



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INCIDENCIA DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN LA
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD ÓPTIMA EN LOS SUELOS
GRANULARES**

PRESENTADA POR

**KATHERINE JHUNNET PALOMINO CHICCHON
GERALD ENRIQUE RENGIFO SÁNCHEZ**

ASESOR

ALEXIS SAMOHOD ROMERO

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2018



CC BY-NC-SA

Reconocimiento – No comercial – Compartir igual

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



USMP

UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INCIDENCIA DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN LA
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD ÓPTIMA EN LOS
SUELOS GRANULARES**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

**PALOMINO CHICCHON, KATHERINE JHUNNET
RENGIFO SÁNCHEZ, GERALD ENRIQUE**

LIMA- PERÚ

2018

A Dios, a mis padres y hermanos por estar siempre conmigo, guiarme, aconsejarme y apoyarme en todo este proceso de formación personal y profesional. A los profesores, al ingeniero Oblitas Santa María y al ingeniero Alexis Samohod por brindarme las guías y metodologías para el desarrollo de esta investigación.

Katherine Palomino Chicchon

Dedico esta tesis a Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, por los triunfos y por no dejarme en los momentos difíciles. A mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. A mis profesores, el ingeniero Oblitas Santa María y al ingeniero Alexis Samohod, gracias por su tiempo y por la sabiduría transmitida en el desarrollo de mi formación profesional.

Gerald Rengifo Sánchez

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Situación problemática	1
1.2 Formulación del problema	1
1.3 Objetivo de la investigación	2
1.4 Justificación e importancia de la investigación	2
1.5 Limitaciones y alcance del estudio	2
1.6 Viabilidad	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes de la investigación	4
2.2 Bases teóricas	7
2.3 Definición de términos básicos	26
2.4 Hipótesis	26
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	27
3.1 Diseño metodológico de la investigación	27
3.2 Técnicas de investigación	28
3.3 Instrumentos de recolección de datos	28
3.4 Procesamiento de datos	29
3.5 Diseño muestral	29
3.6 Variables	29
3.7 Operacionalización de las variables	30
3.8 Definición operacional	30
3.9 Prueba de hipótesis	31

CAPÍTULO IV. DESARROLLO	32
4.1 Ensayo granulométrico	32
4.2 Ensayo de límites de atterberg	36
4.3 Ensayo proctor modificado	40
CAPÍTULO V. RESULTADOS	51
5.1 Resultados análisis granulométrico y límites de atterberg	51
5.2 Resultados proctor modificado muestra n° 1	56
5.3 Resultados proctor modificado muestra n° 2	62
5.4 Resultados proctor modificado muestra residual	69
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	81
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	87
FUENTES DE INFORMACIÓN	88
ANEXOS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Suelos no cohesivos	8
Figura 2. Permeabilidad	10
Figura 3. Curvas granulométricas	12
Figura 4. Límites de Atterberg	13
Figura 5. Carta de plasticidad	15
Figura 6. Rango del límite Líquido e índice de plasticidad	17
Figura 7. Clasificación de materiales	18
Figura 8. Continuación clasificación de materiales	18
Figura 9. Grafica de plasticidad	20
Figura 10. Sistema de clasificación de suelo	21
Figura 11. Curva de compactación	22
Figura 12. Tipos de curvas de compactación	23
Figura 13. Compactación por unidad de volumen	24
Figura 14. Especificaciones de la prueba proctor modificada	25
Figura 15. Energía de compactación vs % humedad resultados de referencia 1	82
Figura 16. Energía de compactación vs % humedad resultados de referencia 2	82
Figura 17. Energía de compactación vs % densidad seca máxima resultados de referencia 1	83
Figura 18. Energía de compactación vs % densidad seca máxima resultados de referencia 2	83

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página
Fotografía 1.Tamices	32
Fotografía 2. Balanza	33
Fotografía 3. Agitador mecánico de tamices	33
Fotografía 4. Bandeja de acero inoxidable	33
Fotografía 5. Cuarteador mecánico de material grueso	34
Fotografía 6. Obtención de muestra para granulometría	34
Fotografía 7. Lavado de muestra	35
Fotografía 8. Secado de la muestra	35
Fotografía 9. Tamizado	36
Fotografía 10. Pesado de las muestras retenida	36
Fotografía 11. Aparato de límite líquido (Casa grande)	37
Fotografía 12. Agua destilada, Recipiente, Espátula y Acanalador	37
Fotografía 13.Tamizado de la muestra para límites	38
Fotografía 14. Homogenización de la muestra	38
Fotografía 15. Muestra en el aparato Casa Grande	39
Fotografía 16. División de la muestra	39
Fotografía 17. Cierre de Ranura en la muestra después de los golpes	40
Fotografía 18. Molde nº 6 “Proctor modificado	41
Fotografía 19. Martillo o pisón manual de 4.54 kg	41
Fotografía 20. Extractor de muestras	41
Fotografía 21. Balanzas	42
Fotografía 22. Horno eléctrico marca ORION	42
Fotografía 23. Regla recta metálica	43

Fotografía 24. Tamiz ¾"	43
Fotografía 25. Herramientas para la mezcla	43
Fotografía 26. Herramientas para la mezcla	44
Fotografía 27. Herramientas para la extracción de muestra	44
Fotografía 28. Preparación de la muestra	45
Fotografía 29. Cuarteo de la muestra	45
Fotografía 30. Pesado de la muestra obtenida	45
Fotografía 31. Humedeciendo la muestra	46
Fotografía 32. Peso del molde	46
Fotografía 33. Primera capa de muestra húmeda	47
Fotografía 34. Compactación de la muestra	47
Fotografía 35. Retiro del material excedente	48
Fotografía 36. Peso de la muestra compactada	48
Fotografía 37. Extracción de la muestra compactada	49
Fotografía 38. Obtención de porción de muestra	49
Fotografía 39. Peso de cápsula más muestra	50

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1. Análisis granulométrico muestra n°1	52
Gráfico 2. Curva granulométrica muestra n°2	54
Gráfico 3. Curva de compactación 56 golpes muestra n°1	56
Gráfico 4. Curva de compactación 57 golpes muestra n°1	57
Gráfico 5. Curva de compactación 58 golpes muestra n°1	58
Gráfico 6. Curva de compactación 59 golpes muestra n°1	59
Gráfico 7. Curva de compactación 60 golpes muestra n°1	60
Gráfico 8. Variación de energías de compactación muestra n° 1	61
Gráfico 9. Variación de energías de 56 golpes y 58 golpes muestra n° 1	61
Gráfico 10. Curva de compactación 56 golpes muestra n° 2	62
Gráfico 11. Curva de compactación 57 golpes muestra n° 2	63
Gráfico 12. Curva de compactación 58 golpes muestra n° 2	64
Gráfico 13. Curva de compactación 59 golpes muestra n° 2	65
Gráfico 14. Curva de compactación 60 golpes muestra n° 2	66
Gráfico 15. Curva de compactación 61 golpes muestra n° 2	67
Gráfico 16. Variación de energías de compactación muestra n° 2	68
Gráfico 17. Variación de energías de 56 golpes y 60 golpes muestra n° 2	68
Gráfico 18. Curva de compactación 56 golpes muestra residual	69
Gráfico 19. Curva de compactación 58 golpes muestra residual	70
Gráfico 20. Curva de compactación 60 golpes muestra residual	71
Gráfico 21. Curva de compactación 61 golpes muestra residual	72
Gráfico 22. Variación de energías de compactación muestra residual	73

Gráfico 23. Variación de energías de 56 golpes y 60 golpes muestra residual	73
Gráfico 24. Comparación de la máxima densidad seca y humedad	74
Gráfico 25. Energía de compactación vs humedad óptima muestra n° 1 (Santa Clara)	75
Gráfico 26. Energía de compactación vs humedad óptima muestra n°2 (cantera Lucho)	76
Gráfico 27. Energía de compactación vs humedad óptima muestra residual	77
Gráfico 28. Energía de compactación vs densidad seca máxima muestra n° 1 (Santa Clara)	78
Gráfico 29. Energía de compactación vs densidad seca máxima muestra n°2 (cantera Lucho)	79
Gráfico 30. Energía de compactación vs densidad seca máxima muestra residual	80

