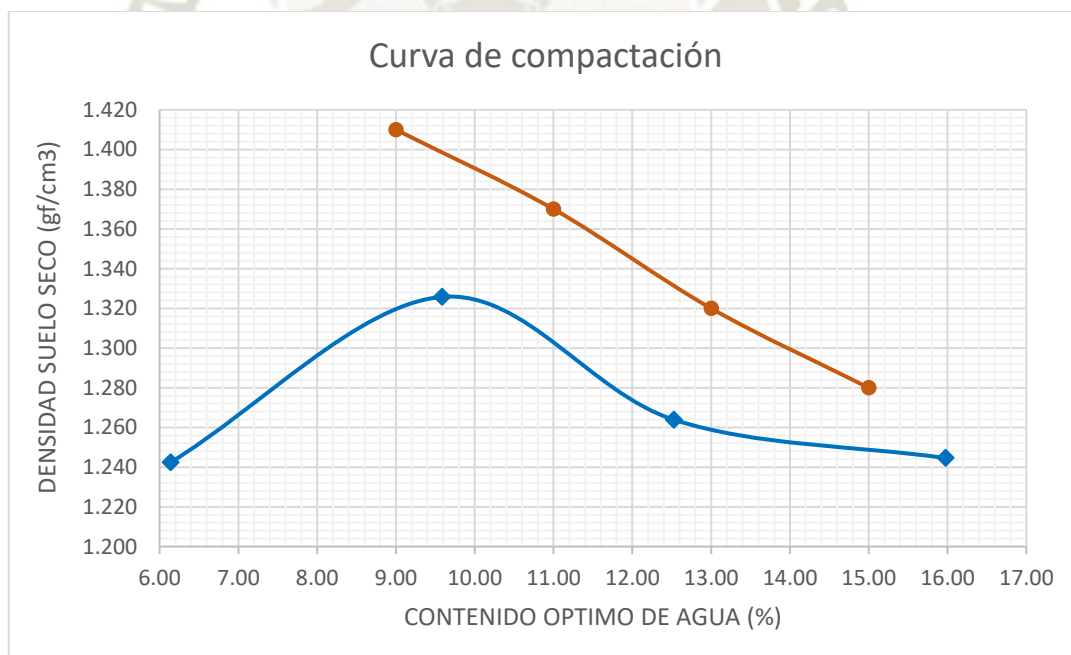
**CANTERA N° 4 – ALTO MISTI**

**ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO  
UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA**

TESIS: Evaluación Y Análisis Comparativo Entre Los Ensayos De Densidad Máxima Por Medio De Una Mesa Vibratoria Y El Ensayo De Compactación Mecánica.

FECHA: 04/03/2017

MUESTRA		1	2	3	4
PESO MOLDE	gr	8625.00	8625.00	8625.00	8625.00
VOLUMEN DE MOLDE	cm <sup>3</sup>	2123.45	2123.45	2123.45	2123.45
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE	gr	11570.00	11710.00	11645.00	11690.00
PESO SUELO COMPACTADO	gr	2800.00	3085.00	3020.00	3065.00
PESO TARA	gr	26.70	27.40	27.00	27.10
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr	95.00	80.00	80.00	83.00
PESO SUELO SECO + TARA	gr	91.05	75.40	74.10	75.30
PESO SUELO SECO	gr	64.35	48.00	47.10	48.20
PESO AGUA	gr	3.95	4.60	5.90	7.70
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.14	9.58	12.53	15.98
DENSIDAD SUELO HUMEDO	gr/cm <sup>3</sup>	1.319	1.453	1.422	1.443
DENSIDAD SUELO SECO	gr/cm <sup>3</sup>	1.242	1.326	1.264	1.245



<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	<b>9.58</b>
<b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)</b>	<b>1.330</b>

Fuente: Elaboración propia

## 6.2. Análisis e Interpretación de los resultados

### 6.2.1. Muestras de Material Propio

Se realizaron varios especímenes por cada muestra extraída con diferentes cantidades de agua, empezando con el 2% hasta un 24%, para la obtención de las diferentes curvas de compactación, lo cual nos brindó el siguiente cuadro estadístico:

*Tabla 6 2 Proctor Modificado MPROP.*

PROCTOR MODIFICADO		
	DENSIDAD MÁXIMA SECA (gf/cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD ÓPTIMA (%)
CALICATA N°1 - ACEQUIA ALTA	1.88	7.00
CALICATA N°2 - PACHACUTEC	1.51	23.50
CALICATA N°3 - MIRAFLORES	1.97	11.20
CALICATA N°4 - YANAHUARA	2.06	9.30
CALICATA N°5 - SOCABAYA	1.68	19.50
CALICATA N°6 - PAUCARPATA	2.04	5.30

*Fuente: Elaboración propia*

Se puede concluir que el mejor suelo para hacer una compactación es el de la Calicata N°6 (sector Paucarpata), ya que alcanzó la mayor Densidad máxima seca, caso contrario sucede con el suelo de Pachacutec en donde el suelo no es muy favorable al hacer compactación.

Esto no quiere decir que los suelos sean deficientes, sino que por el tipo de suelo se pueden lograr mejores resultados.

### 6.2.2. Muestras de Material Préstamo

Se realizaron varios especímenes por cada muestra extraída con diferentes cantidades de agua, empezando con el 2% hasta un 12%, para la obtención de las diferentes curvas de compactación, lo cual nos brindó el siguiente cuadro estadístico:

*Tabla 6 3 Proctor Modificado MPRST.*

PROCTOR MODIFICADO		
	DENSIDAD MÁXIMA SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD ÓPTIMA (%)
CANtera N°1 - AZUFRAL	1.29	9.03
CANtera N°2 - ALVAREZ	1.20	10.60
CANtera N°3 - LOS PORTALES	1.34	9.40
CANtera N°4 - ALTO MISTI	1.33	9.58

*Fuente: Elaboración propia*

La cantera de Los Portales y Alto Misti, tienen una mayor densidad con respecto a las otras dos canteras, y se puede suponer que la humedad óptima es similar para las diferentes muestras ya que estas varían en 1.00% como máximo.

Esto no quiere decir que las demás canteras sean de mala calidad, sino que por la composición del material se pueden lograr mejores resultados.



## CAPÍTULO VII

## 7. ENSAYOS DE MESA VIBRATORIA

### 7.1. Método de ensayo estándar para la determinación del índice de densidad y peso unitario máximo utilizando una mesa vibratoria

#### 7.1.1. Objetivo

Este ensayo establece la determinación de los índices máximos de densidad/peso unitario de los suelos sin cohesión y libres de drenaje utilizando una mesa de vibración vertical (INACAL, 2001).

#### 7.1.2. Alcance

Este tipo de ensayo son aplicables a suelos que contengan hasta el 15% de partículas de suelo seco que pasen a través de la malla N°200 (0.074 mm), con la condición que no sean cohesivos y tengan propiedades drenantes. Además, son aplicables para los suelos que el 100% de peso seco pase por la malla de 3 pulg (75 mm).

Los suelos para este propósito deben ser suelos naturales, sin partículas procesadas, o una mezcla de partículas naturales y procesadas, a condición que sean drenantes.

Se tiene cuatro procedimientos alternativos para este ensayo (INACAL, 2001).

##### 7.1.2.1. Método de prueba 1A

Utilizando suelos secados con el horno y una mesa de vibración electromagnética de vibración vertical.

##### 7.1.2.2. Método de prueba 1B

Utilizando suelos húmedos y una mesa de vibración electromagnética de vibración vertical.

##### 7.1.2.3. Método de prueba 2A

Utilizando suelos secados con el horno y una mesa vibratoria vertical de movimiento excéntrico

#### 7.1.2.4. Método de prueba 2B

Utilizando suelos húmedos y una mesa vibratoria vertical de movimiento excéntrico.

Para estos ensayos tenemos que tomar en cuenta que los valores densidad máxima por el método con suelo húmedo puede producir valores mayores, por lo tanto, el índice de densidad máxima/peso unitario sería elevado con lo cual afectaría al valor de densidad relativa

Frecuentemente se usa el método con suelo seco, sin embargo, se debe tener en cuenta su aplicación y así definir el método a usar.

A continuación, en la tabla 7.1, se mostrará el tamaño de molde que deberá utilizarse con respecto al tamaño de las partículas de la muestra y la cantidad requerida de la misma (INACAL, 2001).

*Tabla 7 1 Masa de muestra requerida, tamaño de molde*

Tamaño máximo de partículas de suelo, mm (pulg)	Muestra requerida	Tamaño de molde a ser utilizado cm <sup>3</sup> (pie <sup>3</sup> )
75 (3)	34	14200 (0.500)
38.1 (1½)	34	14200 (0.500)
19.0 (¾)	11	2830 (0.100)
9.5 (3/8)	11	2831 (0.100)
4.75 (Nº4) ó menos	11	2832 (0.100)

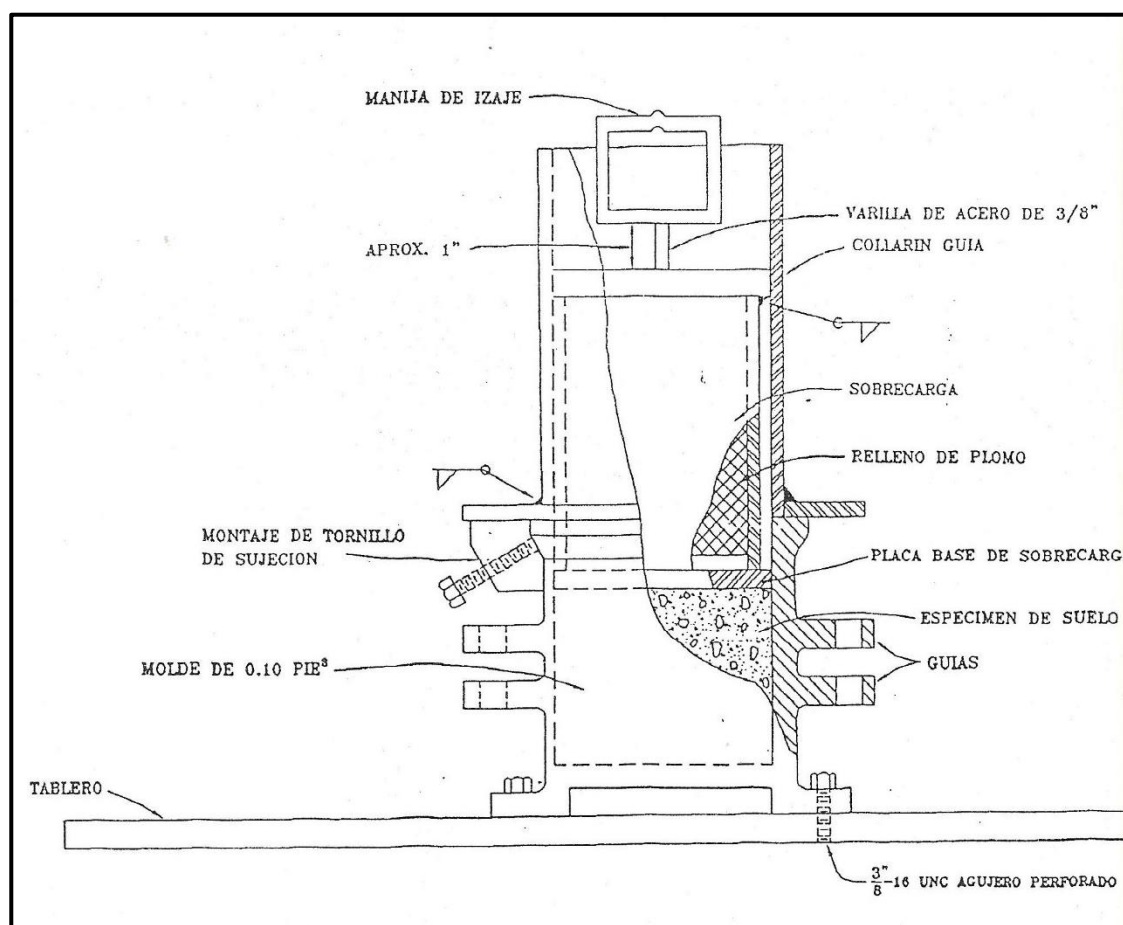
*Fuente: Norma Técnica Peruana 339.137 (2000)*

Para los suelos drenantes y son cohesión, cualquiera de estos métodos producirá degradación moderada al suelo es decir las partículas sufrirán fracturamiento, lo cual generará un incremento en la densidad máxima.

#### 7.1.3. Instrumentos

Para realizar el ensayo se tendrá en cuenta el tipo de molde, tubos guía y sobrecarga a usar los cuales se detallaremos en las figuras 7.5, 7.6 y 7.7.

Figura 7. 1 Esquema del montaje de molde típico

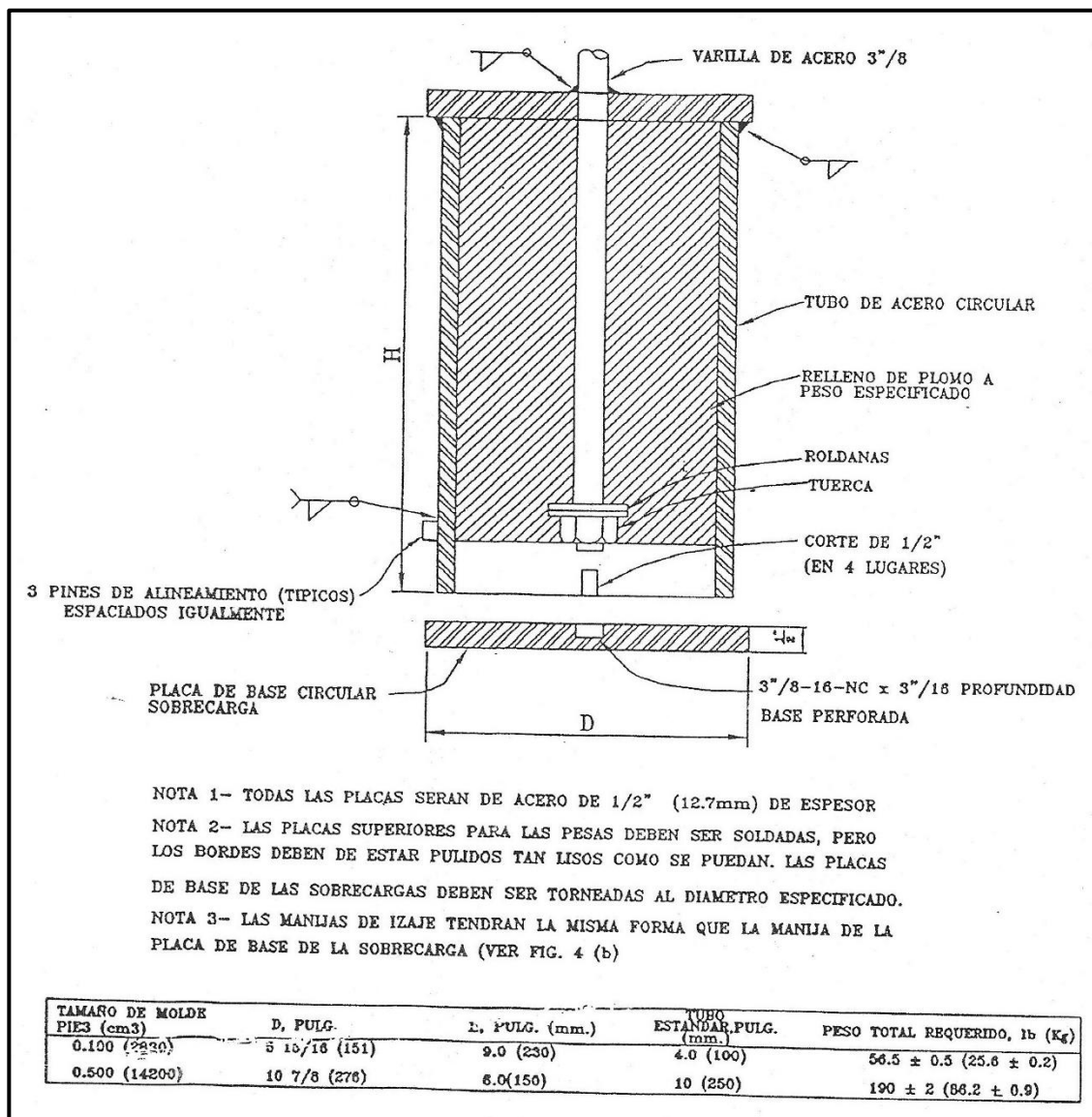


Fuente: Norma Técnica Peruana 339.137 (2000)

En la figura 7.1 se puede ver el montaje total con cualquiera de los dos moldes y sus respectivas sobrecargas, con su tubo guía; el molde debe ir empernado al tablero de la mesa vibratoria con tres pernos, al igual el tubo guía debe ir con tres tornillos de sujeción equidistantes para que la sobrecarga se mantenga vertical al espécimen de suelo (INACAL, 2001).



Figura 7. 3 Sobre carga circular y placa base



Fuente: Norma Técnica Peruana 339.137 (2000)

En la figura anterior se da a conocer las características de la placa base, el tubo guía y la sobrecarga para los dos tipos de moldes de 2830 cm<sup>3</sup> y 14200 cm<sup>3</sup>.

#### 7.1.4. Procedimiento

Se deberá utilizar el método visual para escoger el molde adecuado con la ayuda de la Tabla 7.1, el tamaño de la muestra de prueba estará en función al tamaño máximo nominal.