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Operacionalización de variables	30
Tabla 2. Análisis granulométrico muestra n°1	51
Tabla 3. Límite líquido muestra n° 1	53
Tabla 4. Análisis granulométrico muestra n°2	54
Tabla 5. Límite líquido y límite plástico	55
Tabla 6. Compactación proctor modificado 56 golpes muestra n° 1	56
Tabla 7. Ec= 27.37 kg.cm/cm³ muestra n°1	56
Tabla 8. Compactación proctor modificado 57 golpes muestra n° 1.	57
Tabla 9. Ec= 27.37 kg.cm/cm³ muestra n°1	57
Tabla 10. Compactación proctor modificado 58 golpes muestra n°1	58
Tabla 11. Ec = 28.35 kg.cm/cm³ muestra n°1	58
Tabla 12. Compactación proctor modificado 59 golpes muestra n° 1	59
Tabla 13. Ec = 28.84 kg.cm/cm³ muestra n°1	59
Tabla 14. Compactación proctor modificado 60 golpes muestra n° 1	60
Tabla 15. Ec = 29.33 kg.cm/cm³ muestra n°1	60
Tabla 16. Compactación proctor modificado 56 golpes muestra n° 2	62
Tabla 17. Ec = 27.37kg.cm/cm³ muestra n° 2	62
Tabla 18. Compactación proctor modificado 57 golpes muestra n° 2	63
Tabla 19. Ec = 27.86 kg.cm/cm³ muestra n° 2	63
Tabla 20. Compactación proctor modificado 58 golpes muestra n° 2	64
Tabla 21. Ec = 28.35 kg.cm/cm³ muestra n° 2	64
Tabla 22. Compactación proctor modificado 59 golpes muestra n° 2	65
Tabla 23. Ec = 28.84 kg.cm/cm³ muestra n° 2	65
Tabla 24. Compactación proctor modificado 60 golpes muestra n° 2	66

Tabla 25. Ec = 29.33 kg.cm/cm³ muestra n° 2	66
Tabla 26. Compactación proctor modificado 61 golpes muestra n° 2	67
Tabla 27. Ec = 29.82 kg.cm/cm³ muestra n° 2	67
Tabla 28. Compactación proctor modificado 56 golpes muestra residual	69
Tabla 29. Ec = 27.37 kg.cm/cm³ muestra residual	69
Tabla 30. Compactación proctor modificado 58 golpes muestra residual	70
Tabla 31. Ec = 27.37 kg.cm/cm³ muestra residual	70
Tabla 32. Compactación proctor modificado 60 golpes muestra residual	71
Tabla 33. Ec = 27.37 kg.cm/cm³ muestra residual	71
Tabla 34. Compactación proctor modificado 61 golpes muestra residual	72
Tabla 35. Ec = 27.37 kg.cm/cm³ muestra residual	72
Tabla 36. Comparación de muestras ensayadas	74
Tabla 37. Energía de compactación vs humedad óptima muestra n° 1. (Santa Clara)	75
Tabla 38. Energía de compactación vs humedad óptima muestra n° 2 (Cantera Lucho)	76
Tabla 39. Energía de compactación vs humedad óptima muestra residual	77
Tabla 40. Energía de compactación vs densidad seca máxima muestra n° 1 (Santa Clara)	78
Tabla 41. Energía de compactación vs densidad seca máxima muestra n° 2 (Lucho)	79
Tabla 42. Energía de compactación vs densidad seca máxima muestra residual	80
Tabla 43. Resultados obtenidos en la investigación	81
Tabla 44. Resultados de otras investigaciones	81

RESUMEN

El presente estudio se realizó en suelos granulares pertenecientes a la cantera Santa Clara en el distrito de Ate y a la cantera Lucho del distrito de Pachacamac. Con el objetivo de determinar la incidencia de la energía de compactación en la determinación de la humedad óptima en suelos granulares. Para el desarrollo de la investigación, se realizó el análisis granulométrico aplicando lo establecido en el Manual de Ensayos de Materiales del ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC E 107), luego se clasificó los suelos mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Se determinó el límite líquido y el límite plástico para ambos suelos, según lo establecido en el Manual de Ensayos de Materiales del ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC E 110, MTC E 111). Se realizó el ensayo de proctor modificado usando el método "C" variando la energía de compactación, empezando con 56 golpes por capa compactada según lo determinado por el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC E 115) hasta los 61 golpes por capa.

Se concluye que para la muestra de la cantera Santa Clara su máxima densidad seca fue de 2.265 gr/cm^3 y su contenido óptimo de humedad de 6.600%, los cuales fueron alcanzados con una energía de compactación de 28.35 kg/cm^3 a los 58 golpes por cada capa. La muestra de la cantera Lucho su máxima densidad seca fue de 2.265 gr/cm^3 y un contenido óptimo de humedad de 6.600%, que fueron alcanzados con una energía de compactación de 29.29 kg/cm^3 a los 60 golpes por cada capa.

PALABRAS CLAVE: Energía de compactación, Contenido óptimo de humedad, Máxima densidad seca e incidencia.

ABSTRACT

The present study was carried out on granular soils belonging to the Santa Clara quarry in the district of Ate and to the Lucho quarry in the district of Pachacamac, with the objective of determining the incidence of compaction energy in the determination of optimum humidity in granular soils. For the development of the research, the granulometric analysis was carried out applying the provisions of the Materials Testing Manual of the Ministry of Transport and Communications (MTC E 107), then the soils were classified using the Unified Soil Classification System (USCS), After, the liquid limit and the plastic limit for both soils were determined according to the Material Testing Manual of the Ministry of Transport and Communications (MTC E 110, MTC E 111), the modified proctor test was finally carried out using the method "C" varying the compaction energy, starting with 56 strokes per layer compacted as determined by the Materials Testing Manual of the Ministry of Transport and Communications (MTC E 115) up to 61 strokes per layer.

It is concluded that for the Santa Clara quarry sample its maximum dry density was 2,265 gr / cm³ and its optimum moisture content of 6,600%, which were reached with a compaction energy of 28.35 kg / cm³ at 58 strokes per each layer. The sample of the quarry fought its maximum dry density was 2,265 gr / cm³ and its optimum moisture content of 6.600%, which were reached with a compaction energy of 29.29 kg / cm³ at 60 strokes per each.

KEY WORDS: Compaction energy, Optimum moisture content, Maximum dry density and incidence.

INTRODUCCIÓN

En todos los proyectos de construcción civil uno de los factores de suma importancia son las propiedades mecánicas del suelo, debido a esto es necesario saber cómo obtener el máximo valor de dichas propiedades mecánicas. Por ende, en la presente investigación se ha previsto cuidadosamente determinar la incidencia que tiene la energía de compactación en la determinación de la humedad óptima en los suelos granulares. Ya que las propiedades mecánicas del suelo dependen directamente de la energía de compactación y la humedad óptima del suelo.

Para ello se realizaron ensayos de laboratorio, lo que nos permitió encontrar los parámetros adecuados que nos conllevaron a encontrar la cantidad adecuada de energía, la misma que determinó la humedad óptima del suelo estudiado.

El presente trabajo de investigación está constituido por seis (6) capítulos. El primero corresponde al planteamiento del problema en el cual se detalla situación problemática, objetivos, etc. El segundo trata sobre el marco teórico. En el tercero, se aborda el diseño metodológico, teoría de la investigación, entre otros. El cuarto abarca el desarrollo de los ensayos de la investigación. El quinto muestra los resultados obtenidos y en el sexto se desarrolla las discusiones de los resultados obtenidos de esta investigación con los resultados de otras investigaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

Uno de los aspectos más notorios que se logran observar durante el desarrollo de proyectos de construcción civil es el estado o condiciones en los que se encuentran los suelos, pues en la mayoría de los casos, depende de estos que un proyecto vaya bien o no; ya que el suelo juega un papel muy importante bien como elemento estructural de lo que se construye sobre él o bien como material aprovechable para rellenos. Para ello, se realizan estudios de suelos donde a veces los resultados no son favorables, y debido a eso se tienen que hacer algunas mejoras en las propiedades mecánicas de los suelos.

La presente investigación trata de la incidencia que tiene la energía de compactación en la determinación de la humedad óptima en los suelos granulares. Como es de conocimiento la compactación es el proceso por el cual al aplicar energía al suelo se eliminan los espacios vacíos y esto a su vez aumenta la densidad seca, su capacidad de soporte y su estabilidad entre otras propiedades, mejorando así las propiedades mecánicas del suelo.

1.2 Formulación del problema

La presente investigación tiene un solo problema el cual se muestra a continuación.

1.2.1 Problema

¿En qué medida incide la energía de compactación en la determinación del óptimo contenido de humedad en los suelos granulares?

1.3 Objetivo de la investigación

1.3.1 Objetivo

Determinar la incidencia de la energía de compactación en el óptimo contenido de humedad en los suelos granulares aplicando proctor modificado.