#### 7.1.4.1. Método de Prueba 1A ó 2A (Método seco)

La muestra debe ser secada al horno, una vez que esté totalmente seca se mezcla para lograr homogenizar las partículas.

Se procede a llenar el molde respectivo utilizando alguna cuchara o alguna herramienta con la cual se minimice la segregación al momento del vaciado, la colocación es de forma espiral de tal manera que se llene uniformemente el molde, una vez terminado el llenado se coloca el molde en el tablero de la mesa vibratoria evitando movimientos bruscos o golpes que permitan que la muestra de asiente.

Se coloca la placa base de sobrecarga de manera firme y uniforme al contacto con la superficie del espécimen, posterior de coloca el tubo guía el cual será empernado al molde a través de los pernos de sujeción, por último, se coloca la sobrecarga respectiva y se inicia el vibrado.

La vibración será de 8 minutos  $\pm$  ¼ minuto a 60 Hz  $\pm$  2 Hz ó 12 minutos  $\pm$  ¼ minuto para 50 Hz  $\pm$  2 Hz.

Culminado el tiempo se procede a retirar en el siguiente orden, primero la sobre carga, el tubo guía, dejando la placa base para las lecturas respectivas con vernier o regla milimetrada, se tomarán como mínimo 4 mediciones, después se extrae el molde con la muestra compactada, la cual se le anota el peso.

Dichos métodos se deberán de repetir mínimo tres veces, corroborando que los resultados no varíen más del 2% (INACAL, 2001).

#### 7.1.4.2. Método de Prueba 1B ó 2B (Método húmedo)

La muestra previamente debe estar seca por medio del horno, después se deberá homogenizar la muestra de suelo.

Se adhiere el molde vacío al tablero de la mesa vibratoria, se inicia la vibración a 10 Hz, se comienza a colocar el suelo seco agregándole una cierta cantidad de agua evitando se saturarla sino que el suelo

haga un efecto de “ebullición” moderada, si en caso el agua es excesiva deberá ser extraída evitando la remoción del suelo, este proceso dura entre 5 a 6 minutos; culminado esta etapa se detiene la vibración y se ensambla el molde con la placa base, tubo guía y la sobrecarga, se vuelve a iniciar la vibración de 8 minutos  $\pm \frac{1}{4}$  minuto a 60 Hz  $\pm 2$  Hz ó 12 minutos  $\pm \frac{1}{4}$  minuto para 50 Hz  $\pm 2$  Hz.

Culminado el tiempo se procede a retirar en el siguiente orden, primero la sobre carga, el tubo guía, dejando la placa base para las lecturas respectivas con vernier o regla milimetrada, se tomarán como mínimo 4 mediciones, después se extrae el molde con la muestra compactada donde se anota el peso, y si se desea conocer el contenido de humedad se extraerá una muestra representativa para llevarla al horno y poder hallarla.

Este método debe realizar como mínimo tres veces, teniendo en cuenta que los resultados estén dentro del 2% de variación.

Estos dos métodos de prueba también son utilizados para hallar la densidad mínima ya que al inicio de cada procedimiento se puede obtener el peso en estado más suelto del suelo, con un volumen ya conocido, con estos datos se calcula la densidad mencionada, además cabe resaltar que también con los datos de densidad máxima y densidad mínima se puede calcular la densidad relativa del suelo (INACAL, 2001).

#### 7.1.5. Cálculos

En ambos métodos de prueba para conocer la densidad máxima se deberán tener los siguientes datos:

- El peso de la muestra de suelo
- El volumen del molde
- El volumen del molde vacío producto del asentamiento por vibración y las mediciones

Teniendo estos datos se deberá utilizar la fórmula de densidad, siendo:

$$\gamma = \frac{W_{muestra}}{V_{molde} - V_{vacío}}$$

Procesando los datos obtenidos del laboratorio y aplicando la fórmula mostrada se hallará la  $\gamma_{dmax}$ .

## 7.1.6. Investigaciones Previas

### 7.1.6.1. Antecedente 1

Las investigaciones tomadas como referencia hacen mención de las analogías entre los ensayos de laboratorio y las energías de compactación en obra, es decir:

- Compactación por impacto - Proctor Modificado
- Compactación por vibración - Mesa Vibratoria

El Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV) perteneciente al Ministerio de Obras Públicas de Chile, que es un entidad que regula el Manual de Carreteras, dio a conocer que por medio de varios ensayos realizados, “Densidad al 95% de Proctor Modificado es equivalente a decir Densidad Relativa al 80%”, es decir que la densidad máxima obtenida en el Proctor Modificado es menor a la densidad máxima obtenida por medio de la Mesa Vibratoria, sin embargo hay que tener en cuenta el método a utilizar en la mesa vibratoria, seco o húmedo ya que dependerá del tipo de suelo y la función a la que va a ser sometida ese suelo (Laboratorio Nacional de Vialidad LNV, 2015).

### 7.1.6.2. Antecedente 2

En la Universidad de Magallanes, en el año 2008 los alumnos Arturo Cárdenas Piucol y Alex Donoso Montero presentaron un trabajo de Titulación, “*Proposición de una Metodología Particular para obtener la capacidad de soporte para suelos granulares sin curva de Proctor definida*”, en el cual uno de sus objetivos era verificar alguna relación entre la densidad máxima del Proctor Modificado con la Densidad Relativa, verificando lo establecido por el Laboratorio Nacional de Vialidad; quienes llegaron a la siguiente conclusión, “*Podemos decir*

que efectivamente existe una relación entre densidades obtenidas al 80% de la Densidad Relativa y al 95% de Proctor Modificado en los suelos ensayados, pero presenta una dispersión que depende de gran medida del porcentaje de finos del suelo, pues se pudo observar que cuando la muestra obtenida al 80% de la densidad relativa, es mayor que la densidad de una muestra similar al 95% del Proctor modificado, se trata de una muestra con granulometría más gruesa, es decir con un porcentaje de finos pequeño, a diferencia de los que ocurre con porcentajes de finos mayores, esta relación de densidades de las muestras se invierte” (Cárdenas Piucol & Donoso Montero, 2008).

### 7.1.6.3. Antecedente 3

En la revista *Ingeniare de Chile*, Volumen 16 - N° 3 Octubre – Diciembre 2008, se publicó el artículo “*Behavior of an Unbound granular material in cyclic Triaxial tests with constant and variable confining pressure*” (Comportamiento de un material granular no tratado en ensayos triaxiales cíclicos con presión de confinamiento constante y variable), en donde se describe el comportamiento del suelo sometido a diferentes tipos energías, obteniendo resultados de deformación mayores según el ciclo de repeticiones va aumentando de forma constante y/o variable, lo cual teóricamente nos indicaba que la energía constante generaba mayor esfuerzo, sin embargo podemos ver que no es del todo cierto y que por ende se deben realizar estudios adicionales para conocer alguna relación entre las energías constantes y variables (*Behavior of an Unbound granular material in cyclic Triaxial tests with constant and variable confining pressure*, 2008).

## 7.2. Ensayos de Densidad Máxima y Mínima

NTP 339.137 SUELOS. Métodos de ensayo estándar para la determinación del índice de densidad y peso unitario máximo de suelos utilizando una mesa vibratoria

*“La norma establece los métodos de prueba que cubren la determinación de los índices máximos de densidad/peso unitario de suelos sin cohesión y libres de drenaje utilizando una mesa de vibración vertical”*

Como la norma lo indica existen dos (2) métodos y procedimientos para determinar el índice de densidad.

NTP 339.138 SUELOS. Método de ensayo estándar para la determinación del índice de densidad y peso unitario mínimos de suelos y cálculo de densidad relativa.

*“La norma establece los métodos de prueba que cubren la determinación de índices de densidad/peso unitario mínimos de los suelos no cohesivos y con propiedades drenantes”*

Siguiendo el procedimiento indicado en dicha norma se hicieron los siguientes ensayos (INACAL, 2001).

### 7.2.1. Muestras de Material Propio

#### 7.2.1.1. Método seco (Método de prueba 1 A)

Utilizando suelos secados a través del horno con  $\pm 105^{\circ}\text{C}$  y una mesa electromagnética de vibración vertical se obtienen los siguientes datos.

**CALICATA N°1 – ACEQUIA ALTA**  
**DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA**  
**(MESA VIBRATORIA – METODO SECO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.20 Metros

FECHA: 17/06/2016

<b>MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO SECO</b>				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gf	9484.00	9484.00	9484.00
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	13988.32	13988.32	13988.32
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gf	32314.00	32024.00	32192.00
PESO DE LA MUESTRA	gf	22830.00	22540.00	22708.00
VOLUMEN VACIO	cm3	1582.66	2077.25	2054.42
VOLUMEN FINAL	cm3	12405.66	11911.07	11933.90
DENSIDAD MINIMA	gf/cm3	1.63	1.61	1.62
DENSIDAD MAXIMA SECA	gf/cm3	1.84	1.89	1.90

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°2 – PACHACUTEC**  
**DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA**  
**(MESA VIBRATORIA – METODO SECO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 20/06/2016

<b>MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO SECO</b>				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gf	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gf	7044.00	6982.00	7033.00
PESO DE LA MUESTRA	gf	3480.50	3418.50	3469.50
VOLUMEN VACIO	cm3	596.61	620.74	610.27
VOLUMEN FINAL	cm3	2221.56	2197.43	2207.90
DENSIDAD MINIMA	gf/cm3	1.24	1.21	1.23
DENSIDAD MAXIMA SECA	gf/cm3	1.57	1.56	1.57

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°3 - MIRAFLORES**

**DENSIDAD MAXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA  
(MESA VIBRATORIA – METODO SECO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 23/06/2016

<b>MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO SECO</b>				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gf	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gf	7999.00	7992.00	8000.50
PESO DE LA MUESTRA	gf	4435.50	4428.50	4437.00
VOLUMEN VACIO	cm3	500.97	473.64	494.14
VOLUMEN FINAL	cm3	2317.20	2344.53	2324.03
DENSIDAD MINIMA	gf/cm3	1.57	1.57	1.57
DENSIDAD MAXIMA SECA	gf/cm3	1.91	1.89	1.91

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°4 - YANAHUARA**

**DENSIDAD MAXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA  
(MESA VIBRATORIA – METODO SECO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 01/07/2016

<b>MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO SECO</b>				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gf	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gf	7615.00	7672.00	7660.00
PESO DE LA MUESTRA	gf	4051.50	4108.50	4096.50
VOLUMEN VACIO	cm3	510.08	466.36	488.22
VOLUMEN FINAL	cm3	2308.09	2351.81	2329.95
DENSIDAD MINIMA	gf/cm3	1.54	1.55	1.55
DENSIDAD MAXIMA SECA	gf/cm3	1.88	1.90	1.89

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°5 - SOCABAYA**

**DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA  
(MESA VIBRATORIA – METODO SECO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.00 Metro

FECHA: 08/07/2016

<b>MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO SECO</b>				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gf	9484.00	9484.00	9484.00
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	13988.32	13988.32	13988.32
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gf	27250.50	26964.50	27165.00
PESO DE LA MUESTRA	gf	17766.50	17480.50	17681.00
VOLUMEN VACIO	cm3	3165.33	2944.67	3058.80
VOLUMEN FINAL	cm3	10822.99	11043.65	10929.52
DENSIDAD MINIMA	gf/cm3	1.27	1.25	1.26
DENSIDAD MAXIMA SECA	gf/cm3	1.64	1.58	1.62

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°6 - PAUCARPATA**

**DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA  
(MESA VIBRATORIA – METODO SECO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 METROS

FECHA: 15/07/2016

<b>MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO SECO</b>				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gf	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gf	8536.00	8554.00	8552.00
PESO DE LA MUESTRA	gf	4972.50	4990.50	4988.50
VOLUMEN VACIO	cm3	409.88	425.82	409.88
VOLUMEN FINAL	cm3	2408.29	2392.35	2408.29
DENSIDAD MINIMA	gf/cm3	1.76	1.77	1.77
DENSIDAD MAXIMA SECA	gf/cm3	2.06	2.09	2.07

*Fuente: Elaboración propia*

### 7.2.1.2. Método Húmedo (Método de prueba 1 B)

Utilizando suelos secos en el cual se aumenta proporcionalmente agua y una mesa electromagnética de vibración vertical, y siguiendo el procedimiento anteriormente explicado se realizan los ensayos.

#### CALICATA N°1 – ACEQUIA ALTA DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA (MESA VIBRATORIA – METODO HÚMEDO)

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.20 METROS      FECHA: 17/06/2016

MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO HUMEDO				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gf	9484.00	9484.00	9484.00
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	13988.32	13988.32	13988.32
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gf	31650.00	31582.00	31670.00
PESO DE LA MUESTRA	gf	22166.00	22098.00	22186.00
VOLUMEN VACIO	cm3	1826.15	1887.02	1864.20
VOLUMEN FINAL	cm3	12162.17	12101.30	12124.12
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HUMEDA	gf	34578.00	34256.00	34445.50
PESO MUESTRA HUMEDA	gf	25094.00	24772.00	24961.50
PESO SUELO HUMEDO + BANDEJA	gf	5063.00	4512.00	4890.00
PESO SUELO SECO + BANDEJA	gf	4547.00	4094.00	4422.00
PESO BANDEJA	gf	641.00	640.00	680.00
PESO SUELO SECO	gf	3906.00	3454.00	3742.00
PESO AGUA	gf	516.00	418.00	468.00
CONTENIDO DE AGUA	%	13.21	12.10	12.51
DENSIDAD MINIMA	gf/cm3	1.58	1.58	1.59
DENSIDAD MAXIMA SECA	gf/cm3	2.06	2.05	2.06

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°2 – PACHACUTEC**

**DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA  
(MESA VIBRATORIA – METODO HÚMEDO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 20/06/2016

<b>MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO HUMEDO</b>				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gf	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gf	7067.50	7073.00	7070.00
PESO DE LA MUESTRA	gf	3504.00	3509.50	3506.50
VOLUMEN VACIO	cm3	596.61	589.78	592.05
VOLUMEN FINAL	cm3	2221.56	2228.39	2226.12
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HUMEDA	gf	7556.00	7561.00	7565.00
PESO MUESTRA HUMEDA	gf	3992.50	3997.50	4001.50
PESO SUELO HUMEDO + BANDEJA	gf	4622.00	4561.00	4590.00
PESO SUELO SECO + BANDEJA	gf	3945.50	3881.50	3915.00
PESO BANDEJA	gf	639.00	596.00	620.00
PESO SUELO SECO	gf	3306.50	3285.50	3295.00
PESO AGUA	gf	676.50	679.50	675.00
CONTENIDO DE AGUA	%	20.46	20.68	20.49
DENSIDAD MINIMA	gf/cm3	1.24	1.25	1.24
DENSIDAD MAXIMA SECA	gf/cm3	1.80	1.79	1.80

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°3 - MIRAFLORES**

**DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA  
(MESA VIBRATORIA – METODO HÚMEDO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 23/06/2016

<b>MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO HUMEDO</b>				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gf	3563.5 0	3563.5 0	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.1 7	2818.1 7	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gf	8020.0 0	7965.0 0	8005.50
PESO DE LA MUESTRA	gf	4456.5 0	4401.5 0	4442.00
VOLUMEN VACIO	cm3	555.62	578.39	564.73
VOLUMEN FINAL	cm3	2262.5 5	2239.7 8	2253.44
PESO DEL MOLDE + MUESRA HUMEDA	gf	8329.0 0	8258.0 0	8265.50
PESO MUESTRA HUMEDA	gf	4765.5 0	4694.5 0	4702.00
PESO SUELO HUMEDO + BANDEJA	gf	5327.5 0	5300.0 0	5220.00
PESO SUELO SECO + BANDEJA	gf	4875.5 0	4860.0 0	4770.00
PESO BANDEJA	gf	589.00	639.00	520.00
PESO SUELO SECO	gf	4286.5 0	4221.0 0	4250.00
PESO AGUA	gf	452.00	440.00	450.00
CONTENIDO DE AGUA	%	10.54	10.42	10.59
DENSIDAD MINIMA	gf/cm 3	1.58	1.56	1.58
DENSIDAD MAXIMA SECA	gf/cm 3	2.11	2.10	2.09

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°4 - YANAHUARA**

**DENSIDAD MAXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA  
(MESA VIBRATORIA – METODO HÚMEDO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 METROS

FECHA: 01/07/2016

<b>MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO HUMEDO</b>				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gf	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gf	7615.00	7598.50	7620.00
PESO DE LA MUESTRA	gf	4051.50	4035.00	4056.50
VOLUMEN VACIO	cm3	532.85	578.39	532.85
VOLUMEN FINAL	cm3	2285.32	2239.78	2285.32
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HUMEDA	gf	8224.00	8195.50	8245.00
PESO MUESTRA HUMEDA	gf	4660.50	4632.00	4681.50
PESO SUELO HUMEDO + BANDEJA	gf	4216.50	3869.00	4175.00
PESO SUELO SECO + BANDEJA	gf	3750.00	3456.50	3698.50
PESO BANDEJA	gf	541.50	521.00	512.00
PESO SUELO SECO	gf	3208.50	2935.50	3186.50
PESO AGUA	gf	466.50	412.50	476.50
CONTENIDO DE AGUA	%	14.54	14.05	14.95
DENSIDAD MINIMA	gf/cm3	1.44	1.43	1.44
DENSIDAD MAXIMA	gf/cm3	2.04	2.07	2.05

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°5 - SOCABAYA**

**DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA  
(MESA VIBRATORIA – METODO HÚMEDO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.00 METRO

FECHA: 08/07/2016

<b>MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO HUMEDO</b>				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gf	9484.00	9484.00	9484.00
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	13988.32	13988.32	13988.32
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gf	27536.50	28048.00	27910.00
PESO DE LA MUESTRA	gf	18052.50	18564.00	18426.00
VOLUMEN VACIO	cm3	3484.91	3119.68	3363.16
VOLUMEN FINAL	cm3	10503.41	10868.64	10625.16
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HUMEDA	gf	30448.50	31129.50	30896.00
PESO MUESTRA HUMEDA	gf	20964.50	21645.50	21412.00
PESO SUELO HUMEDO + BANDEJA	gf	4860.00	3920.50	5094.50
PESO SUELO SECO + BANDEJA	gf	4261.00	3436.50	4460.00
PESO BANDEJA	gf	547.50	521.50	545.00
PESO SUELO SECO	gf	3713.50	2915.00	3915.00
PESO AGUA	gf	599.00	484.00	634.50
CONTENIDO DE AGUA	%	16.13	16.60	16.21
DENSIDAD MINIMA	gf/cm3	1.29	1.33	1.32
DENSIDAD MAXIMA	gf/cm3	2.00	1.99	2.02

*Fuente: Elaboración propia*

**CALICATA N°6 - PAUCARPATA**  
**DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA**  
**(MESA VIBRATORIA – METODO HÚMEDO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 METROS

FECHA: 15/07/2016

<b>MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO HUMEDO</b>				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gf	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gf	8498.50	8448.00	8440.00
PESO DE LA MUESTRA	gf	4935.00	4884.50	4876.50
VOLUMEN VACIO	cm3	414.44	446.32	439.49
VOLUMEN FINAL	cm3	2403.73	2371.85	2378.68
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HUMEDA	gf	8993.00	8938.40	8927.00
PESO MUESTRA HUMEDA	gf	5429.50	5374.90	5363.50
PESO SUELO HUMEDO + BANDEJA	gf	4220.50	3666.50	4305.00
PESO SUELO SECO + BANDEJA	gf	3883.50	3382.00	3963.00
PESO BANDEJA	gf	521.50	548.00	547.50
PESO SUELO SECO	gf	3362.00	2834.00	3415.50
PESO AGUA	gf	337.00	284.50	342.00
CONTENIDO DE AGUA	%	10.02	10.04	10.01
DENSIDAD MINIMA	gf/cm3	1.75	1.73	1.73
DENSIDAD MAXIMA	gf/cm3	2.26	2.27	2.25

*Fuente: Elaboración propia*

## 7.2.2. Muestras de Material de Préstamo

### 7.2.2.1. Método seco (Método de prueba 1 A)

Utilizando suelos secados a través del horno con  $\pm 105^{\circ}\text{C}$  y una mesa electromagnética de vibración vertical se obtienen los siguientes datos.

#### CANTERA N°1 – AZUFRAL DENSIDAD MAXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA (MESA VIBRATORIA – METODO SECO)

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.20 Metros

FECHA: 17/06/2016

MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO SECO				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gr	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm <sup>3</sup>	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gr	8095.00	8088.00	8100.00
PESO DE LA MUESTRA	gr	4531.50	4524.50	4536.50
VOLUMEN VACIO	cm <sup>3</sup>	535.12	532.85	519.18
VOLUMEN FINAL	cm <sup>3</sup>	2283.05	2285.32	2298.99
DENSIDAD MINIMA	gr/cm <sup>3</sup>	1.61	1.61	1.61
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm <sup>3</sup>	1.98	1.98	1.97

*Fuente: Elaboración propia*

**CANTERA N°2 – AGREGADO ALVAREZ**  
**DENSIDAD MAXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA**  
**(MESA VIBRATORIA – METODO SECO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 20/06/2016

MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO SECO				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gr	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gr	8005.00	8000.00	8010.00
PESO DE LA MUESTRA	gr	4441.50	4436.50	4446.50
VOLUMEN VACIO	cm3	582.94	582.94	582.94
VOLUMEN FINAL	cm3	2235.23	2235.23	2235.23
DENSIDAD MINIMA	gr/cm3	1.58	1.57	1.58
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm3	1.99	1.98	1.99

*Fuente: Elaboración propia*

**CANTERA N°3 – LOS PORTALES**  
**DENSIDAD MAXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA**  
**(MESA VIBRATORIA – METODO SECO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 23/06/2016

MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO SECO				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gr	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gr	8100.00	8090.00	8112.00
PESO DE LA MUESTRA	gr	4536.50	4526.50	4548.50
VOLUMEN VACIO	cm3	651.26	607.99	603.44
VOLUMEN FINAL	cm3	2166.91	2210.18	2214.73
DENSIDAD MINIMA	gr/cm3	1.61	1.61	1.61
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm3	2.09	2.05	2.05

*Fuente: Elaboración propia*

**CANTERA N°4 – ALTO MISTI**

**DENSIDAD MAXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA  
(MESA VIBRATORIA – METODO SECO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 01/07/2016

MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO SECO				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gr	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gr	7885.00	7925.00	7900.00
PESO DE LA MUESTRA	gr	4321.50	4361.50	4336.50
VOLUMEN VACIO	cm3	528.29	537.40	519.18
VOLUMEN FINAL	cm3	2289.88	2280.77	2298.99
DENSIDAD MINIMA	gr/cm3	1.53	1.55	1.54
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm3	1.89	1.91	1.89

*Fuente: Elaboración propia*

### 7.2.2.2. Método Húmedo (Método de prueba 1 B)

Utilizando suelos húmedos y una mesa electromagnética de vibración vertical, y siguiendo el procedimiento anteriormente explicado se realizan los ensayos.

#### CANTERA N°1 – AZUFRAL DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA (MESA VIBRATORIA – METODO HÚMEDO)

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.20 METROS      FECHA: 17/06/2016

MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO HUMEDO				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gr	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gr	8055.00	8065.00	8070.00
PESO DE LA MUESTRA	gr	4491.50	4501.50	4506.50
VOLUMEN VACIO	cm3	573.84	564.73	564.73
VOLUMEN FINAL	cm3	2244.33	2253.44	2253.44
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HUMEDA	gr	8355.00	8379.00	8370.00
PESO MUESTRA HUMEDA	gr	4791.50	4815.50	4806.50
PESO SUELO HUMEDO + BANDEJA	gr	3190.60	3387.00	3280.00
PESO SUELO SECO + BANDEJA	gr	2889.00	3060.00	2950.00
PESO BANDEJA	gr	629.00	598.20	612.80
PESO SUELO SECO	gr	2260.00	2461.80	2337.20
PESO AGUA	gr	301.60	327.00	330.00
CONTENIDO DE AGUA	%	13.35	13.28	14.12
DENSIDAD MINIMA	gr/cm3	1.59	1.60	1.60
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm3	2.13	2.14	2.13

*Fuente: Elaboración propia*

**CANTERA N°2 – AGREGADO ALVAREZ**  
**DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA**  
**(MESA VIBRATORIA – METODO HÚMEDO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 20/06/2016

MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO HUMEDO				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gr	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gr	7999.00	8002.00	8005.00
PESO DE LA MUESTRA	gr	4435.50	4438.50	4441.50
VOLUMEN VACIO	cm3	582.94	573.84	564.73
VOLUMEN FINAL	cm3	2235.23	2244.33	2253.44
PESO DEL MOLDE + MUESRA HUMEDA	gr	8285.00	8300.00	8290.00
PESO MUESTRA HUMEDA	gr	4721.50	4736.50	4726.50
PESO SUELO HUMEDO + BANDEJA	gr	2671.00	2856.70	2895.70
PESO SUELO SECO + BANDEJA	gr	2455.00	2619.80	2667.40
PESO BANDEJA	gr	619.00	640.00	590.00
PESO SUELO SECO	gr	1836.00	1979.80	2077.40
PESO AGUA	gr	216.00	236.90	228.30
CONTENIDO DE AGUA	%	11.76	11.97	10.99
DENSIDAD MINIMA	gr/cm3	1.57	1.57	1.58
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm3	2.11	2.11	2.10

*Fuente: Elaboración propia*

**CANTERA N°3 – LOS PORTALES**

**DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA  
(MESA VIBRATORIA – METODO HÚMEDO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 Metros

FECHA: 23/06/2016

<b>MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO HUMEDO</b>				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gr	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gr	8060.00	8100.00	8095.00
PESO DE LA MUESTRA	gr	4496.50	4536.50	4531.50
VOLUMEN VACIO	cm3	667.20	669.47	664.92
VOLUMEN FINAL	cm3	2150.97	2148.70	2153.25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HUMEDA	gr	8345.00	8390.00	8390.00
PESO MUESTRA HUMEDA	gr	4781.50	4826.50	4826.50
PESO SUELO HUMEDO + BANDEJA	gr	3208.50	3574.00	2867.50
PESO SUELO SECO + BANDEJA	gr	2914.00	3246.00	2598.00
PESO BANDEJA	gr	510.00	624.00	540.00
PESO SUELO SECO	gr	2404.00	2622.00	2058.00
PESO AGUA	gr	294.50	328.00	269.50
CONTENIDO DE AGUA	%	12.25	12.51	13.10
DENSIDAD MINIMA	gr/cm3	1.60	1.61	1.61
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm3	2.22	2.25	2.24

*Fuente: Elaboración propia*

**CANTERA N°4 – ALTO MISTI**

**DENSIDAD MÁXIMA Y DENSIDAD MÍNIMA  
(MESA VIBRATORIA – METODO HÚMEDO)**

TESIS: Evaluación y Análisis comparativo entre los ensayos de densidad máxima por medio de una mesa vibratoria y el ensayo de compactación mecánica.

PROFUNDIDAD: 1.50 METROS

FECHA: 01/07/2016

MESA DE DENSIDAD REALTIVA - METODO HUMEDO				
ENSAYO		N°1	N°2	N°3
PESO DEL MOLDE	gr	3563.50	3563.50	3563.50
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2818.17	2818.17	2818.17
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	gr	7960.00	7880.00	7880.00
PESO DE LA MUESTRA	gr	4396.50	4316.50	4316.50
VOLUMEN VACIO	cm3	669.47	664.92	674.03
VOLUMEN FINAL	cm3	2148.70	2153.25	2144.14
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HUMEDA	gr	8295.00	8261.00	8272.00
PESO MUESTRA HUMEDA	gr	4731.50	4697.50	4708.50
PESO SUELO HUMEDO + BANDEJA	gr	3087.00	3195.00	3206.00
PESO SUELO SECO + BANDEJA	gr	2808.00	2913.00	2921.00
PESO BANDEJA	gr	585.00	610.00	622.00
PESO SUELO SECO	gr	2223.00	2303.00	2299.00
PESO AGUA	gr	279.00	282.00	285.00
CONTENIDO DE AGUA	%	12.55	12.24	12.40
DENSIDAD MINIMA	gr/cm3	1.56	1.53	1.53
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm3	2.20	2.18	2.20

*Fuente: Elaboración propia*

### 7.3. Análisis e Interpretación de los resultados

#### 7.3.1. Método seco

Con las muestras secadas con el horno durante 24 horas a 105°C, se pudieron obtener las densidades mínimas y máximas.

Para la densidad mínima se usó el Método de Prueba A, según la NTP 339.138.

Para la densidad máxima se hizo a través de una mesa vibratoria con el Método de Prueba 1<sup>a</sup>, según la NTP 339.137.

##### 7.3.1.1. Material Propio

*Tabla 7. 2 Densidad Máxima y Mínima (MS)  
(Mesa Vibratoria - Método seco)*

<b>MESA DENSIDAD RELATIVA - METODO SECO</b>		
<b>CALICATA</b>	<b>DENSIDAD MINIMA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
ACEQUIA ALTA	1.61	1.90
PACHACUTEC	1.21	1.57
MIRAFLORES	1.57	1.91
YANANUARA	1.44	1.76
SOCABAYA	1.25	1.64
PAUCARPATA	1.76	2.09

*Fuente: Elaboración propia*

Se observa que la densidad mínima pertenece a la Calicata N°1 (zona de Pachacutec) y la densidad máxima a la Calicata N°6 (zona de Paucarpata), esto se debe a su composición y disposición granular característico de cada tipo de suelo (INACAL, 2001).

### 7.3.1.2. Material de Préstamo

Tabla 7. 3 Densidad Máxima y Mínima (MS)  
(Mesa Vibratoria - Método seco)

MESA DENSIDAD RELATIVA - METODO SECO		
CANTERA	DENSIDAD MINIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )
AZUFRAL	1.61	1.98
AGREGADOS ALVAREZ	1.58	1.99
LOS PORTALES	1.61	2.09
ALTO MISTI	1.53	1.91

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la densidad mínima pertenece a la Cantera N°4 (Cantera de Alto Misti) y la densidad máxima a la Cantera N°3 (Cantera de los Portales), esto se debe a su composición y disposición granular, a sus límites característico de cada tipo de suelo.

### 7.3.2. Método húmedo Material Propio

Inicialmente las muestras tuvieron que estar totalmente seca, para esto se dejó por 48 horas las muestras a la intemperie, para posteriormente durante el ensayo adicionarles agua y así obtener densidades máximas y mínimas.

Para la densidad mínima se usó el Método de Prueba A de la NTP 339.138.

Para la densidad máxima se hizo a través de una mesa vibratoria vertical, usando el Método de Prueba 1B de la NTP 339.137

*Tabla 7. 4 Densidad Máxima y Mínima (MH)  
(Mesa Vibratoria – Método húmedo)*

<b>MESA DENSIDAD RELATIVA - METODO HÚMEDO</b>		
CALICATA	DENSIDAD MINIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )
ACEQUIA ALTA	1.58	2.06
PACHACUTEC	1.24	1.80
MIRAFLORES	1.56	2.11
YANANUARA	1.43	2.07
SOCABAYA	1.29	2.02
PAUCARPATA	1.73	2.27

*Fuente: Elaboración propia*

En este caso similar al método seco 1A, se comprobó que el suelo con menor densidad es de la Calicata N°2 (zona de Pachacutec) y el de mayor densidad de la Calicata N°6 (zona de Paucarpata).

La Densidad menor es de Pachacutec 1.24 gr/cm<sup>3</sup>, siendo esta una arena limosa, y la mayor densidad la tiene la zona de Paucarpata 2.27gr/cm<sup>3</sup>, siendo Arena mal graduada con limo y grava.

### 7.3.2.1. Material de Préstamo

*Tabla 7. 5 Densidad Máxima y Mínima (MH)  
(Mesa Vibratoria – Método húmedo)*

<b>MESA DENSIDAD RELATIVA - METODO HÚMEDO</b>		
	DENSIDAD MINIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )
AZUFRAL	1.59	2.13
AGREGADOS ALVAREZ	1.57	2.11
LOS PORTALES	1.61	2.25
ALTO MISTI	1.53	2.18

*Fuente: Elaboración propia*

En este caso similar al método seco 1A, se comprobó que el suelo con la menor densidad es de la Cantera N°4 (Cantera Alto Misti) y el de mayor densidad de la Cantera N°3 (Cantera de los Portales).

La Densidad menor es de la Cantera de Alto Misti 1.53 gr/cm<sup>3</sup>, siendo esta una Grava mal graduada con limo y la mayor densidad la tiene la Cantera Los Portales 2.25gr/cm<sup>3</sup>, siendo una Grava mal graduada.

### 7.3.3. Densidad Relativa

#### 7.3.3.1. Material Propio

Se hicieron los cálculos basados entre la densidad natural, densidad máxima (Mesa vibratoria - Método Seco) y la densidad mínima.

Dando el siguiente cuadro de resultados:

*Tabla 7. 6 Densidad Relativa*

DENSIDAD RELATIVA	
CALICATA	DENSIDAD RELATIVA (%)
ACEQUIA ALTA	16.14%
PACHACUTEC	45.95%
MIRAFLORES	63.65%
YANANUARA	37.09%
SOCABAYA	23.08%
PAUCARPATA	16.35%

*Fuente: Elaboración propia*

Comparando la presente Tabla 7.4 con la Tabla 3.1, se puede expresar el estado de los suelos granulares, siendo estos:

Calicata N°1	-	Muy Suelto
Calicata N°2	-	Medio
Calicata N°3	-	Denso
Calicata N°4	-	Suelto
Calicata N°5	-	Suelto
Calicata N°6	-	Muy Suelto

### 7.3.3.2. Material de Préstamo

Se hicieron los cálculos basados entre la densidad natural, densidad máxima (Mesa vibratoria - Método húmedo 1B) y la densidad mínima.

Dando el siguiente cuadro de resultados:

*Tabla 7. 7 Densidad Relativa*

<b>DENSIDAD RELATIVA</b>	
CANtera	DENSIDAD RELATIVA (%)
AZUFRAL	25.74%
AGREGADOS ALVAREZ	28.23%
LOS PORTALES	30.73%
ALTO MISTI	27.37%

*Fuente: Elaboración propia*

Comparando la presente Tabla 7.4 con la Tabla 3.1, se puede expresar el estado de los suelos granulares, siendo estos:

Cantera N°1 - Suelto  
 Cantera N°2 - Suelto  
 Cantera N°3 - Suelto  
 Cantera N°4 - Suelto



## CAPÍTULO VIII

## 8. COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS

### 8.1. Concepto

La compactación se define como un proceso mecánico mediante el cual se logra reducir los espacios vacíos con la expulsión del aire contenido a través de determinadas cargas y energías. No todo el aire puede ser eliminado durante este proceso, es por eso que se utiliza una cantidad óptima de agua que sirve como “lubricante” para obtener mejores resultados.