1.4 Justificación e importancia de la investigación

Todo lo que construimos está en el suelo, por lo tanto, es necesario que el suelo alcance su máxima resistencia, debido a que la resistencia del suelo depende de la compactación, de la densidad seca y de la humedad óptima; la presente investigación nos permitió determinar la incidencia que tiene la energía de compactación en la humedad óptima en los suelos granulares.

Como ya es de conocimiento el Proctor modificado es el proceso por el cual al aplicar energía de compactación al suelo se busca mejorar las propiedades mecánicas de este y sabiendo que cuando se aplica la energía se eliminan los espacios vacíos, esto a su vez aumenta la densidad seca del suelo y la humedad permite el movimiento de las partículas, todos los factores antes mencionados nos dan los parámetros para la determinación de la capacidad de soporte, mejorando así las propiedades mecánicas del suelo.

1.5 Limitaciones y alcance del estudio

1.5.1 Limitaciones

Una de las limitaciones de la investigación, es que solo se harán estudios a dos muestras de suelos, una de la cantera Santa Clara ubicada en Ate Vitarte y otra de la cantera Lucho en Pachacamac ambas localizadas en la ciudad de Lima.

1.5.2 Alcances

La presente investigación ayudó a establecer una relación entre la energía de compactación, la humedad óptima y la densidad máxima seca del suelo estudiado. Para ello, se realizaron ensayos en laboratorio lo que nos permitió conocer de esta manera la magnitud que tienen los factores que intervienen en la compactación de suelos y la importancia de ésta para determinar la humedad óptima del suelo.

1.6 Viabilidad

Se dispuso de un laboratorio de mecánica de suelos bien implementado (Laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres Facultad de Ingeniería y Arquitectura) donde se realizaron los diversos ensayos que se requirieron para la investigación y se contó con un encargado de laboratorio calificado el cual nos brindó su apoyo cuando lo necesitamos.

Se dispone con las facilidades económicas para la realización de esta investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación se han consultado los siguientes trabajos.

2.1.1 Nacionales

En nuestro país, tenemos dos investigaciones, realizadas en el departamento de Cajamarca, ambas tratan de la energía de compactación y la humedad óptima del suelo las mismas que servirán como pauta para el desarrollo de esta investigación y las cuales se mencionan a continuación:

Ocas de la Cruz, J. (2013). “Influencia de la Energía de Compactación en el Óptimo Contenido de Humedad y la Máxima Densidad Seca en los Suelos Granulares” de La Universidad Nacional De Cajamarca, Cajamarca, Perú. En esta investigación, se menciona que se realizó un estudio a suelos gravosos de la cantera de Apalín del distrito de los Baños del Inca. En esta, se determinó la influencia que tiene la energía de compactación en el óptimo contenido de humedad y la densidad seca máxima.

En la investigación, se utilizó el Proctor modificado el cual se realizó con el método tipo “C” donde se varió el número de golpes por capa, desde los 56 hasta 62 golpes (diferentes cantidades de energía); obteniendo con 61 golpes la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

Este estudio nos sirvió como guía para el desarrollo de nuestra investigación; ya que aplicamos el Proctor modificado usando el método “C”.

Chirino Quispe, J (2015). “Efecto de La Energía de Compactación en la Densidad Seca Máxima y Contenido Óptimo de la Humedad del Suelo Granular de la Cantera El Gavilán”, de la Universidad Privada Del Norte Sede Cajamarca, Cajamarca Perú.

En esta investigación, se menciona que se realizó con la finalidad de analizar el material proveniente de la cantera El Gavilán con el objetivo de determinar el efecto de la energía de compactación con respecto a la densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad para la realización de esta investigación se utilizó el Proctor modificado y el método tipo “C” variando el número de golpes desde 56 hasta 61 golpes (diferentes cantidades de energía); obteniendo con 58 golpes, la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

Este estudio nos sirvió como guía para el desarrollo de nuestra investigación, ya que usamos el Proctor modificado con el método tipo “C” a suelos granulares de otras canteras.

Otro de estos estudios es el de Pariona Quinta, Luis (2014) en su investigación acerca de “Estudio de la Resistencia de la Sub-Base Usando Experimentos Factoriales Basados en el Contenido de Humedad, Energía de Compactación y la Hidratación”.

Pariona determina relaciones entre la resistencia - CBR y los factores más influyentes y controlables en el proceso de compactación de suelos para subbase, tales como: el contenido de humedad, la energía de compactación y la condición de hidratación. Concluye que la humedad y la energía de compactación interactuando mediante un ensayo factorial estableciendo la eficiencia de la resistencia en un material para uso en subbase. Otra de sus conclusiones es que el contenido de humedad está

asociado en sentido inverso a la resistencia del suelo compactado para cualquier energía específica empleada.

Uno de estos estudios es el de Araujo Navarro, William (2014), en su investigación, acerca de “Ecuaciones de Correlación del CBR con Propiedades Índice de Suelos Para la Ciudad de Piura”

El propósito de esta investigación es proponer un método alternativo para la obtención del valor del CBR de diseño mediante correlaciones con propiedades índice y de compactación de los suelos.

Los resultados muestran que el contenido de grava y el contenido óptimo de humedad presentan una buena correlación lineal simple con el CBR. Asimismo, la máxima densidad seca y el contenido de grava son directamente proporcionales al CBR, mientras que el contenido de arena, de arcillas y limos, los límites de consistencia y el contenido máximo de humedad lo son de modo inverso.

Otro de estos estudios es el de Llique Mondragón, Rosa Haydee (2015) en su investigación acerca de “Influencia de la Humedad de Compactación en el Comportamiento Volumétrico de los Suelos Arcillosos”.

El propósito de esta investigación fue conocer el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos compactados a diferentes contenidos de humedad, para que de esta manera prevenir fallas en las obras construidas sobre estas. Obteniéndose como una conclusión que a mayor humedad menor expansión por que el grado de saturación tiende al 100% y la fase gaseosa tiende a eliminarse.

2.1.2 Internacionales

Existen numerosos estudios de suelos y los efectos que tiene la energía mecánica en ellos, muchos de estos estudios tratan de explicar lo que ocurre con las propiedades mecánicas del suelo cuando se aplica esta energía.

Uno de estos estudios es el de Flores Bonilla, Antonio (2013) en su investigación acerca de la “Influencia de las Condiciones de Compactación en la Presión de Preconsolidación de un Suelo”.

En esta investigación, Flores hace ensayos de compactación con varias energías para poder compararlo con los valores de presión de preconsolidación y succión donde en una de sus conclusiones menciona que la densidad seca aumenta y la humedad disminuye con el aumento de la energía de compactación.

Otro estudio es el de Revolorio Gonzales, Fernando José Carlos (2013) en su tesis “Incidencia de resultados del ensayo Proctor por la influencia de clima, humedad, equipo y superficie de base de compactación durante su desarrollo” Universidad de San Carlos de Guatemala.

Revolorio menciona que las curvas de compactación serán distintas ya que depende del tipo de suelo estudiado y que de todos los factores que influyen en la compactación de suelos los más importantes son la energía de compactación y el contenido de humedad. (Pp.9, 11)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Suelos

Según Pérez Alama, Vicente (s.f) los suelos son materiales no consolidados formado por partículas minerales con gases o líquidos, la mayor parte de los materiales que forman la fuente original de los suelos son las rocas. (p. 11).

Pérez Alama, Vicente (s. f) menciona que los suelos se encuentran conformados por materiales tales como la grava, arena y las mezclas arcillosas depositadas por glaciares y vientos es por eso que para construir sobre ellos, se es necesario realizar ensayos físicos que tengan resultados representativos de las propiedades del suelo (p.12).

2.2.2 Suelos granulares

Según Crespo Villalaz, Carlos (2004), se concluye que una de las características que hace muy distintivos a diferentes tipos de suelos es la cohesión. Debido a ella los suelos se clasifican en “cohesivos” y “no cohesivos”. Los suelos cohesivos son los que poseen cohesión, es decir, la propiedad de atracción intermolecular, como las arcillas. Los suelos no cohesivos son los formados por partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena y la grava. En los suelos no cohesivos la composición molecular no tiene ninguna influencia en las propiedades mecánicas. Los suelos no cohesivos son los siguientes:

- **Gravas:** Son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro.

- **Arenas:** Es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la trituración de las rocas y cuyas partículas varían entre 2mm y 0.05 mm de diámetro.

- **Limos:** Son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad. Su diámetro varía entre 0.05mm a 0.005mm (p.22, 26).

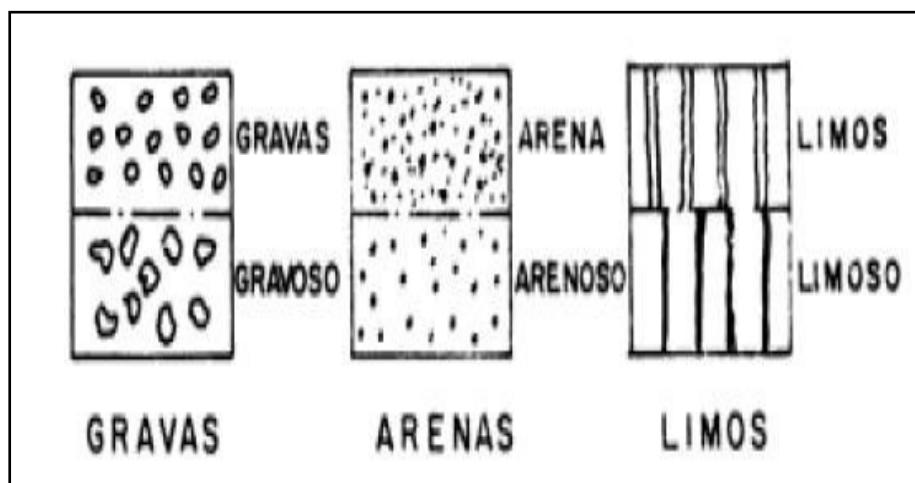


Figura 1. Suelos no cohesivos

Fuente: Crespo Villalaz, Carlos, 2004, p. 27

Según La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO) los suelos granulares son los que tienen el 35% o menos de material fino que pase por el tamiz Nº 200 los cuales pertenecen a los grupos de A-1, A-2, A-3.

2.2.3 Comportamiento de los suelos granulares

Los suelos son materiales complejos donde su comportamiento mecánico depende de la composición y estructura del suelo, del historial de tensiones, densidad y de las características de la fuerza que se le aplique y de otros factores como la porosidad; entre otros, los cuales nos permiten conocer cómo se comporta el suelo; del mismo modo la rigidez de un material granular está en relación al esfuerzo deformación. De este modo el comportamiento mecánico de los suelos granulares depende de las propiedades granulométricas del material

2.2.4 Propiedades de suelos granulares

a) Peso específico o densidad

Según lo afirmado por Jimenez & Justo estas dos magnitudes tendrán, para nosotros, la misma definición que en física: Densidad es la masa por unidad de volumen, y peso específico el peso por unidad de volumen. Así, si un suelo tiene un peso específico de 1.8 p/cm³, tendrá también una densidad de 1.8 g/cm³; naturalmente en el primer caso se trata de gramos-fuerza, y nos hallamos en el sistema cm-p-s, mientras que en el segundo se trata de gramos masa y nos hallamos en el sistema c.g.s. (p.50,51).

La ecuación para determinar el peso específico o densidad es:

$$Y=W/V$$

Donde:

Y= Peso específico o Densidad

W= Peso del suelo

V= Volumen unitario

En el caso de suelos no cohesivos como las (gravas y arenas) y para suelos compactados se usa métodos indirectos como el cono de arena para determinar la densidad. (p.56).

Sin embargo, durante la construcción de rellenos ingenieriles, el grado de compactación suele especificarse como el cociente de densidad real en seco, *in situ*, dividida entre la densidad máxima en seco, determinada con una prueba de laboratorio diseñada para el cálculo de la relación humedad-densidad (ASTM DI557 o D698).

b) Permeabilidad

Según lo referido por Terzaghi & Peck (1973) un material es permeable cuando contiene vacíos continuos, tales vacíos existen en todos los suelos, incluyendo las arcillas más compactadas, y en todos los materiales de construcción no metálicos, así como el granito sano y la pasta de cemento, dichos materiales son permeables. Debemos tener en cuenta que la permeabilidad de los suelos tiene un efecto decisivo sobre el costo y las dificultades a encontrar en muchas operaciones constructivas.

Cuando un suelo es comprimido o vibrado, el volumen ocupado por sus elementos sólidos permanece prácticamente invariable, mientras que el volumen de los vacíos disminuye, por lo tanto, la permeabilidad del suelo también disminuye. (p.45, 46,49).

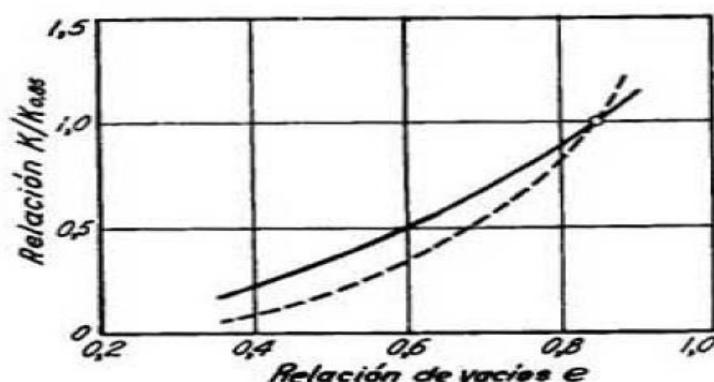


Figura 2. Permeabilidad

Fuente: Karl Terzaghi & Ralph B. Peck, 1973, p. 50

B.Sowers & F.Sowers aseguran que la forma de los granos y la graduación son también factores importantes que afectan a la permeabilidad, especialmente en los suelos más gruesos, pero se dificulta expresar sus efectos cuantitativamente. El grado de saturación es un factor principal, porque el aire en los poros reduce el área de la sección transversal y hasta puede llegar a obstruir completamente algunos poros.

Dado a la anisotropía y a los efectos de la falta de homogeneidad de los efectos, es necesario hacer un gran número de ensayos con el flujo en diferentes direcciones, si se quiere tener un valor real del coeficiente de permeabilidad.

Debido a los numerosos y complejos factores que influyen en el coeficiente de permeabilidad, solo se puede estimar, aunque de manera burda, la magnitud de dicho coeficiente por el conocimiento del carácter del suelo. (p.129, 131).

c) Granulometría

Según lo establecido por Badillo & Rodríguez (2005) los límites de tamaño de las partículas que constituyen un suelo, ofrecen un criterio obvio para una clasificación descriptiva del mismo. Originalmente, el suelo se dividía únicamente en tres o cuatro fracciones debido a lo engorroso de los procedimientos disponibles de separación por tamaños. Actualmente, se puede ampliar notablemente las curvas en los tamaños finos, gracias a la aplicación de técnicas de análisis de suspensión.

Siempre que se cuente con suficiente número de puntos, la representación gráfica de la distribución granulométrica debe estimarse preferible a la numérica de tablas.

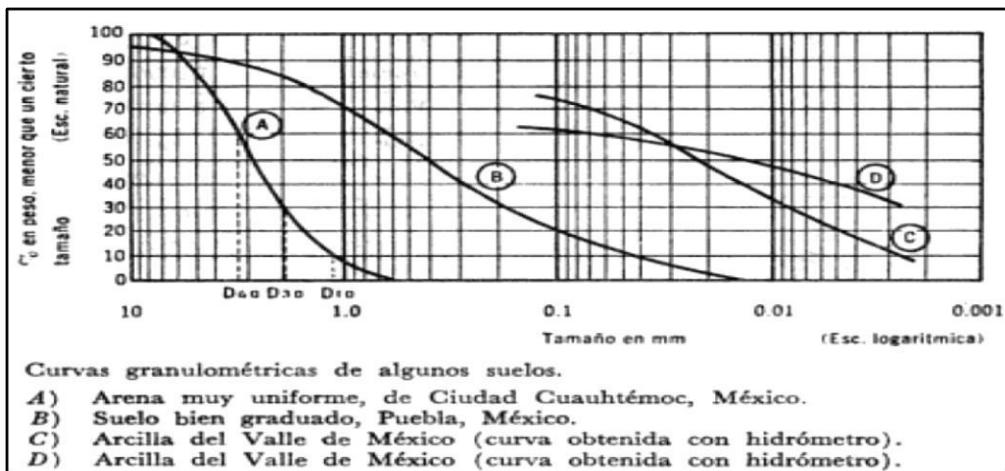


Figura 3.Curvas granulométricas

Fuente Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, p. 100

La forma de la curva da inmediata idea de la distribución granulométrica del suelo; un suelo constituido por partículas de un solo tamaño, estuvo representado por una línea vertical; mientras que un suelo que posea una curva muy tendida indica gran variedad de tamaños de partículas (suelo bien graduado).