Los factores principales para determinar qué clase de energía se utilizará y por ende el tipo de maquinaria son, su composición granulométrica y su contenido de humedad.

Gracias a todo esto el suelo mejora su resistencia mecánica, minimiza asentamientos y reduce la permeabilidad.

### 8.2. Tipos de compactación

#### 8.2.1. Compactación por amasado

Esta compactación se utiliza para suelos cohesivos, la maquinaria más eficiente para este tipo de suelo es el Rodillo Pata de Cabra, ya que su energía va de abajo hacia arriba gracias a la forma de sus puntas en forma tronco cónicas, produciendo una mayor y mejor compactación a entre las pequeñas partículas.

#### 8.2.2. Compactación por presión estática

La compactación en este caso hace referencia que se utiliza una maquinaria pesada y que al momento de pasar sobre el suelo genera la energía estática con la cual se compacta. Las maquinarias que generan este tipo de energía son el Rodillo Neumático y el Rodillo liso.

Este tipo de compactación es muy utilizado en capas de aglomerados asfálticos, también podemos acotar que su uso no es recomendable para suelos no cohesivos, sino para los que son ligeramente cohesivos.

#### 8.2.3. Compactación por impacto

Esta compactación produce golpes al suelo, haciendo que las partículas se acomoden por su propio peso gracias a la gravedad, esta energía de

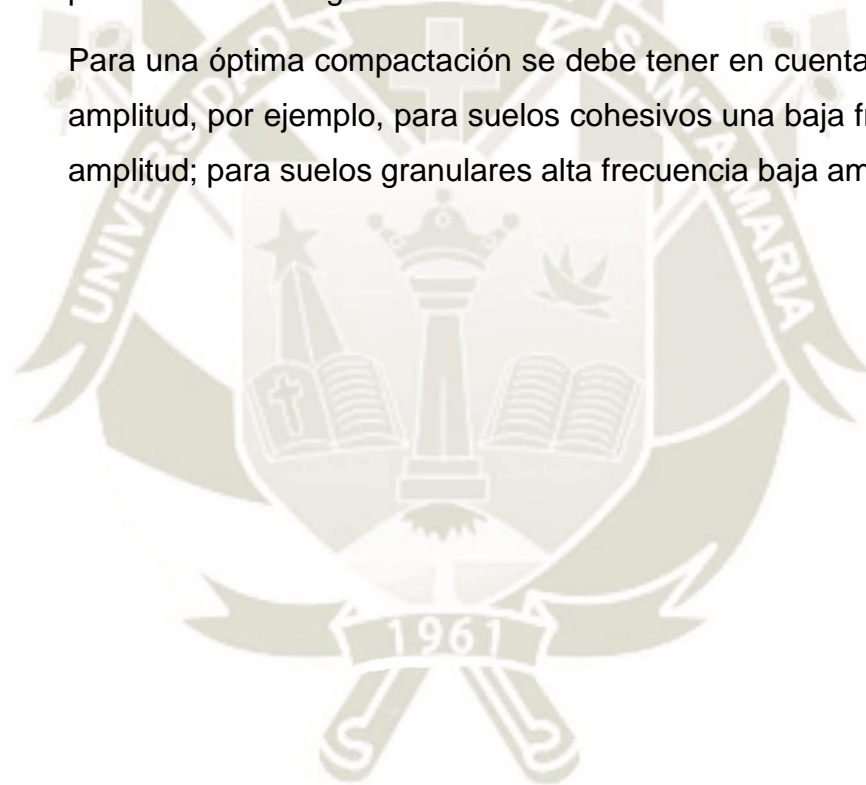
impacto se logra a través de una plancha compactadora, apisonadora y pisones manuales, es bueno para todo tipo de suelos cohesivos y no cohesivos.

Este proceso de compactación es el más caro, debido al costo/hora de la máquina.

#### **8.2.4. Compactación por vibración**

Podemos decir que actualmente es el tipo de compactación más eficaz y económico que existe, ya que se juntan dos tipos de energía, presión estática y fuerza dinámica generada por la vibración. La maquinaria que produce esta energía es el Rodillo Vibratorio.

Para una óptima compactación se debe tener en cuenta la frecuencia y amplitud, por ejemplo, para suelos cohesivos una baja frecuencia y alta amplitud; para suelos granulares alta frecuencia baja amplitud.



### 8.3. Resultados en laboratorio

#### 8.3.1. Material Propio

Tabla 8. 1 Cuadro comparativo de las densidades

<b>CUADRO COMPARATIVO DE LAS DENSIDADES</b>			
	DENSIDAD MINIMA	DENSIDAD NATURAL	DENSIDAD MAXIMA
CALICATA N°1	1.58	1.65	1.90
CALICATA N°2	1.21	1.35	1.57
CALICATA N°3	1.56	1.77	1.91
CALICATA N°4	1.43	1.54	1.76
CALICATA N°5	1.25	1.32	1.64
CALICATA N°6	1.73	1.81	2.09

*Fuente: Elaboración propia*

Podemos observar que en todos los casos la densidad natural se encuentra entre la densidad mínima y la densidad máxima, tendiendo a pegarse a una de estas por la compacidad del suelo, su gradación y la cantidad de finos que existe en el suelo.

Tabla 8. 2 Cuadro comparativo de las densidades máximas secas

<b>CUADRO COMPARATIVO DENSIDADES MÁXIMAS SECAS</b>			
	PROCTOR MODIFICADO	MESA VIBRATORIA (MÉTODO SECO)	MESA VIBRATORIA (MÉTODO HÚMEDO)
CALICATA N°1	1.88	1.90	2.06
CALICATA N°2	1.51	1.57	1.80
CALICATA N°3	1.97	1.91	2.11
CALICATA N°4	2.01	1.76	2.07
CALICATA N°5	1.68	1.64	2.02
CALICATA N°6	2.04	2.09	2.27

*Fuente: Elaboración propia*

Existen diferencias positivas y negativas entre los resultados de los ensayos del Proctor Modificado y Densidad Relativa (Método seco), sin embargo, la densidad máxima de Densidad Relativa (Método húmedo) siempre es mayor que la de Proctor Modificado las cuales veremos a continuación detalladamente en las Tablas 8.4, 8.5 y 8.6

*Tabla 8. 3 Variación Porcentual PM – DRMS*

PROCTOR MODIFICADO	DENSIDAD RELATIVA (METODO SECO)	VARIACIÓN PORCENTUAL
1.88	1.90	1.20%
1.51	1.57	3.75%
1.97	1.91	-2.76%
2.01	1.90	-5.79%
1.68	1.64	-2.59%
2.04	2.09	2.06%

*Fuente: Elaboración propia*

Podemos ver que la variación porcentual de la densidad máxima seca entre el Proctor Modificado y la Densidad Relativa Método Seco no está definida a favor de ninguno, esto puede deberse a la clasificación que posee cada suelo y más específicamente a la cantidad de grava, arena y fino que estos poseen.

*Tabla 8. 4 Variación Porcentual PM – DRMH*

PROCTOR MODIFICADO	DENSIDAD RELATIVA (METODO HUMEDO)	VARIACIÓN PORCENTUAL
1.88	2.06	8.88%
1.51	1.80	16.09%
1.97	2.11	6.61%
2.01	2.07	2.81%
1.68	2.02	16.44%
2.04	2.27	9.85%

*Fuente: Elaboración propia*

En esta variación entre el Proctor Modificado y la Densidad Relativa Método Húmedo, sí podemos afirmar que la mayor densidad se inclina por el método vibratorio, ya que todas variaciones oscilan entre 2.00% y 16.00%, a favor del ensayo de Densidad Relativa (Método Húmedo), esto se debe a que el adicionalmente a la vibración, el agua ayudo a

reordenar las partículas para que estén más cercanas entre sí, y por consiguiente aumento la densidad.

*Tabla 8. 5 Variación Porcentual DRMS – DRMH*

DENSIDAD MAXIMA (METODO SECO)	DENSIDAD MAXIMA (METODO HUMEDO)	VARIACIÓN PORCENTUAL
1.90	2.06	7.78%
1.57	1.80	12.82%
1.91	2.11	9.12%
1.76	2.07	15.12%
1.64	2.02	18.54%
2.09	2.27	7.95%

*Fuente: Elaboración propia*

Como lo mencionábamos anteriormente la diferencia porcentual de Densidad Relativa entre el método seco y método húmedo por vibrado va desde 7.00% al 18.00%, lo cual fundamenta reiteradamente que el agua funciona como lubricante en los suelos.

### 8.3.2. Material de Préstamo

*Tabla 8. 6 Cuadro comparativo de las densidades*

CUADRO COMPARATIVO DENSIDADES			
CANTERA	DENSIDAD MINIMA	DENSIDAD NATURAL	DENSIDAD MAXIMA
AZUFRAL	1.61	1.71	1.98
AGRGADOS ALVAREZ	1.58	1.70	1.99
LOS PORTALES	1.61	1.76	2.09
ALTO MISTI	1.53	1.63	1.91

*Fuente: Elaboración propia*

Se observa que, en todas las muestras extraídas, la densidad natural se encuentra entre la densidad mínima y la densidad máxima, tendiendo a pegarse a una de estas por la compacidad, gradación y la cantidad de finos que existe en el suelo.

Tabla 8. 7 Cuadro comparativo de las densidades máximas secas

CUADRO COMPARATIVO DENSIDADES MÁXIMAS SECAS			
	PROCTOR MODIFICADO	MESA VIBRATORIA (MÉTODO SECO)	MESA VIBRATORIA (MÉTODO HÚMEDO)
AZUFRAL	1.29	1.98	2.13
AGREGADOS ALVAREZ	1.20	1.99	2.11
LOS PORTALES	1.34	2.09	2.25
ALTO MISTI	1.33	1.91	2.18

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se verá las diferencias de las densidades entre el Proctor Modificado y Densidad Relativa en las Tablas 8.9, 8.10 y 8.11

Tabla 8. 8 Variación Porcentual PM – DRMS

D.M.S. (PROCTOR MODIFICADO)	D.M.S. (DENSIDAD RELATIVA METODO SECO)	VARIACIÓN PORCENTUAL
1.29	1.98	34.85%
1.20	1.99	39.70%
1.34	2.09	35.89%
1.33	1.91	30.37%

Fuente: Elaboración propia

Podemos ver que la variación porcentual de la densidad máxima entre el Proctor Modificado y la Densidad Relativa Método Seco siempre es mayor con este segundo ensayo, y que se genera una constante que varía entre el 30.00% y 40.00%, lo cual nos indica que las muestras extraídas con de material similar.

Tabla 8. 9 Variación Porcentual PM – DRMH

D.M.S. (PROCTOR MODIFICADO)	D.M.S. (DENSIDAD RELATIVA METODO HUMEDO)	VARIACIÓN PORCENTUAL
1.29	2.13	39.44%
1.20	2.11	43.13%
1.34	2.25	40.44%
1.33	2.18	38.99%

Fuente: Elaboración propia

En esta variación entre el Proctor Modificado y la Densidad Relativa Método Húmedo, se puede reafirmar que el ensayo de Densidad relativa otorga un resultado con una densidad máxima superior con respecto a otros ensayos, variando entre un 38.99% a 43.13%, el rango de variación porcentual es mínimo, ya que son material de préstamo.

*Tabla 8. 10 Variación Porcentual DRMS – DRMH*

DENSIDAD MAXIMA (METODO SECO)	DENSIDAD MAXIMA (METODO HUMEDO)	VARIACIÓN PORCENTUAL
1.98	2.13	7.04%
1.99	2.11	5.69%
2.09	2.25	7.11%
1.91	2.18	12.39%

*Fuente: Elaboración propia*

Como se aprecia en el cuadro superior la diferencia porcentual entre el método seco y método húmedo por medio de la mesa vibratoria va desde 5.69% al 12.39%, lo cual fundamenta y asevera que el agua ayuda a tener mayor densidad en los suelos.

#### 8.4. Interpretación final

En los resultados obtenidos a lo largo de los ensayos se puede aseverar que la densidad máxima seca más alta resulta del ensayo de Densidad Relativa (Método Húmedo), en comparación con la densidad máxima seca obtenida por el ensayo de Proctor Modificado.

Cabe mencionar que a través de todos los ensayos realizados se pudo notar que la clasificación de los suelos, la energía específica de compactación y el contenido de agua son los factores fundamentales que contribuyen a obtener una densidad seca máxima.

A continuación, mostraremos las tablas con los resultados finales, en donde se analizará la relación entre la densidad máxima seca obtenidas por los ensayos de Proctor modificado y Densidad Relativa.

*Tabla 8. 11 Cuadro comparativo D.S.M.(M.P.)*

<b>MATERIAL PROPIO</b>			
	DENDIAD SECA MAXIMA (P.M.) (KG/CM3)	DENDIAD SECA MAXIMA (D.R.) (KG/CM3)	VARIACIÓN PORCENTUAL
CALICATA N°1	1.88	2.06	8.88%
CALICATA N°2	1.51	1.80	16.09%
CALICATA N°3	1.97	2.11	6.61%
CALICATA N°4	2.01	2.07	2.81%
CALICATA N°5	1.68	2.02	16.44%
CALICATA N°6	2.04	2.27	9.85%

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 8.11 se muestra la densidad máxima seca que se obtuvo de la extracción del material propio, se observa que la variación porcentual entre los ensayos de Proctor modificado y Densidad Relativa por medio de una mesa vibratoria tiene un rango amplio alrededor que varía del 2.81% al 16.44%, esto amerita a que las calicatas fueron extraídas de diferentes zonas.

En las calicatas N°1, N°3 y N°6, la variación porcentual entre las mismas es del orden de 3.20% siendo un porcentaje de baja variabilidad, esto merece a que sus fracciones de grava, arena y finos son similares.

En las calicatas N°2 y N°5, la variación es mucho más amplia debido específicamente a su disposición granular siendo totalmente irregular.

En la calicata N°4, la variación entre los ensayos es 2.81%, esto se debe a la regularidad en su fraccionamiento.

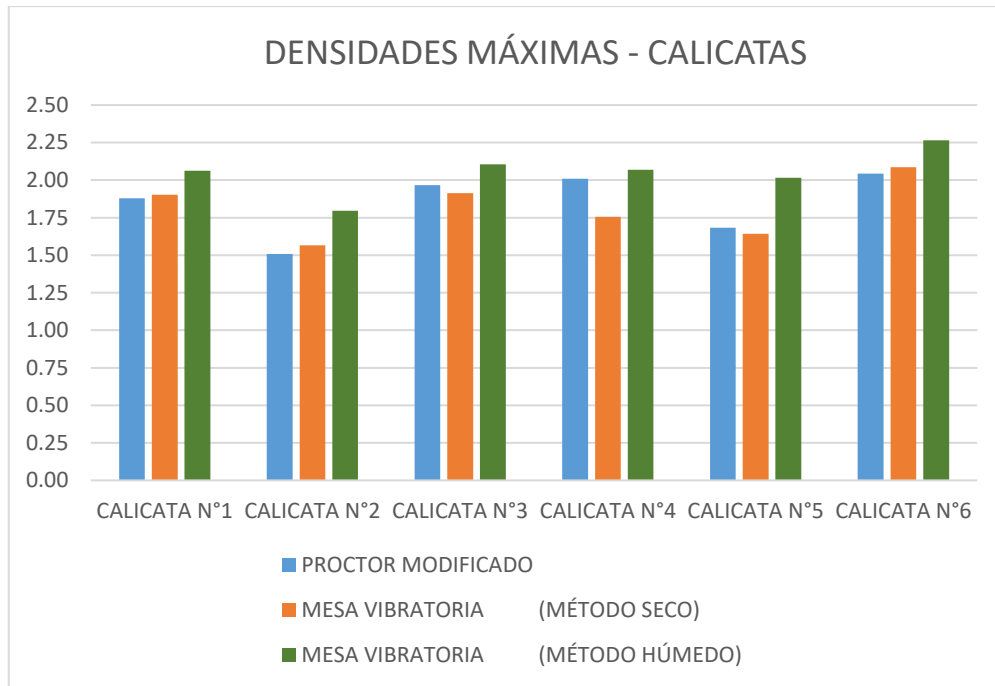
*Tabla 8. 12 Cuadro comparativo D.S.M.(M.P.)*

<b>MATERIAL DE PRESTAMO</b>			
	DENDIAD SECA MAXIMA (P.M.) (KG/CM3)	DENDIAD SECA MAXIMA (D.R) (KG/CM3)	VARIACIÓN PORCENTUAL
AZUFRAL	1.29	2.13	39.44%
AGREGADOS ALVAREZ	1.20	2.11	43.13%
LOS PORTALES	1.34	2.25	40.44%
ALTO MISTI	1.33	2.18	38.99%

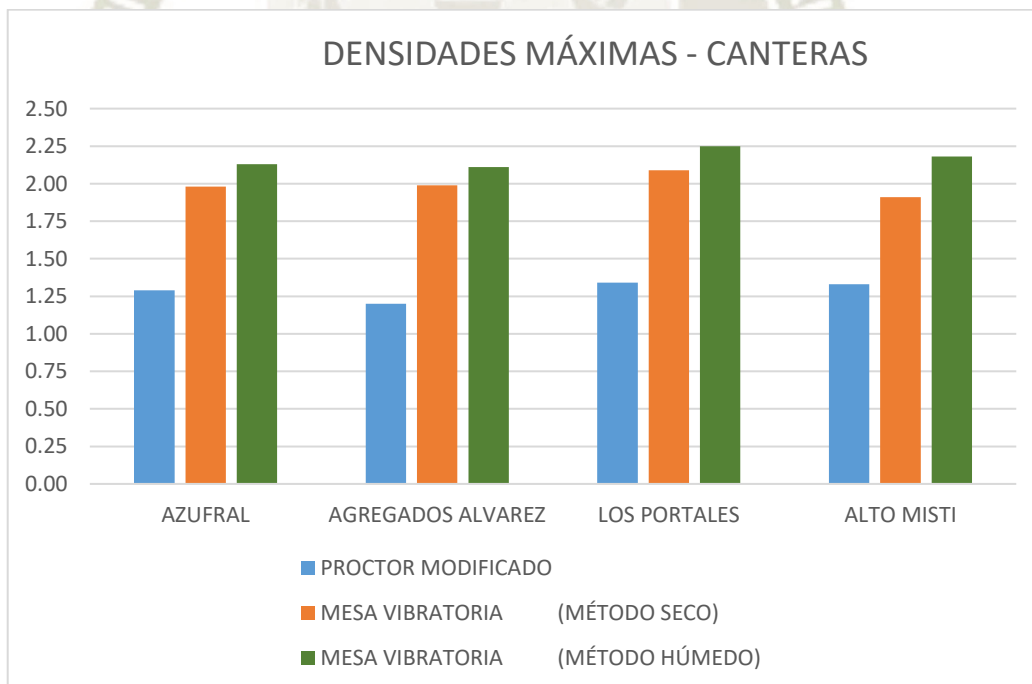
*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla anterior se muestra la densidad seca máxima obtenida del material de préstamo, en este cuadro resumen se puede observar que los resultados obtenidos entre el ensayo de Proctor Modificado y Densidad Relativa por medio de mesa vibratoria varían en un 40.50% en promedio a favor de la mesa vibratoria, sin embargo el rango de variación entre las muestras extraídas es de 4.12%, esto se debe a que su disposición granular es regular y similar, ya que este es un material de préstamo que se usa para rellenos.

Tomando en cuenta lo expresado por el LNV (Laboratorio Nacional de Vialidad) acerca de los porcentajes de correlación, siendo estos 80% Densidad Relativa equivale a 95% Proctor Modificado. Se experimentó en 6 calicatas en diferentes zonas y de 4 canteras en la ciudad de Arequipa, por lo tanto, después de realizar los ensayos pertinentes, se menciona que esta correlación no es exacta, sino que tiene un rango el cual varía según de las proporciones de grava, arena y finos; dicha correlación porcentual entre densidades se puede llegar a establecer, siempre y cuando se realice un mayor número de ensayos del mismo tipo suelo, por cada zona.



*Fuente: Elaboración propia*



*Fuente: Elaboración propia*



## CAPÍTULO IX

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9.1. Conclusiones

1. Los resultados dan a conocer que las densidades máximas obtenidas por medio del método de compactación por vibración (Densidad Relativa) son generalmente mayores con respecto a la compactación por impacto (Proctor Modificado)
2. La relación entre los ensayos de Proctor Modificado y la Mesa de Densidad Relativa, se puede determinar para cada tipo de gradación, el cual estará establecido en un rango porcentual debido a que el suelo es un elemento muy variable.
3. Para obtener una óptima compactación del suelo debemos tener en cuenta de no saturarlo, ya que el mismo no compactaría porque el agua absorbería cualquier tipo de energía, caso opuesto sucede si el suelo se encontraría en estado seco, la compactación no sería eficiente porque no existiría ningún “lubricante” que ayude a la misma.
4. Los factores más importantes que intervienen en una óptima compactación son, la clasificación del suelo, la energía específica de compactación y el contenido óptimo de humedad.
5. Los ensayos de Proctor Modificado son los más utilizados por ser de mayor factibilidad en los laboratorios, el cual nos otorga un resultado final óptimo de compactación para la gran variedad de tipos de suelo entre los cohesivos y no cohesivos.
6. La compactación por vibración en suelos granulares es la más óptima que la compactación por impacto, caso inverso sucede con los suelos que contienen mayor cantidad de finos.
7. Con los ensayos realizados se puede corroborar que la densidad natural siempre oscilará entre la densidad mínima y la densidad máxima, y se apegará a una de estas dependiendo su gradación.

8. Mediante ensayo de Proctor modificado, la densidad máxima seca del material propio:

- Calicata N°1 es 1.88 kg/cm<sup>3</sup>
- Calicata N°2 es 1.51 kg/cm<sup>3</sup>
- Calicata N°3 es 1.97 kg/cm<sup>3</sup>
- Calicata N°4 es 2.01 kg/cm<sup>3</sup>
- Calicata N°5 es 1.68 kg/cm<sup>3</sup>
- Calicata N°6 es 2.04 kg/cm<sup>3</sup>

9. Tomando como base el ensayo de Densidad Relativa por medio de la mesa vibratoria, tenemos la densidad máxima seca para el material Propio:

- Calicata N°1 es 2.06 kg/cm<sup>3</sup>
- Calicata N°2 es 1.80 kg/cm<sup>3</sup>
- Calicata N°3 es 2.11 kg/cm<sup>3</sup>
- Calicata N°4 es 2.07 kg/cm<sup>3</sup>
- Calicata N°5 es 2.02 kg/cm<sup>3</sup>
- Calicata N°6 es 2.27 kg/cm<sup>3</sup>

10. Mediante el ensayo de Proctor modificado, la densidad máxima seca del material préstamo:

- Cantera N°1 es 1.29 kg/cm<sup>3</sup>
- Cantera N°2 es 1.20 kg/cm<sup>3</sup>
- Cantera N°3 es 1.34 kg/cm<sup>3</sup>
- Cantera N°4 es 1.33 kg/cm<sup>3</sup>

11. Tomando como base el ensayo de Densidad Relativa por medio de la mesa vibratoria, tenemos la densidad máxima seca para el material de Préstamo:

- Cantera N°1 es  $2.13 \text{ kg/cm}^3$
- Cantera N°2 es  $2.11 \text{ kg/cm}^3$
- Cantera N°3 es  $2.25 \text{ kg/cm}^3$
- Cantera N°4 es  $2.18 \text{ kg/cm}^3$



## 9.2. Recomendaciones

1. Para poder extraer muestra de algún tipo suelo se debe observar que este no haya sido alterado, ya que esto podría variar resultados de forma directa.
2. Tomar en cuenta el tipo de suelo para los ensayos a realizar, en algunos casos deben ser no cohesivos y tener propiedades drenantes como lo fue en la presente investigación.
3. Realizar el cuarteo previo ya que siempre existe la posibilidad de la sedimentación al momento de transportarlo al laboratorio y esto generaría cambios en los resultados de la misma muestra.
4. Para el ensayo de Proctor Modificado y la Densidad Relativa, debemos utilizar una sola muestra por cada porcentaje de agua y después desecharla, ya que en ambos casos las energías destruyen las partículas más débiles y por consiguiente cambia su gradación.
5. Realizar varios especímenes por cada ensayo para lograr un cuadro estadístico y validar resultados coherentes y que estos no varíen en un más del 2% como lo indica la NTP.
6. Para todos los ensayos verificar la operatividad al 100% de los equipos e instrumentos a utilizar, también tener en cuenta los elementos de seguridad apropiados.
7. Se debe seguir lo establecido en las normas para tener resultados correctos y no modificarlos ya que los mismos se usan para la construcción de cualquier tipo de obra.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASEFMA . (2011). *Estudio Comparativo de la metodología de compactación*.
- Badillo, J. (2001). *Mecánica de Suelos*. 3ra. Ed., Limusa.
- Behavior of an Unbound granular material in cyclic Triaxial tests with constant and variable confining pressure. (2008). *Ingeniare de Chile*, 16.
- Bowles, J. (2015). *Manual de Laboratorio de Suelos en la Ingeniería Civil*. Mc. Graw-Hill Latinoamericana.
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. McGraw-Hill Book Company.
- Braja M. Das. (2012). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. 7ma Edición, Cengage Learning.
- Cárdenas Piucol, A., & Donoso Montero, A. (2008). *Proposición de una Metodología Particular para obtener la capacidad de soporte para suelos granulares sin curva de Proctor definida*.
- Carruyo, P., & Villalobos, J. (2009). *Estudio comparativo entre el método de Proctor modificado y la metodología Ramcodes en suelos cohesivos*. Maracaibo.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Thomson Learning.
- Das, B. M. (2001). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*. International Thomson Editores.
- Goodman. (1993). *Engineering Geology : Rock in Engineering Construction*. Wiley.
- Goodman, R. (1989). *Introduction to Rock Mechanics*. 2da Ed., Wiley.
- Head, K. H. (1980). *Manual of Soil Laboratory Testing*. Volume 1, 2 Pentech Press London: Plymout.
- INACAL. (2001). *Norma Técnica Peruana (NTP)*.
- Jiménez Salas. (1992). *Geotecnia y Cimientos*. 2da. Ed., Rueda.
- Laboratorio Nacional de Vialidad LNV. (2015). *Ministerio de Obras Públicas de Chile*.
- Lambe. (1972). *Mecánica de suelos*. Limusa.
- Ministerio de Obras Publicas de Chile . (2016). *Laboratorio Nacional de Vialidad*.

Norma C.E. 010 Pavimentos Urbanos. (2010). *Técnicas De Investigación De Campo, Ensayos De Laboratorio, Requisitos De Los Materiales Y Pruebas De Control.*

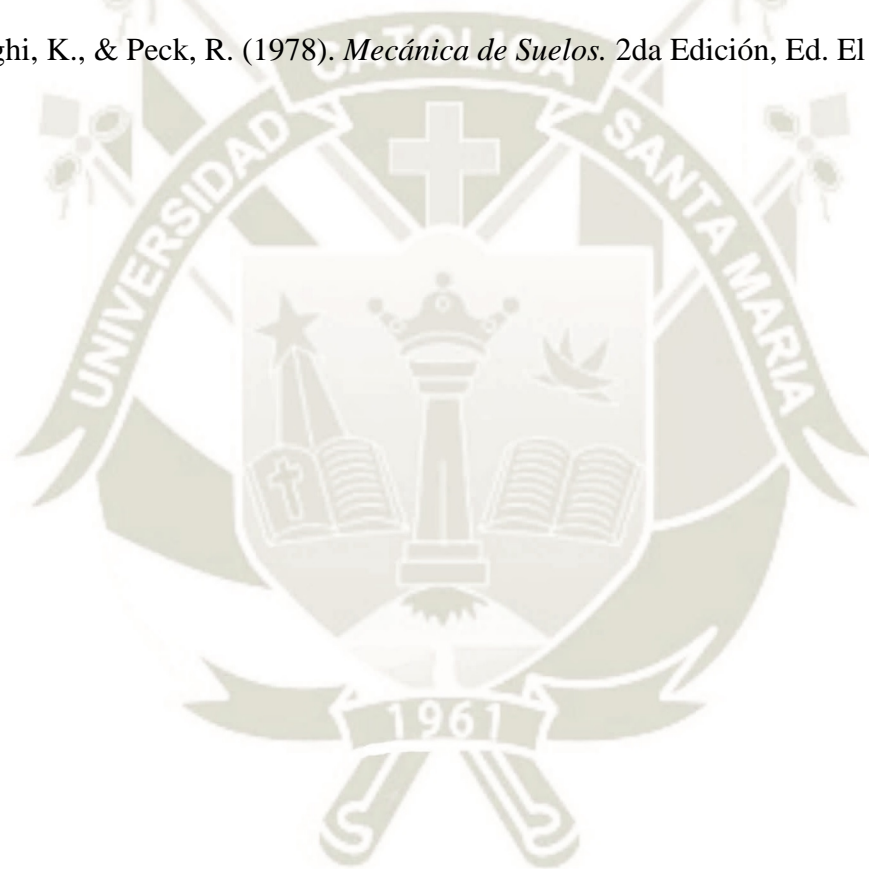
Norma de Chile. (2014). *Manual de Carreteras, Especificaciones y métodos de muestreo, ensayo y control.*

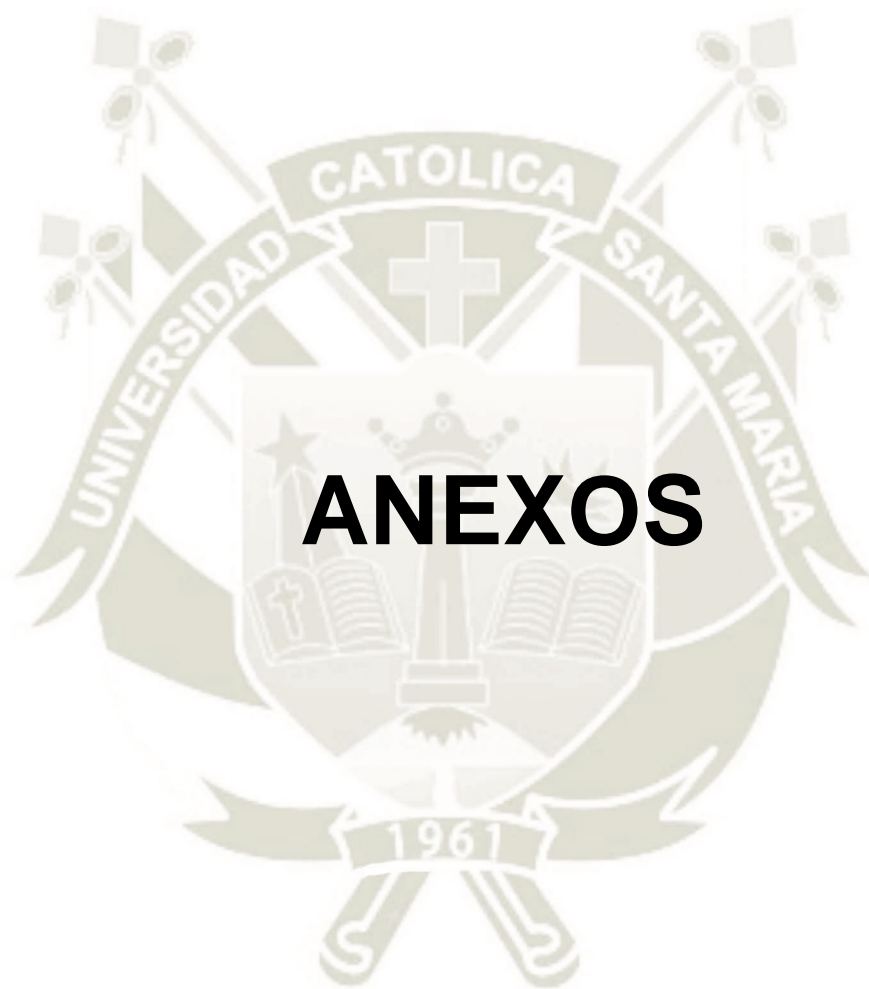
Ortiz Naranjo, L. Á., & Bastidas Garzó, A. E. (2013). *Estudio Del Fenómeno Del Crushing En El Ensayo De Compactación De Un Proctor Normal.*

Powrie. (2004). *Soil Mechanics, Concepts & Applications.* 2da. Ed., Spon Press.

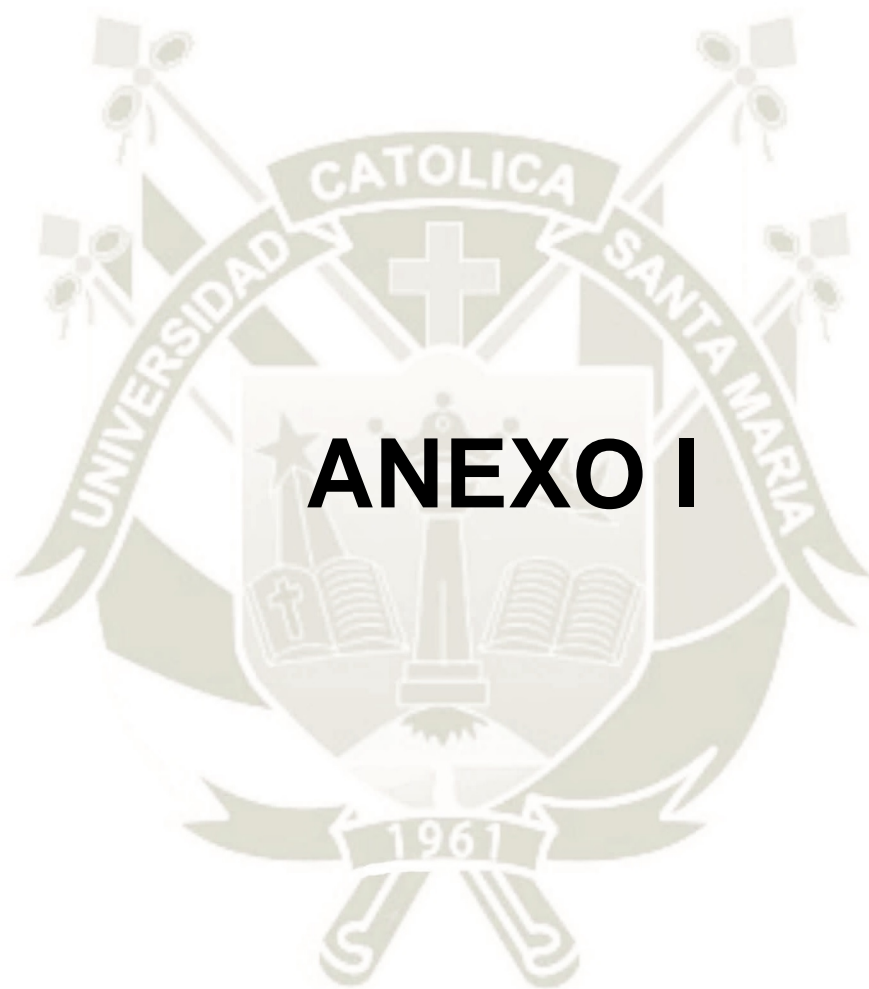
Sowers, G. B. (1972). *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones.* Limusa.