Como una medida simple de la uniformidad de un suelo, Allen Hazen propuso el coeficiente de uniformidad $C_u = D_{60}/D_{10}$; en donde:

D_{60} : Tamaño tal, que el 60%, en peso, del suelo, sea igual o menor.

D_{10} : Llamado por Hazen diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10%, en peso, del suelo.

En realidad, el C_u es un coeficiente de no uniformidad, pues su valor numérico decrece cuando la uniformidad aumenta. Los suelos con $C_u < 3$ se consideran muy uniformes; aun las arenas naturales muy uniformes rara vez presentan $C_u < 2$.

Como dato complementario, necesario para definir la graduación, se define al coeficiente de curvatura del suelo con la expresión: $C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} \cdot D_{10})$. Donde D_{30} se define análogamente que los D_{10} y D_{60}

anteriores. Esta relación tiene un valor entre 1 y 3 en suelos bien graduados, con amplio margen de tamaños de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio. (p.98, 100,101).

2.2.5 Consistencias del suelo

Según Braja M. (2015) en 1900, un científico sueco llamado Albert Mauritz Atterberg desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con diferentes contenidos de humedad. Con un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como un sólido quebradizo. Cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. Por lo tanto, sobre una base arbitraria, dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo puede ser dividido en cuatro estados básicos: Sólido, semisólido, plástico y líquido.

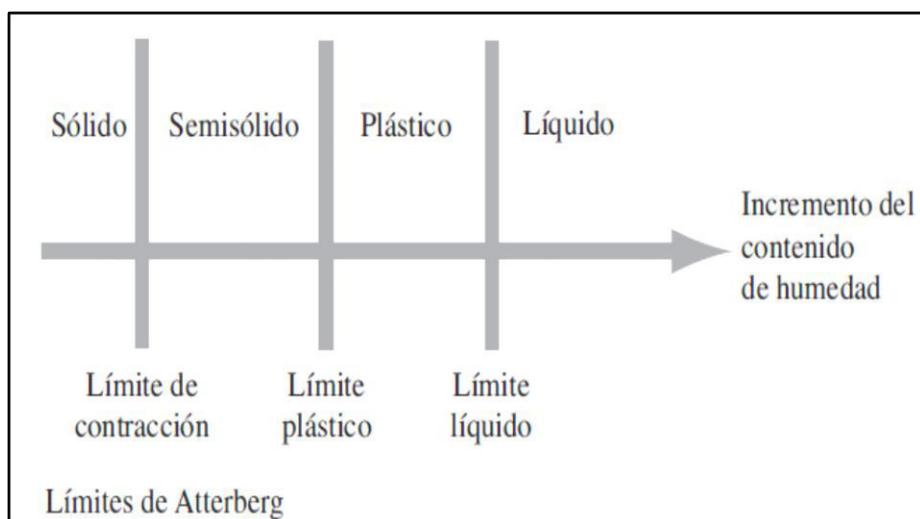


Figura 4. Límites de Atterberg

Fuente: Braja M. Das, 2015, p. 64

El contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el que se lleva a cabo la transición del estado sólido al estado semisólido se define como el límite de contracción. El contenido de humedad en el punto de transición del estado semisólido al estado plástico es el límite plástico, y del estado plástico al estado líquido es el límite líquido. Estos límites son también

conocidos como límites de Atterberg. El procedimiento para la prueba de límite líquido dada en ASTM es la Designación ASTM D-4318.

El límite plástico se define como el contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo al enrollarse en hilos de 3.2 mm de diámetro se desmorona. El límite plástico es el límite inferior del escenario plástico del suelo. La prueba es simple y se realiza mediante rodados repetidos por parte de una masa de tierra de tamaño elipsoidal sobre una placa de vidrio esmerilado. El índice de plasticidad (PI) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo: $PI = LL - PL$. El procedimiento para la prueba de límite plástico se da en la norma ASTM, Designación ASTM D-4318.

Los límites líquido y plástico se determinan por pruebas de laboratorio relativamente sencillas que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. Las pruebas han sido utilizadas ampliamente por los ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo, así como para la identificación del mismo. Casagrande (1932) estudió la razón del índice de plasticidad con el límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Sobre la base de los resultados de la prueba, se propuso una carta de plasticidad.

La característica importante de este cuadro es la línea A empírica que está dada por la ecuación $PI = 0.73(LL - 20)$. La línea A separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos. Las gráficas de los índices de plasticidad contra límites líquidos de arcillas inorgánicas se encuentran por encima de la línea A, y las de limos inorgánicos se encuentran por debajo de esta línea. Los limos orgánicos se grafican en la misma región (por debajo de la línea A y con LL que va de 30 a 50), como los limos inorgánicos de compresibilidad media. Las arcillas orgánicas parcela se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad (por debajo de la línea A y LL mayor de 50).

La información proporcionada en la carta de plasticidad es de gran valor y es la base para la clasificación de los suelos de grano fino en el Sistema

de Clasificación Unificado de Suelos. Considere que una línea llamada U se encuentra por encima de la línea A. La línea U es de aproximadamente el límite superior de la relación del índice de plasticidad al límite de líquido para cualquier suelo encontrado hasta ahora. La ecuación de la línea U se puede dar como: $PI=0.9(LL-8)$. (p.64, 65, 73,74).

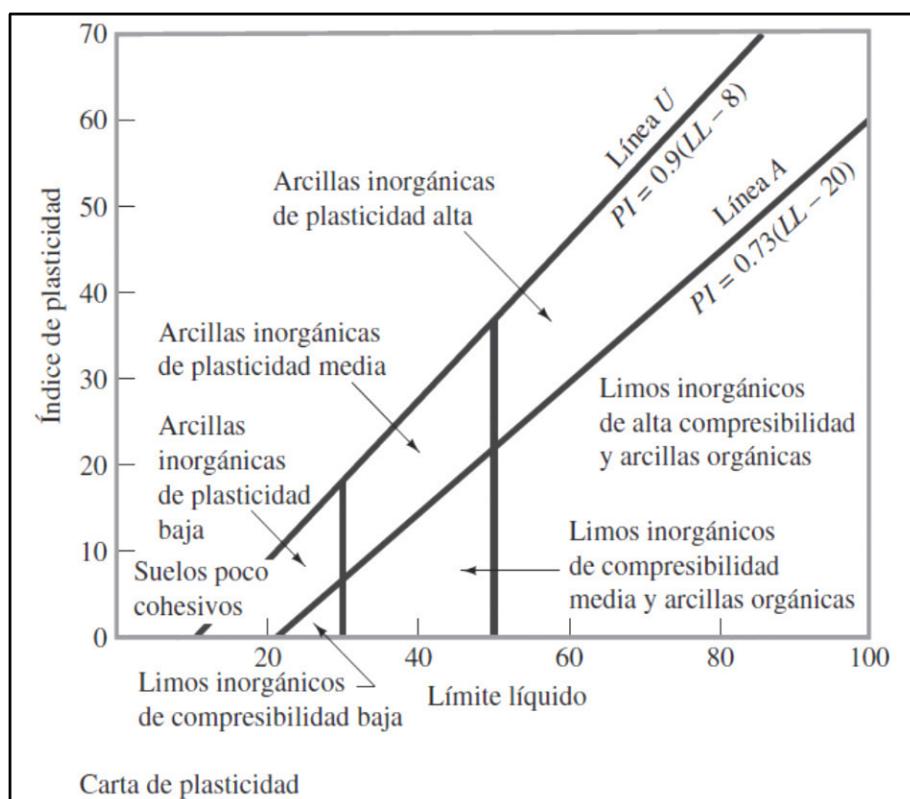


Figura 5.Carta de plasticidad

Fuente: Braja M. Das, 2015, p. 74

2.2.6 Clasificación de suelos

Según lo establecido por Braja M. Das (2015) los suelos con propiedades similares pueden ser clasificados en grupos y subgrupos en función de las características mecánicas y su comportamiento para la ingeniería. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar de forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas, sin una descripción detallada. En la actualidad, dos elaborados sistemas de clasificación que utilizan la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos son comúnmente

utilizados para aplicaciones ingenieriles. Se trata del American Association of State Highway Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. En Estados Unidos, el sistema AASHTO es utilizado principalmente por los departamentos de carreteras estatales y del condado, mientras que los ingenieros geotécnicos normalmente prefieren utilizar el Sistema Unificado. En este capítulo aprenderemos el procedimiento de clasificación de los suelos utilizando el AASHTO y los sistemas unificados. (p.78).

a) Sistema de clasificación AASHTO

Braja, (2015) menciona que este sistema de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. Ha sido objeto de varias revisiones, con la actual versión propuesta por la Comisión de Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras Subrasantes y Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras en 1945 (Norma ASTM D-3282; método AASHTO M145). De acuerdo con este sistema el suelo se clasifica en siete grupos principales: A-1 a A-7. Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz num. 200. Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz num. 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos son principalmente limo y materiales del tipo arcilla. A continuación, se muestra un gráfico del rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos que se dividen en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.

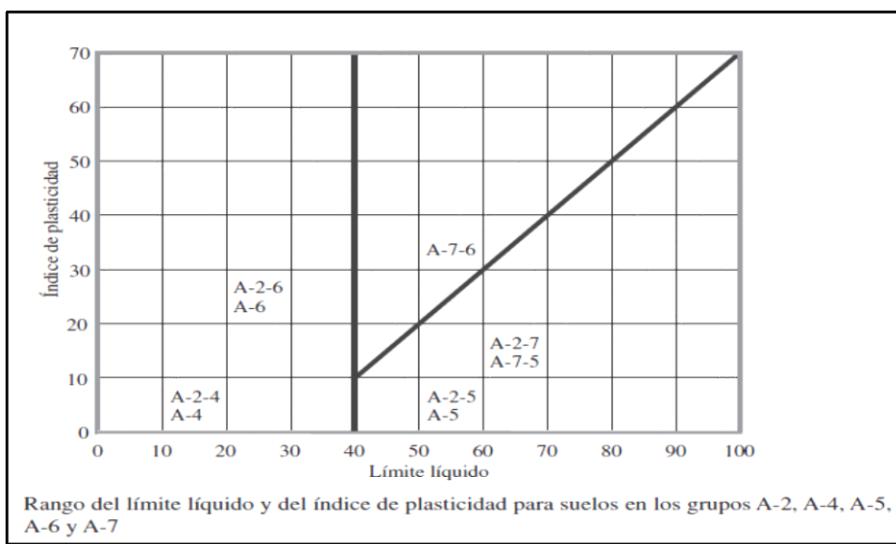


Figura 6.Rango del límite Líquido e índice de plasticidad

Fuente: Braja M. Das, 2015, p. 74

Para la evaluación de la calidad de un suelo como un material de subrasante carretera, también se incorpora un número llamado índice de grupo (IG) a los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo. El índice de grupo está dado por la siguiente ecuación:

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

Donde:

F = porcentaje pasado por el tamiz n.º 200

LL = límite líquido

PI = índice de plasticidad.

En general, la calidad del rendimiento de un suelo como material de subrasante es inversamente proporcional al índice de grupo. (Pp.78, 80,81).

Clasificación de materiales de carreteras subrasantes							
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso							
núm. 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 comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina				Limo o grava arcillosa y arena
Clasificación general de la subrasante							Excelente a bueno

Figura 7. Clasificación de materiales

Fuente: Braja M. Das, 2015, p. 79

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)				
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7	A-7-5*
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)					
Núm. 10					
Núm. 40					
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso					
núm. 40					
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes		Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante				Regular a malo	

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$
 †Para A-7-6, $PI > LL - 30$

Figura 8. Continuación clasificación de materiales

Fuente: Braja M. Das, 2015, p. 79

b) Sistema unificado de clasificación de suelos

Braja, (2015) dice que La forma original de este sistema fue propuesta por Casagrande en 1948 para su uso en los trabajos de construcción del aeródromo realizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En colaboración con el U.S. Bureau of Reclamation, este sistema fue revisado en 1952. En la actualidad, es ampliamente utilizado por los ingenieros (Norma ASTM D-2487). El Sistema Unificado de Clasificación clasifica los suelos en dos grandes categorías:

Suelos de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G o S. G es para el suelo de grava o grava, y S para la arena o suelo arenoso. Suelos de grano fino con 50% o más que pasa por el tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M, que es sinónimo de limo inorgánico, C para la arcilla inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas. El símbolo Pt se utiliza para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos. (p.82).

Otros símbolos usados también para la clasificación son:

W (bien clasificado),
P (mal clasificado),
L (baja plasticidad),
H (alta plasticidad).

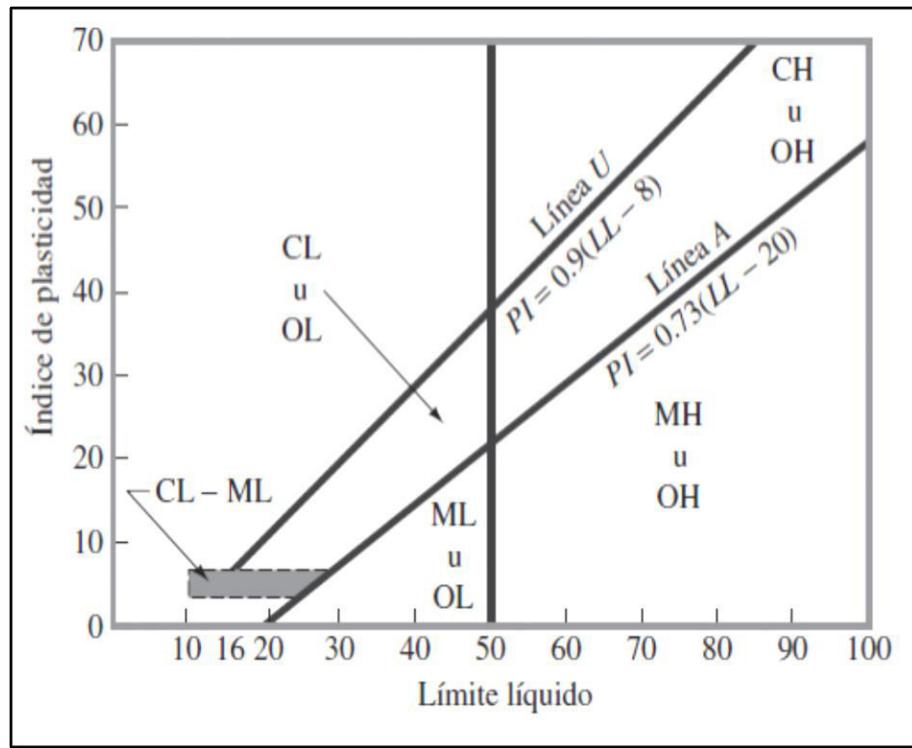


Figura 9.Grafica de plasticidad

Fuente: Braja M. Das, 2015, p. 84

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

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

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

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

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

^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Figura 10.Sistema de clasificación de suelo

Fuente: Braja M. Das, 2015, p.

2.2.7 Compactación de suelos

En la construcción de terraplenes, presas y otras obras de ingeniería civil, los suelos sueltos deben de ser compactados ya que debido a esto los suelos aumentan su capacidad de carga y a la vez se vuelven más estables.

Dicho de otro modo la compactación es la consolidación del suelo por la eliminación del aire esta se realiza a través de energía mecánica; el grado de compactación de un suelo se mide en términos de su densidad seca y del contenido de humedad; así mismo cuando el contenido de humedad aumenta gradualmente, la densidad seca se reduce. El contenido de humedad en el que el suelo alcanza su máxima densidad seca se le llama contenido de humedad óptimo. (Braja M. Das, 2015, p. 91).

La compactación de suelos juega un papel muy importante, si compactamos muestras del mismo tipo en condiciones iguales, variando la humedad se obtiene una curva que se encuentra representada por una gráfica donde las humedades se encuentran en las abscisas y las densidades secas se encuentran en las ordenadas. (Jiménez Salas,J & Justo Alpañes, J .1975. p 221).

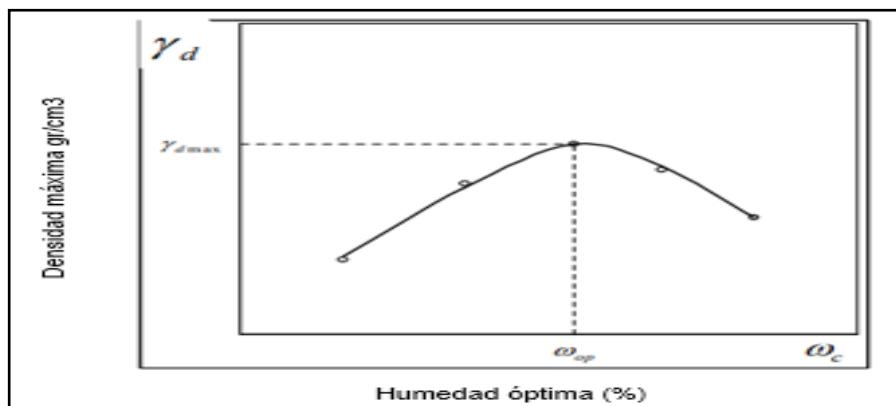


Figura 11.Curva de compactación

Fuente: Clase 8 Compactación de la Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

2.2.8 Factores que afectan la compactación de suelos

Anteriormente se mencionó que la humedad tiene una gran influencia en la compactación de suelos, además de la humedad hay otros factores que afectan la compactación como el tipo de suelo y el esfuerzo de compactación.

a) Tipo de suelo. El tamaño, la forma y la cantidad de los granos tienen una gran influencia en la máxima densidad seca y la humedad óptima; a continuación, se muestra 4 tipos de curvas de compactación.