Terzaghi, K., & Peck, R. (1978). *Mecánica de Suelos.* 2da Edición, Ed. El Ateneo.





# ANEXOS



## MAPAS REFERENCIALES

Figura A1.1 Mapa Geomorfológico de la ciudad de Arequipa (Ing. Calixto Yanqui, 1990)

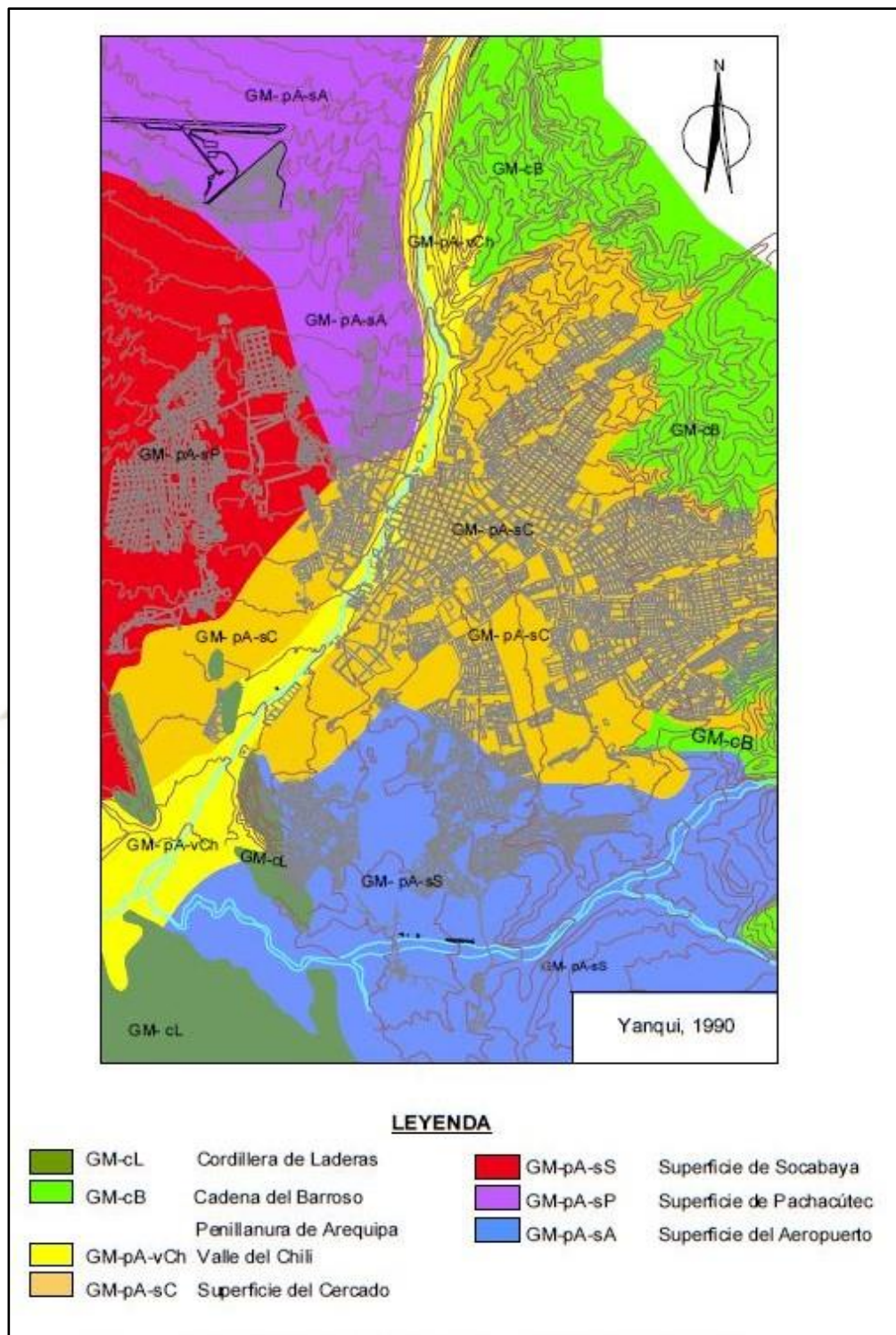


Figura A1.2 Mapa Geológico de la ciudad de Arequipa (Ing. Calixto Yanqui, 1990)

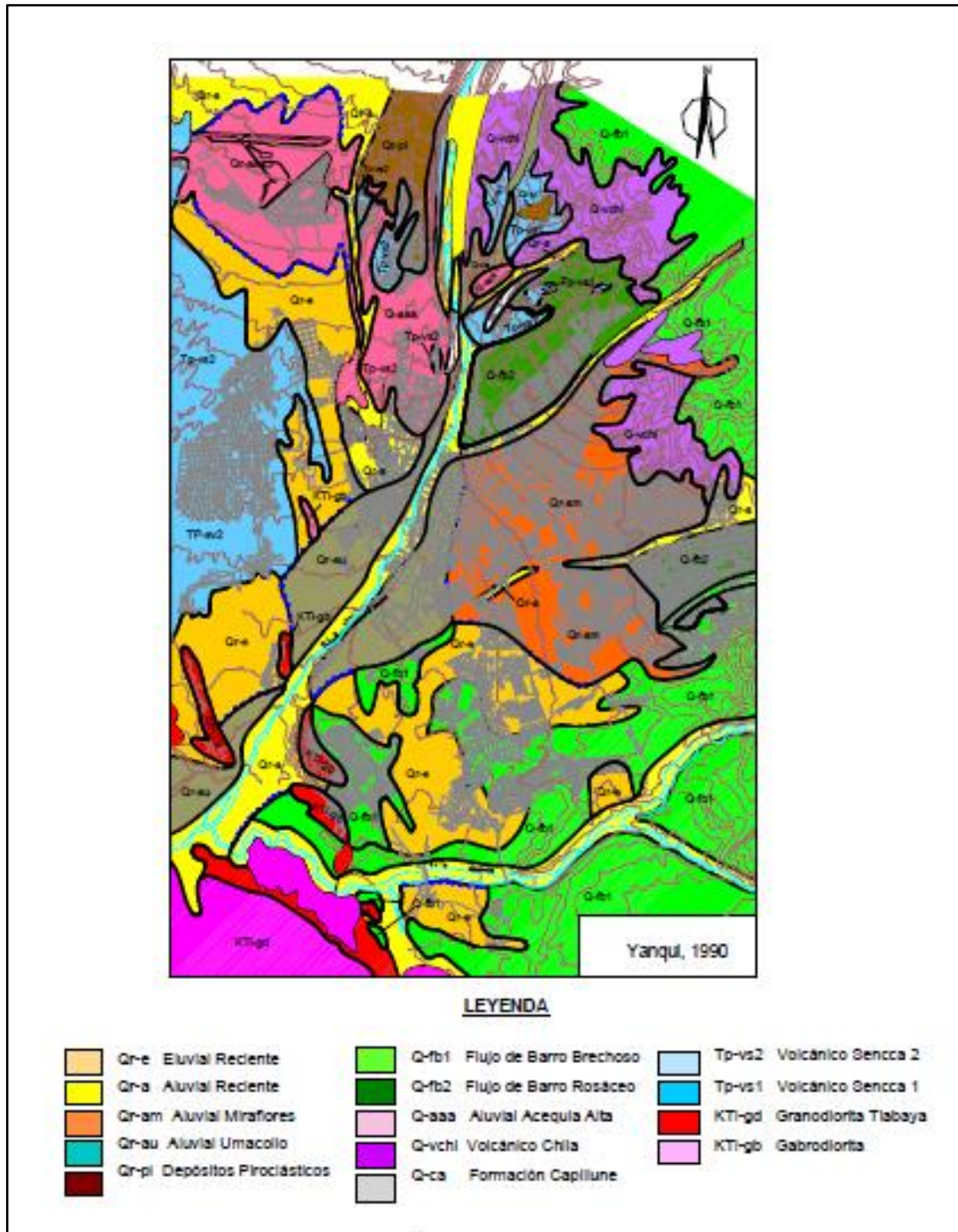
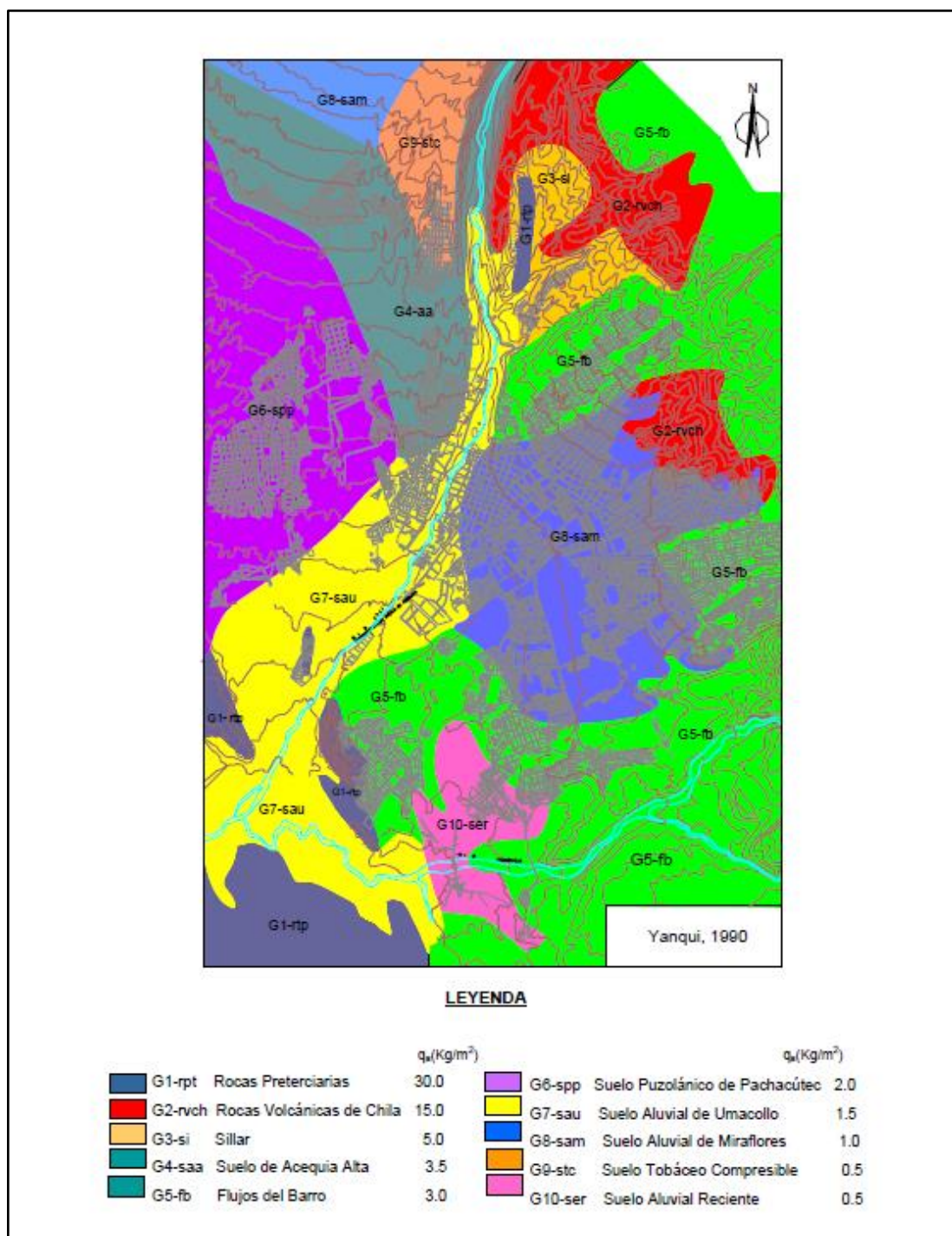
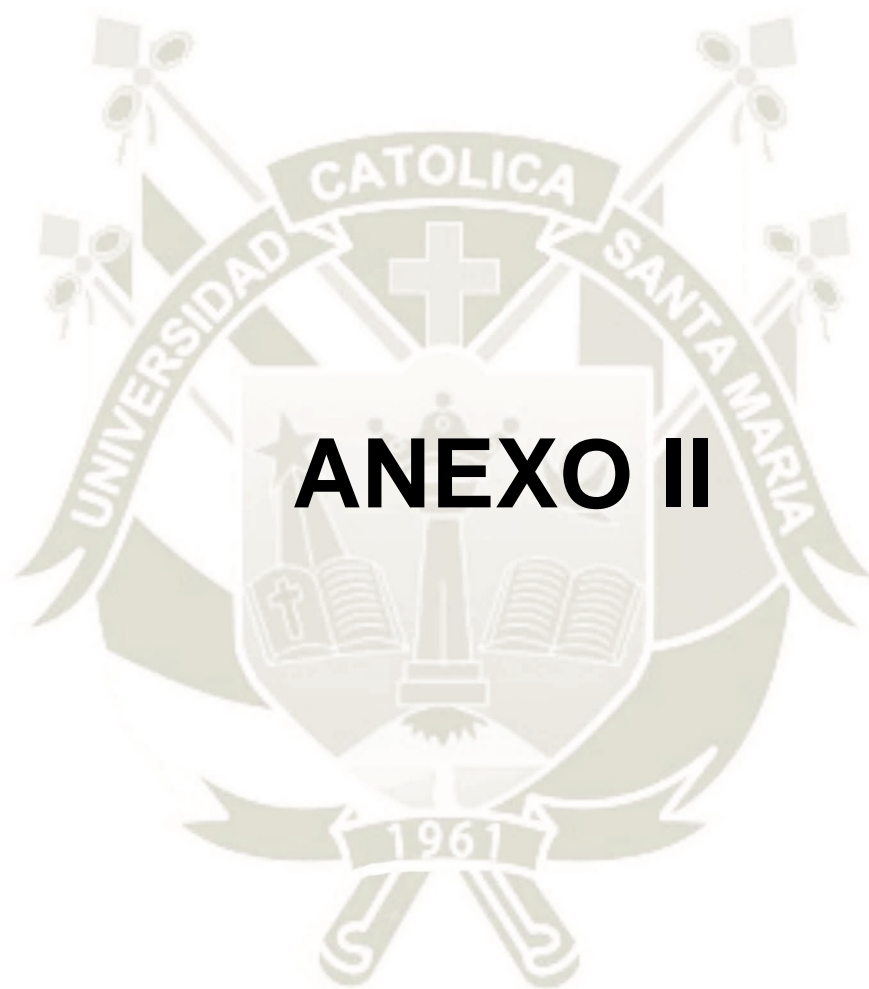


Figura A1.3 Mapa Geotécnico de la ciudad de Arequipa (Ing. Calixto Yanqui, 1990)