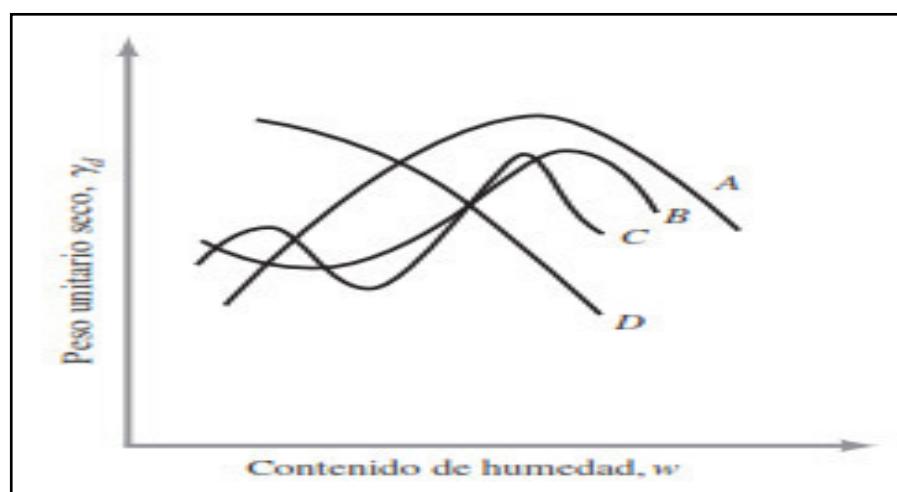


Figura 12.Tipos de curvas de compactación

Fuente: Braja M. Das, 2015, p. 96

Las curvas de tipo A que tienen un solo pico se encuentran por lo general en suelos con un límite líquido entre 30 y 70, las del tipo B y C que tienen un pico y medio se encuentran en suelos con límite líquido de inferior a 30, la curva tipo D no tiene un pico definido. Los suelos con un límite líquido mayor a 70 pueden presentar curvas como las del tipo C o D pero estos no son muy comunes. (Braja M. Das, 2015, Pp. 96-97).

b) Esfuerzo de compactación. Si se cambia el esfuerzo de compactación por unidad de volumen (E), la curva de compactación cambiará esto se puede demostrar con la ayuda del ensayo Proctor en la cual se variará la cantidad de golpes. Se establece que a medida que aumenta el esfuerzo

de compactación, el peso unitario seco máximo de compactación también se incrementa. También se afirma que a medida que aumenta el esfuerzo de compactación, el contenido óptimo de humedad se reduce en cierta medida. (Braja M. Das, 2015, Pp. 96-97).

$$E = \frac{\left(\begin{array}{l} \text{número} \\ \text{de golpes} \\ \text{por capa} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{l} \text{número} \\ \text{de capas} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{l} \text{peso} \\ \text{del} \\ \text{martillo} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{l} \text{altura de} \\ \text{caída del} \\ \text{martillo} \end{array} \right)}{\text{volumen del molde}}$$

Figura 13. Compactación por unidad de volumen

Fuente: Braja M. Das, 2015, p. 97

2.2.9 Compactación en campo de suelos

La mayor parte de la compactación en campo se hace con rodillos, hay cuatro tipos comunes de rodillos: Rodillo de ruedas lisas (o rodillos de tambor liso), rodillo con neumáticos de caucho, rodillos compactadores y rodillo vibratorio.

Los rodillos vibratorios son muy eficientes en la compactación de suelos granulares. Los vibradores se pueden unir a ruedas lisas de caucho o a rodillos compactadores de suelo para proporcionar efectos de vibración en la tierra. La vibración se produce mediante la rotación de pesos fuera del centro.

Además, el tipo de suelo y contenido de humedad deben ser considerados otros factores para alcanzar el peso unitario de compactación deseado en campo. Estos factores incluyen el grosor de la elevación, la intensidad de la presión aplicada por el equipo de compactación y el área sobre la cual se aplica la presión. La presión aplicada en la superficie disminuye con la profundidad, lo que resulta en una disminución en el grado de compactación del suelo. Durante la compactación el peso unitario seco del suelo también se ve afectado por el número de pasadas de los rodillos. El peso unitario seco de un suelo con un contenido de humedad determinado

aumentará hasta un cierto punto con el número de pasadas del rodillo. Más allá de este punto, permanecerá aproximadamente constante. En la mayoría de los casos, alrededor de 4 a 6 pasadas del rodillo darán el peso unitario seco máximo económicamente alcanzable. (Braja M. Das, 2015, Pp. 105,107).

2.2.10 Ensayo de proctor modificado

Con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación en campo, la prueba Proctor estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. Esto se refiere a veces como la prueba Proctor modificada (Norma ASTM D-1557 y Norma AASHTO T 180). Para la realización de la prueba Proctor modificada se utiliza el mismo molde, con un volumen de 943.3 cm³, como en el caso de la prueba Proctor estándar. Sin embargo, el suelo es compactado en cinco capas por un martillo que pesa 44.5 N (masa _ 4.536 kg) y tiene una caída de 457.2 mm. El número de golpes de martillo para cada capa se mantiene en 25, como en el caso de la prueba Proctor estándar.

Especificaciones de la prueba Proctor modificada (Basadas en Norma ASTM Prueba 1577)			
Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del martillo	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de la caída del martillo	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes de martillo por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación	2696 kN·m/m ³	2696 kN·m/m ³	2696 kN·m/m ³
Suelo utilizado	Porción que pasa el tamiz núm. 4 (4.57 mm). Puede ser utilizada si 20% o menos del peso de material es retenido en el tamiz núm. 4	Porción que pasa el tamiz de 9.5 mm. Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más de 20% y 20% o menos del peso es retenido en el tamiz de 9.5 mm.	Porción que pasa el tamiz de 19 mm. Puede utilizarse si más de 20% del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm y menos de 30% del peso es retenido en el tamiz de 19 mm.

Figura 14.Especificaciones de la prueba proctor modificada

Fuente: Braja M. Das, 2015, p. 102

2.3 Definición de términos básicos

- a) **Ensayo de Proctor Modificado.** A través de él es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, a una energía de compactación determinada.
- b) **Densidad Seca Máxima.** Corresponde a la mayor densidad que puede alcanzar un suelo al ser compactado a la humedad óptima.
- c) **Humedad Óptima.** Porcentaje de humedad para el cual un suelo sometido a una energía de compactación determinada presenta su densidad máxima seca.
- d) **Energía de Compactación.** Energía empleada en la compactación de un suelo.

2.4 Hipótesis

- a) La energía de compactación incide en la determinación de la humedad óptima en los suelos granulares.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico de la investigación

3.1.1 Tipo de la investigación

- Cuantitativa**

Ya que se obtendrán los resultados numéricos luego de haber realizado los ensayos a las muestras.

3.1.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

- Descriptiva**

La investigación de nivel **descriptivo** ya que se describe todos los procedimientos que se realizaron en el desarrollo de los ensayos de laboratorios.

3.1.3 Diseño de la investigación

- Experimental**

Porque los resultados fueron obtenidos de los ensayos hechos en el laboratorio.

- **Prospectivo**

Los resultados obtenidos serán procesados luego evaluados y se expresarán en cuadros y gráficos, que en el futuro serán parte de una base de datos de energía de compactación.

- **Procedimiento**

Realizar el Proctor modificado a diferentes energías para obtener los contenidos de humedad.

3.2 Técnicas de investigación

Se realizaron ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas de la Cantera Santa Clara y de la Cantera Lucho.

Los ensayos realizados y todos los datos recolectados en la investigación siguieron el siguiente orden:

1. Ensayo de granulométrico de suelos.
2. Ensayo de Límite plástico, índice de plasticidad.
3. Ensayo Proctor Modificado.