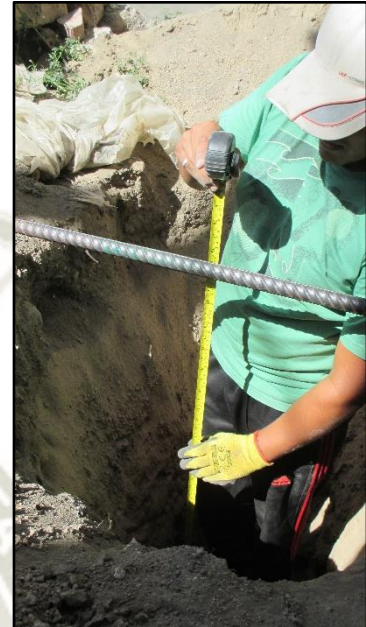
# ANEXO II

## EXTRACCIÓN DE MUESTRAS MATERIAL PROPIO

### ACEQUI ALTA



FOTOGRAFIA AII.1  
EXCAVACIÓN DE CALICATA



FOTOGRAFIA AII.2  
MEDICIÓN DE LA PROFUNDIDAD  
DE LA CALICATA

### PACHACUTEC



FOTOGRAFIA AII.3  
EXCAVACIÓN DE  
LA CALICATA

FOTOGRAFIA AII.4  
DENSIDAD DE CAMPO Y  
EXTRACCIÓN DE MUESTRA  
PARA CONTENIDO DE HUMEDAD



## MIRAFLORES



FOTOGRAFIA AII.5  
EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

FOTOGRAFIA AII.6  
MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD



## YANAHUARA



FOTOGRAFIA AII.7  
EXCAVACIÓN DE CALICATA



FOTOGRAFIA AII.8  
CALICATA

## SOCABAYA



FOTOGRAFIA AII.9  
RECOPIACIÓN DE DATOS

FOTOGRAFIA AII.10  
ENSAYO DE DENSIDAD  
NATURAL



## PAUCARPATA



FOTOGRAFIA AII.11  
ROTULACIÓN  
DELMUESTREO

FOTOGRAFIA AII.12  
EXCAVACIÓN DE  
CALICATA



## **EXTRACCIÓN DE MUESTRAS** **MATERIAL PRESTAMO**

### **CANTERA EL AZUFRAL**



FOTOGRAFIA AII.13  
EXTRACCIÓN DE  
MUESTRAS

### **CANTERA AGREGADOS ALVAREZ**

FOTOGRAFIA AII.14  
EXTRACCIÓN DE  
MUESTRAS



## CANTERA LOS PORTALES

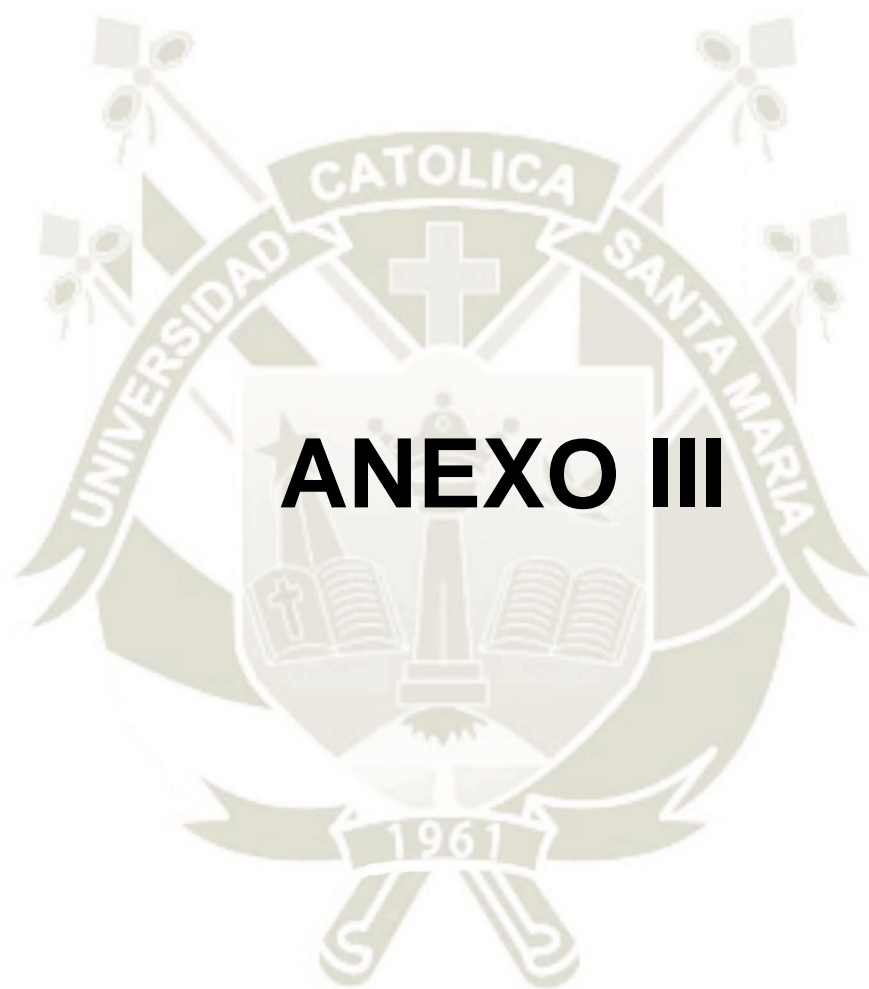


FOTOGRAFIA AII.15  
EXTRACCIÓN DE  
MUESTRAS

## CANTERA ALTO MISTI

FOTOGRAFIA AII.16  
EXTRACCIÓN DE  
MUESTRAS





# ANEXO III

## CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS Y AASHTO

### SISTEMA AASHTO

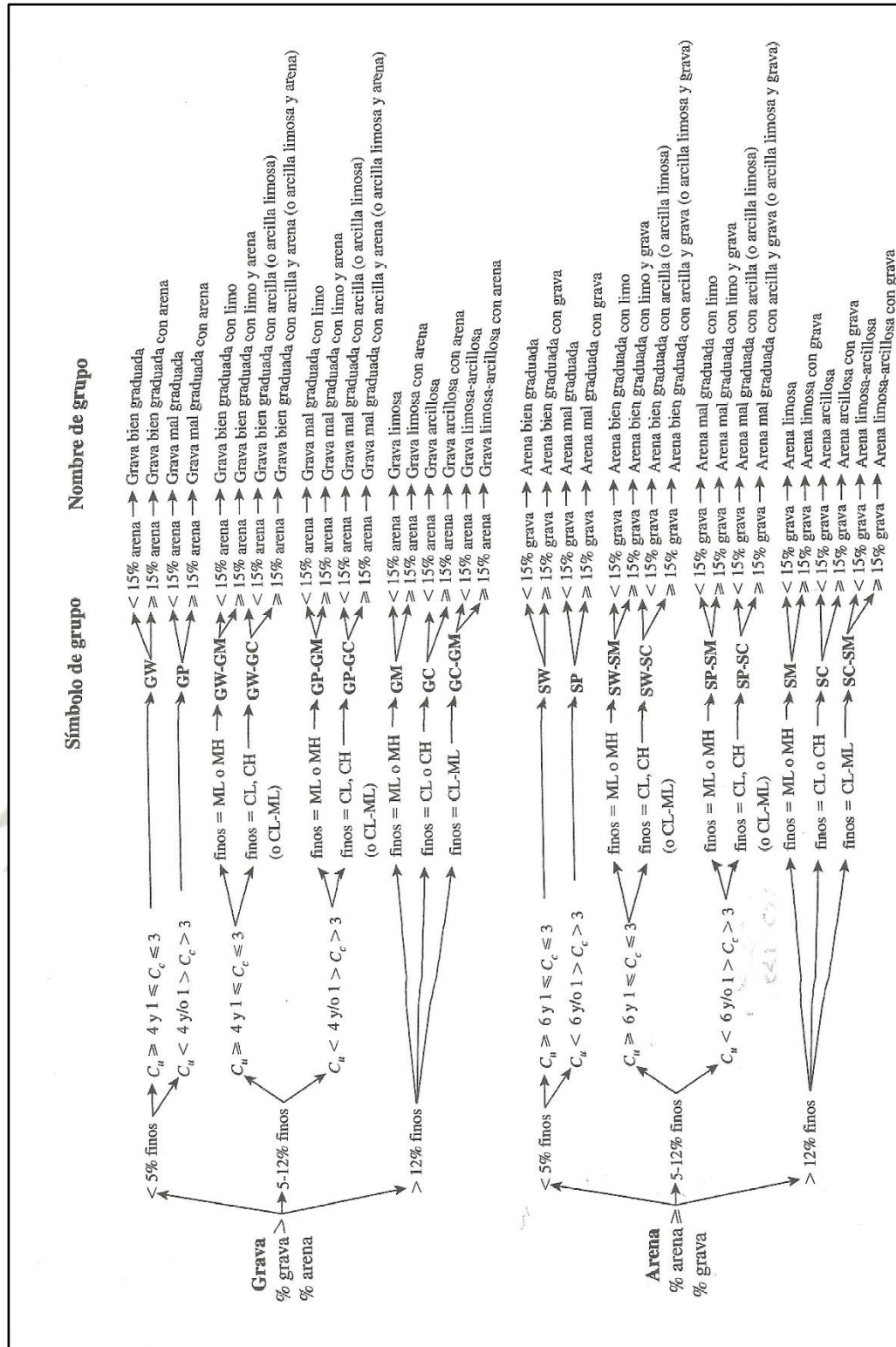
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-1			A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)							
No. 10	50 máx.						
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa la malla No. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de los subrasantes							
De excelente a bueno							
Clasificación general	Materiales limo-arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†			
Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas)							
No. 10							
No. 40							
No. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.			
Características de la fracción que pasa por la malla No. 40							
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.			
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.			
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Suelos limosos		Suelos arcillosos				
Tasa general de los sobrantes							
De mediano a pobre							
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$							
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$							

Fuente: *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, Braja M. Das (Séptima Edición, 2012)

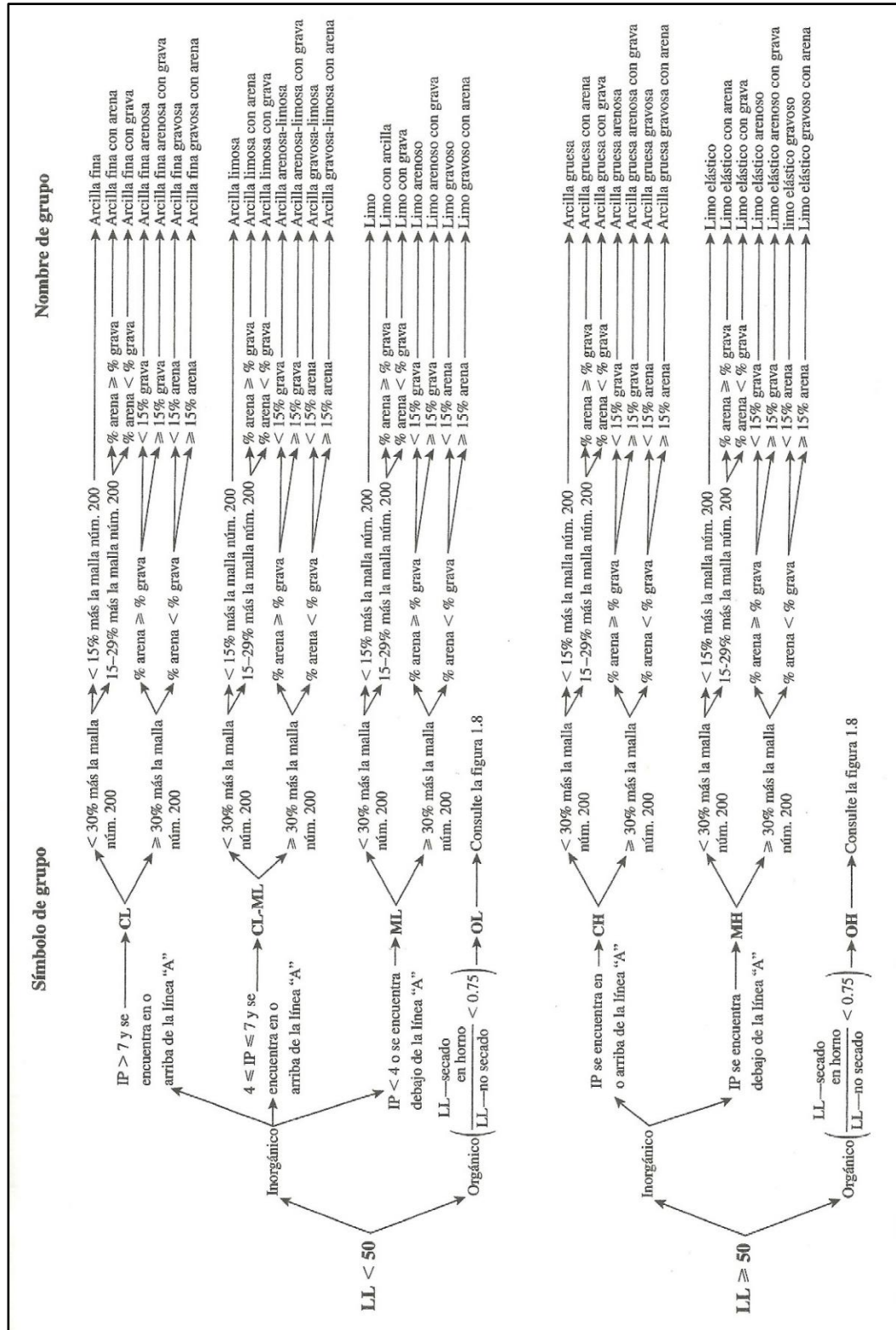
# SISTEMA SUCS

Criterios para asignar símbolos y nombres de grupo utilizando pruebas de laboratorio <sup>a</sup>		Símbolo de grupo	Clasificación del suelo	Nombre de grupo <sup>b</sup>
<b>Suelos de grano grueso</b> Más de 50% retenido en la malla núm. 200	Gravas Más de 50% de la fracción gruesa retenida en la malla núm. 4			
	Gravas limpias Menos de 5% finos <sup>c</sup>	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$ <sup>e</sup>	GW	Grava bien graduada <sup>f</sup>
	Gravas con finos Más de 12% finos <sup>c</sup>	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$ <sup>e</sup>	GP	Grava mal graduada <sup>f</sup>
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla núm. 4	Los finos se clasifican como ML o MH Los finos se clasifican como CL o CH	GM	Grava limosa <sup>g,h</sup>
<b>Suelos de grano fino</b> 50% o más pasa la malla núm. 200	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla núm. 4	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$ <sup>e</sup> $C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$ <sup>e</sup>	SW	Arena bien graduada <sup>f</sup>
	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Los finos se clasifican como ML o MH Los finos se clasifican como CL o CH	SP	Arena mal graduada <sup>f</sup>
		IP $> 7$ y se encuentra en o arriba de la línea "A" <sup>g</sup>	SM	Arena limosa <sup>g,h,i</sup>
		IP $< 4$ o se encuentra debajo de la línea "A" <sup>g</sup>	SC	Arena arcillosa <sup>g,h,i</sup>
<b>Suelos altamente orgánicos</b>	Inorgánicos	IP $> 7$ y se encuentra en o arriba de la línea "A" <sup>g</sup> IP $< 4$ o se encuentra debajo de la línea "A" <sup>g</sup>	CL	Arcilla de baja compresibilidad <sup>k,l,m</sup>
	Orgánicos	Límite líquido—secado en horno $< 0.75$ Límite líquido—no secado $< 0.75$	ML	Limo de baja compresibilidad <sup>k,l,m</sup>
		IP se encuentra en o arriba de la línea "A" <sup>g</sup>	OL	Arcilla orgánica <sup>k,l,m,n</sup>
		IP se encuentra debajo de la línea "A" <sup>g</sup>	CH	Limo orgánico <sup>k,l,m,o</sup>
<b>Suelos altamente orgánicos</b>	Inorgánicos	IP se encuentra en o arriba de la línea "A" <sup>g</sup>	MH	Arcilla de alta compresibilidad <sup>k,l,m,n</sup>
	Orgánicos	Límite líquido—secado en horno $< 0.75$ Límite líquido—no secado $< 0.75$	OH	Limo de alta compresibilidad <sup>k,l,m,n</sup>
		Principalmente materia orgánica, de color oscuro y olor orgánico	PT	Turba
		$C_u = D_{60}/D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ Si el suelo contiene $\geq 15\%$ de arena, agregue "con arena" al nombre de grupo. Si los finos se clasifican como CL-ML, utilice el símbolo doble GC-GM o SC-SM. Si los finos son orgánicos, agregue "con finos orgánicos" al nombre de grupo. Si el suelo contiene $\geq 15\%$ de grava, agregue "con grava" al nombre de grupo. Si los límites de Atterberg se encuentran en el área sombreada, el suelo es una arcilla limosa, CL-ML.		

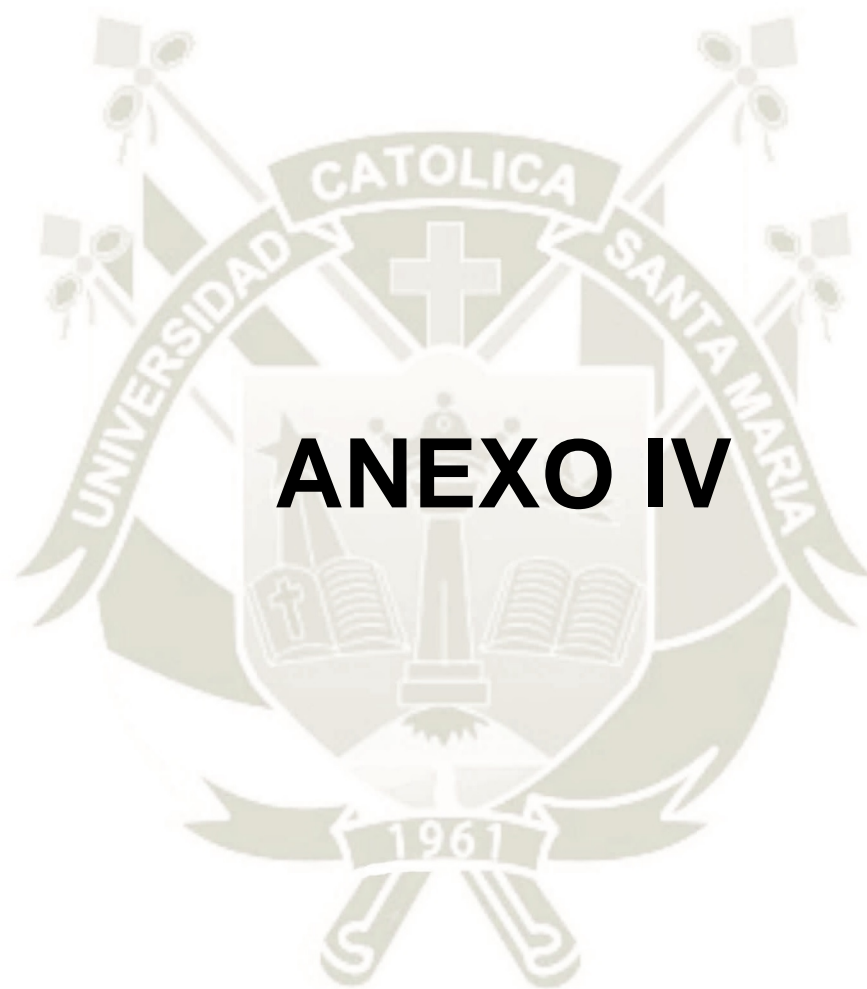
Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja M. Das (Séptima Edición, 2012)



Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja M. Das (Séptima Edición, 2012)



Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja M. Das (Séptima Edición, 2012)



# ANEXO IV

## CALCULOS COMPLEMENTARIOS

### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

MOLDE DE PROCTOR		
DIAMETRO (pulg)	4"	6"
DIAMETRO (cm)	10.16	15.28
ALTO (cm)	11.55	11.55
VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	936.37	2117.90
PESO (gr)	3453.50	6817.00

PROCTOR MODIFICADO		
DIAMETRO (pulg)	4"	6"
N° DE CAPAS	5	5
N° DE GOLPES	25	56
PESO DE MARTILLO (gr)	4540.00	4540.00

### ENSAYO DE MESA DE DENSIDAD RELATIVA

MOLDES PARA LA MESA DENSIDAD RELATIVA		
DIAMETRO (cm)	15.23	27.83
ALTO (cm)	15.47	23.00
VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	2818.17	13988.33
PESO (gr)	3563.50	9489.00

### LECTURAS DE ALTURAS DE ASENTAMIENTO DE MATERIAL PROPIO ACEQUIA ALTA

LECTURAS DEL DIAL - METODO SECO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPESOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	2.70	1.50	1.20	0.20	1.40	1.20	2.60
N°2	2.40	2.05	2.10	2.30	2.21	1.20	3.41
N°3	2.70	2.20	2.15	1.65	2.18	1.20	3.38

LECTURAS DEL DIAL - METODO HUMEDO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPESOR DE	ALTURA TOTAL

						PLACA BASE	
N°1	1.90	1.60	1.85	1.85	1.80	1.20	3.00
N°2	1.90	1.60	2.25	1.85	1.90	1.20	3.10
N°3	1.95	1.85	1.85	1.80	1.86	1.20	3.06

### PACHACUTEC

LECTURAS DEL DIAL - METODO SECO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPEJOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	2.15	2.05	2.05	2.05	2.08	1.20	3.28
N°2	2.25	2.20	2.18	2.20	2.21	1.20	3.41
N°3	2.10	2.20	2.10	2.20	2.15	1.20	3.35

LECTURAS DEL DIAL - METODO HUMEDO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPEJOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	2.30	2.30	1.90	1.80	2.08	1.20	3.28
N°2	1.90	2.15	1.95	2.15	2.04	1.20	3.24
N°3	2.05	2.00	2.05	2.10	2.05	1.20	3.25

### MIRAFLORES

LECTURAS DEL DIAL - METODO SECO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPEJOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	1.50	1.70	1.50	1.50	1.55	1.20	2.75
N°2	1.50	1.35	1.35	1.40	1.40	1.20	2.60
N°3	1.55	1.55	1.50	1.45	1.51	1.20	2.71

LECTURAS DEL DIAL - METODO HUMEDO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPEJOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	1.90	1.85	1.80	1.85	1.85	1.20	3.05
N°2	1.95	1.85	2.10	2.00	1.98	1.20	3.18
N°3	1.90	1.90	1.95	1.85	1.90	1.20	3.10

## YANAHUARA

LECTURAS DEL DIAL - METODO SECO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPEJOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	1.50	1.60	1.60	1.70	1.60	1.20	2.80
N°2	1.60	1.40	1.15	1.30	1.36	1.20	2.56
N°3	1.55	1.50	1.38	1.50	1.48	1.20	2.68

LECTURAS DEL DIAL - METODO HUMEDO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPEJOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	1.60	1.60	1.80	1.90	1.73	1.20	2.93
N°2	1.60	1.90	2.40	2.00	1.98	1.20	3.18
N°3	1.75	1.70	1.80	1.65	1.73	1.20	2.93

## SOCABAYA

LECTURAS DEL DIAL - METODO SECO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPEJOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	4.00	3.85	4.00	4.15	4.00	1.20	5.20
N°2	3.30	3.30	3.95	4.00	3.64	1.20	4.84
N°3	4.00	4.00	3.60	3.70	3.83	1.20	5.03

LECTURAS DEL DIAL METODO HUMEDO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPEJOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	4.50	4.50	4.50	4.60	4.53	1.20	5.73
N°2	4.40	4.00	3.40	3.90	3.93	1.20	5.13
N°3	4.20	4.30	4.50	4.30	4.33	1.20	5.53

**PAUCARPATA**

<b>LECTURAS DEL DIAL - METODO SECO</b>							
MUESTR A	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDI O	ESPE SO R DE PLACA BASE	ALTUR A TOTAL
N°1	1.20	1.20	0.90	0.90	1.05	1.20	2.25
N°2	1.25	0.70	1.00	1.60	1.14	1.20	2.34
N°3	0.95	1.25	1.00	1.00	1.05	1.20	2.25

<b>LECTURAS DEL DIAL - METODO HUMEDO</b>							
MUESTR A	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDI O	ESPE SO R DE PLACA BASE	ALTUR A TOTAL
N°1	1.05	1.15	1.00	1.10	1.08	1.20	2.28
N°2	1.30	1.30	1.20	1.20	1.25	1.20	2.45
N°3	1.20	1.20	1.30	1.15	1.21	1.20	2.41

**LECTURAS DE ALTURAS DE ASENTAMIENTO DE MATERIAL DE  
PRESTAMO  
AZUFRAL**

<b>LECTURAS DEL DIAL - METODO SECO</b>							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPE SOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	1.55	2.00	1.60	1.80	1.74	1.20	2.94
N°2	1.60	1.80	1.80	1.70	1.73	1.20	2.93
N°3	1.70	1.60	1.60	1.70	1.65	1.20	2.85

<b>LECTURAS DEL DIAL - METODO HUMEDO</b>							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPE SOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	2.00	1.80	2.00	2.00	1.95	1.20	3.15
N°2	1.90	1.90	2.00	1.80	1.90	1.20	3.10
N°3	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.20	3.10

### AGREGADOS ALVAREZ

LECTURAS DEL DIAL - METODO SECO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPEJOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	1.80	2.20	2.00	2.00	2.00	1.20	3.20
N°2	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.20	3.20
N°3	2.10	2.00	1.90	2.00	2.00	1.20	3.20

LECTURAS DEL DIAL - METODO HUMEDO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPEJOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	2.00	2.01	2.00	1.99	2.00	1.20	3.20
N°2	1.90	2.00	2.00	1.90	1.95	1.20	3.15
N°3	2.00	2.00	1.80	1.80	1.90	1.20	3.10

### LOS PORTALES

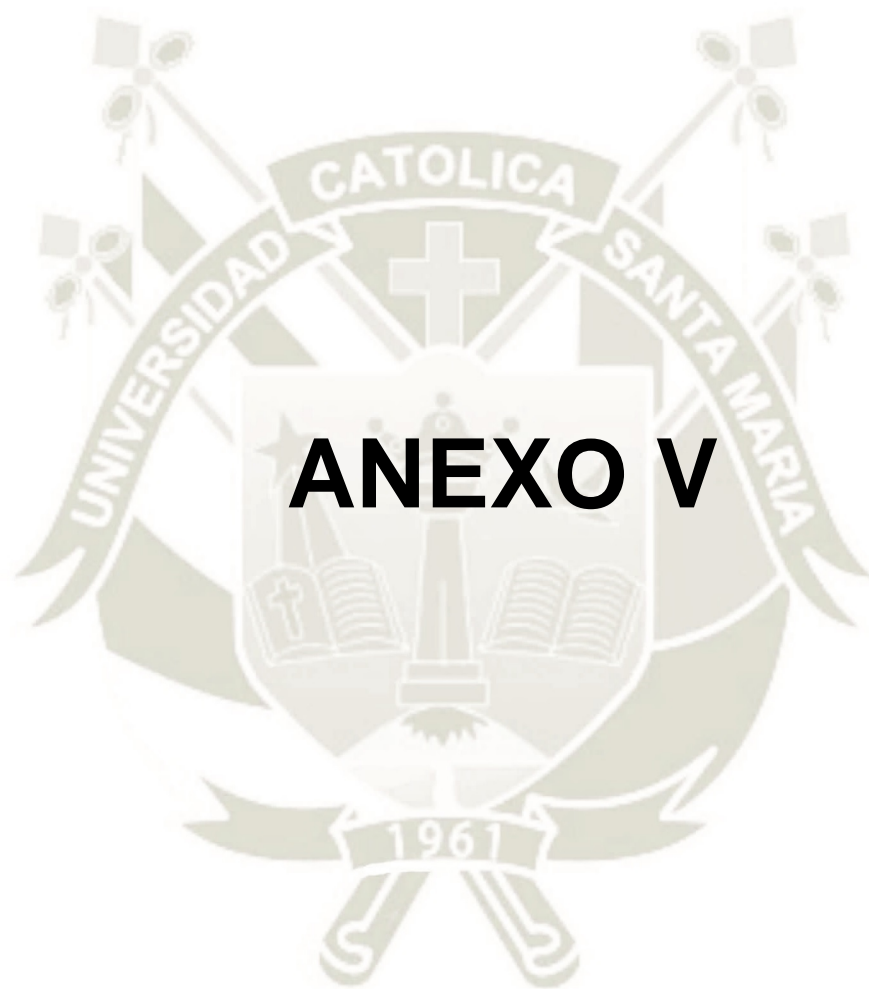
LECTURAS DEL DIAL - METODO SECO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPEJOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	2.40	2.50	2.20	2.40	2.38	1.20	3.58
N°2	2.00	2.10	2.30	2.15	2.14	1.20	3.34
N°3	2.20	2.20	2.00	2.05	2.11	1.20	3.31

LECTURAS DEL DIAL - METODO HUMEDO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPEJOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	2.50	2.50	2.45	2.40	2.46	1.20	3.66
N°2	2.45	2.45	2.50	2.50	2.48	1.20	3.68
N°3	2.35	2.45	2.50	2.50	2.45	1.20	3.65

## ALTO MISTI

LECTURAS DEL DIAL - METODO SECO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPESOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	1.90	1.80	1.60	1.50	1.70	1.20	2.90
N°2	1.80	1.70	1.70	1.80	1.75	1.20	2.95
N°3	1.70	1.60	1.60	1.70	1.65	1.20	2.85

LECTURAS DEL DIAL - METODO HUMEDO							
MUESTRA	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	PROMEDIO	ESPESOR DE PLACA BASE	ALTURA TOTAL
N°1	2.50	2.45	2.50	2.45	2.48	1.20	3.68
N°2	2.40	2.40	2.50	2.50	2.45	1.20	3.65
N°3	2.60	2.45	2.50	2.45	2.50	1.20	3.70



# ANEXO V



FOTOGRAFIA AV.4  
INSTRUMENTOS PARA  
DETERMINAR LOS  
LÍMITES DE ATTERBERG

FOTOGRAFIA AV.6  
VARIAS HERRAMIENTAS  
DE LABORATORIO



FOTOGRAFIA AV.7  
PISÓN DE ENERGÍA  
MODIFICADA Y MOLDE DE 4"



FOTOGRAFIA AV.8  
MOLDE PROCTOR DE 6"

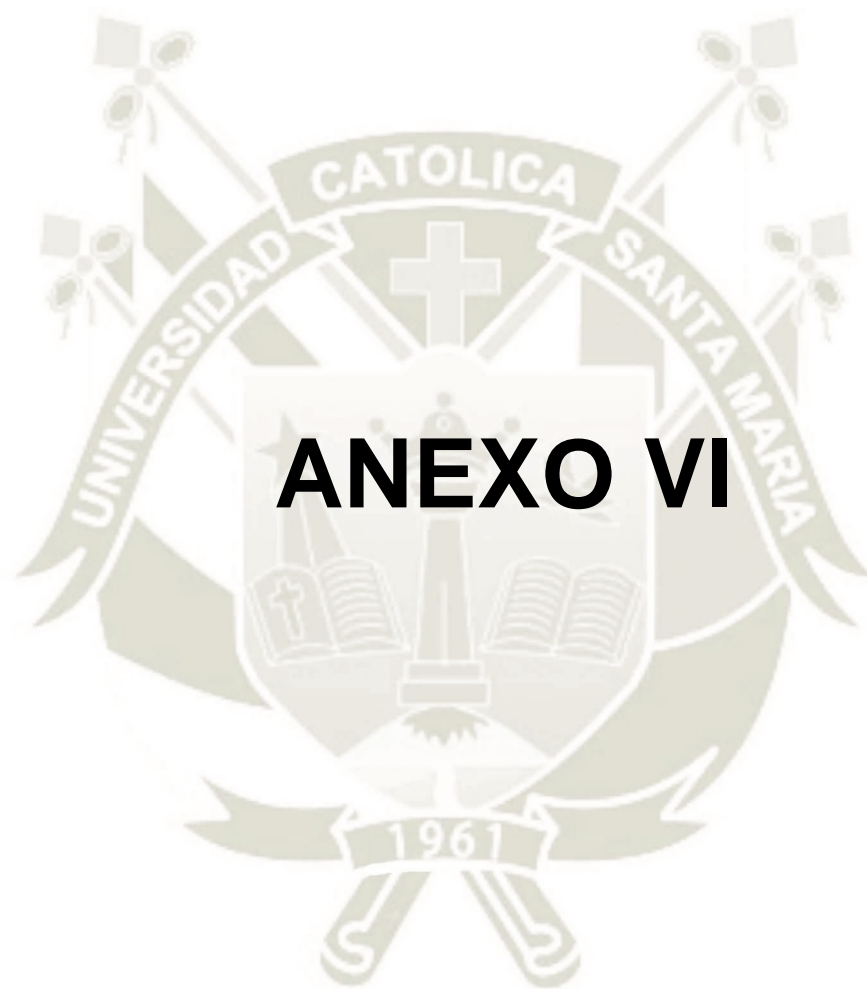


FOTOGRAFIA AV.9  
MESA DENSIDAD RELATIVA  
CON MOLDE DE 2830 cm<sup>3</sup>



FOTOGRAFIA AV.10  
MESA DENSIDAD RELATIVA  
CON MOLDE DE 14200 cm<sup>3</sup>





# ANEXO VI

## ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS

### EXTRACCIÓN DE MUESTRAS



FOTOGRAFIA AVI.1  
ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS

FOTOGRAFIA AVI.2  
NOMENCLATURA DE  
MUESTRAS

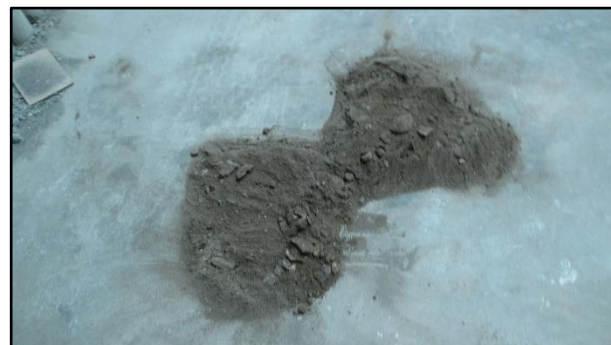


### CUARTEO



FOTOGRAFIA AVI.3  
PROCESO INICIAL DEL  
CUARTEO

FOTOGRAFIA AVI.4  
REDUCCIÓN DE LA  
MUESTRA



## GRANULOMETRIA



FOTOGRAFIA AVI.3  
PESO RETENIDO



FOTOGRAFIA AVI.4  
TAMIZADORA MECANICA

## LIMITES DE CONSISTENCIA



FOTOGRAFIA AVI.5  
CUCHARA DE  
CASAGRANDE

FOTOGRAFIA AVI.6  
LIMITE LÍQUIDO



## CONO DE ARENA



FOTOGRAFIA AVI.7  
EXTRACCIÓN DE  
MUESTRA

FOTOGRAFIA AVI.8  
ENSAYO DE  
DENSIDAD EN CAMPO



FOTOGRAFIA AVI.8  
ENSAYO DE  
DENSIDAD EN CAMPO

## PROCTOR MODIFICADO



FOTOGRAFIA AVI.9  
MUESTRAS CON  
DISTINTAS HUMEDADES



FOTOGRAFIA AVI.10  
PROCTOR MODIFICADO



FOTOGRAFIA AVI.10  
PESO DEL SUELO  
COMPACTADO

FOTOGRAFIA AVI.10  
TOMA DE MUESTRAS  
(CONTENIDO DE  
HUMEDAD)



## MESA DENSIDAD RELATIVA – METODO SECO



FOTOGRAFIA AVI.11  
LLENADO DEL MOLDE  
RESPECTIVO CON EL SUELO

FOTOGRAFIA AVI.12  
MOLDE DE 2830 CM<sup>3</sup>  
CON SUELO



FOTOGRAFIA AVI.13  
MOLDE DE 14200 CM<sup>3</sup>  
CON SUELO



FOTOGRAFIA AVI.14  
LECTURA DEL  
VOLUMEN ASENTADO



## MESA DENSIDAD RELATIVA – METODO HUMEDO



FOTOGRAFIA AVI.15  
VERTIDO DE AGUA EN  
MOLDE 2830 CM<sup>3</sup> Y 14200 CM<sup>3</sup>

FOTOGRAFIA AVI.16  
VERTIDO DE AGUA EN  
MOLDE 14200 CM<sup>3</sup>



FOTOGRAFIA AVI.17  
LECTUA DEL  
VOLUMEN ASENTADO