3.3 Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizaron formatos brindados por el laboratorista de mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres en los cuales se irán anotando los datos resultantes de los ensayos realizados a las muestras antes mencionadas.

a) formatos

- **Análisis granulométrico** en este formato se tomó nota de los pesos retenidos en las tamices tanto del agregado grueso como del agregado fino.
- **Límite líquido y límite plástico** en este formato se procedió a tomar nota del número de golpes en los que se cierra el surco de la muestra

ensayada, pesos de las capsulas de la muestra húmeda y pesos de las capsulas de las muestras secas.

- **Proctor modificado** se tomó nota del peso del molde, de la muestra y se continuó con los porcentajes de humedad que se usaría para cada energía utilizada en los ensayos, se continuo tomando nota de los códigos de identificación de las capsulas donde se colocaron las muestras extraídas de los ensayos, posteriormente se anotó el peso de las muestras secas para luego hacer la gráfica de la curva de compactación.

3.4 Procesamiento de datos

Luego de la toma de datos, se procesaron en gabinete; usando las hojas de cálculo (Microsoft Excel), para luego obtener los resultados y las gráficas de cada ensayo realizado durante la investigación.

3.5 Diseño muestral

Para esta investigación, se tomó como caso las muestras obtenidas de la cantera Santa Clara ubicada en el distrito de Ate Vitarte y de la cantera Lucho localizado en el distrito de Pachacámac.

3.6 Variables

3.6.1 Variable dependiente

- Humedad óptima

3.6.2 Variable independiente

- Energía de compactación

3.7 Operacionalización de las variables

Tabla 1.Operacionalización de variables

OBJETIVOS		VARIABLES	
OBJETIVO GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	
	INDICADORES DE X	INDICADORES DE Y	
Determinar la incidencia de la energía de compactación en los suelos granulares para obtener la humedad óptima aplicando proctor modificado.	X: energía de compactación Número de golpes	Y:Humedad óptima Porcentaje de Humedad	

Elaboración: los autores

3.8 Definición operacional

- **Número de golpes:** Es la cantidad de golpes que se le aplicara al suelo para encontrar su humedad óptima y su máxima densidad.
- **Porcentaje de humedad:** Cantidad de agua empleada para realizar el Ensayo de Proctor Modificado a una cierta cantidad de energía (número de golpes).

3.9 Prueba de hipótesis

3.9.1 Hipótesis

Hipótesis alterna (H_A)

La energía de compactación incide en la determinación de la humedad óptima del suelo en los suelos granulares.

Hipótesis nula (H₀)

La energía de compactación no incide en la determinación de la humedad óptima del suelo en los suelos granulares.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO

4.1 Ensayo granulométrico

El ensayo granulométrico se realizó siguiendo los procedimientos establecidos en el Manual de ensayo de materiales MTC E 107. Para el desarrollo de este ensayo se utilizaron los siguientes equipos:

Tamices

Balanza

Agitador mecánico de tamices

Bandejas

Horno



Tamices	Abertura (mm)
3"	75.000
1 1/2"	37.500
3/4"	19.000
3/8"	9.500
4	4.750
8	2.360
16	1.180
30	0.600
50	0.300
100	0.150
200	0.075

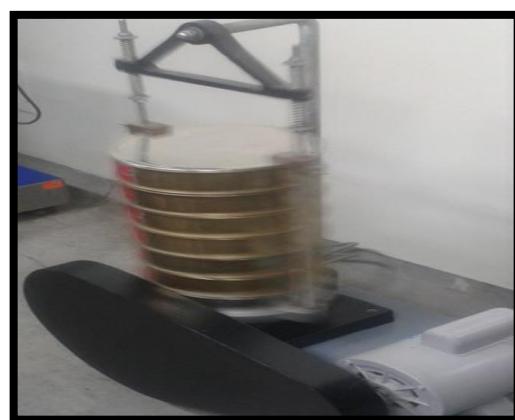
Fotografía 1.Tamices

Elaboración: los autores



Fotografía 2.Balanza

Elaboración: los autores



Fotografía 3.Agitador mecánico de tamices

Elaboración: los autores



Fotografía 4.Bandeja de acero inoxidable

Elaboración: los autores.

Para el ensayo granulométrico por tamizado se usó la norma MTC E 107. Primero se comenzó con el reconocimiento del tamaño nominal de la muestra, posteriormente se hizo el cuarteo manual mecánico. Después se logró obtener la porción de muestra a ensayar.



Fotografía 5.Cuarteador mecánico de material grueso

Elaboración: los autores



Fotografía 6.Obtención de muestra para granulometría

Elaboración: los autores

Posteriormente se lavó la muestra hasta que se desprendieron las partículas finas del agregado grueso y se colocó a secar por 24 horas en un horno a una temperatura de 110 ° C.



Fotografía 7.Lavado de muestra

Elaboración: los autores



Fotografía 8.Secado de la muestra

Elaboración: los autores

Después del secado de la muestra durante 24 horas en el horno se retiró y se esperó a que las muestras se enfriara para tomar el peso, luego se procedió a hace el tamizado y pesado de las muestras pasantes de cada tamiz.



Fotografía 9.Tamizado

Elaboración: los autores



Fotografía 10.Pesado de las muestras retenida

Elaboración: los autores

4.2 Ensayo de límites de atterberg

Para este ensayo se utilizó la MTC 110 Y MTC 111 los cuales están establecidos en el Manual De Ensayos De Materiales, a continuación, se mostrarán los equipos y materiales que se utilizaron para el ensayo.

Aparato de límite líquido (Casa grande)

Acanalador

Recipiente

Espátula

Balanza

Horno

Aqua destilada



Fotografía 11. Aparato de límite líquido (Casa grande)

Elaboración: los autores



Fotografía 12. Agua destilada, Recipiente, Espátula y Acanalador

Elaboración: los autores

Para el ensayo de límites, se comenzó primero con el tamizado de la muestra se usaron 200 gramos del pasante de la malla nº40.



Fotografía 13.Tamizado de la muestra para límites

Elaboración: los autores

Posteriormente se humedeció parte de la muestra pasante de la malla nº 40 con el agua destilada y se procedió a homogenizar con la espátula hasta que se observe una consistencia pastosa.



Fotografía 14.Homogenización de la muestra

Elaboración: los autores

Seguidamente se colocó la muestra húmeda en el aparato de límite líquido (Casa grande), presionándola y esparciéndola solo hasta la mitad de la copa como se aprecia en la fotografía 15



Fotografía 15. Muestra en el aparato Casa Grande

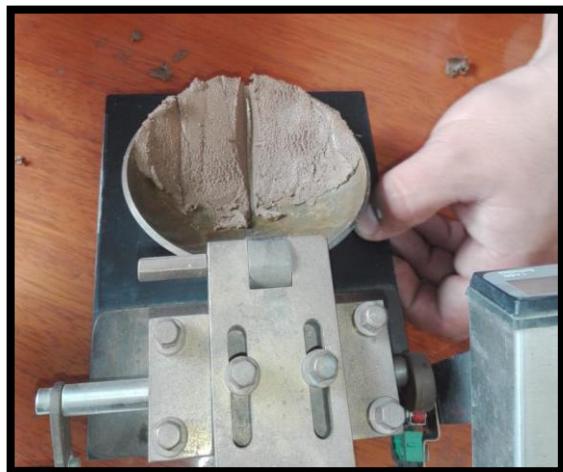
Elaboración: los autores

Luego de tener la muestra esparcida se utilizó el acanalador y se dividió la muestra contenida en la copa haciendo una ranura, seguidamente se procedió a dar golpes girando el manubrio a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de la muestra estén en contacto y se tomó nota del número de golpes se fueron necesarios para que la ranura se cierre,



Fotografía 16. División de la muestra

Elaboración: los autores



Fotografía 17.Cierre de Ranura en la muestra después de los golpes

Elaboración: los autores

Después se tomó una porción de la muestra y se la depositó en una capsula y se tomó el peso de esta. Y se repitió el procedimiento dos veces añadiendo agua a la muestra cada vez con el fin de disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura para estas pruebas se realizaron de 25 a 35 golpes para la segunda y de 15 a 25 golpes la tercera.

4.3 Ensayo proctor modificado

Para la elaboración de este ensayo se usó como referencia el Manual de Ensayo de Materiales dentro de la cual está la la MTC E 115 (Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada). Para la realización del ensayo se usaron los siguientes equipos y materiales.

Molde de 6 pulgadas de diámetro

Martillo o pisón manual de 4.54 kg con una caída de 18 pulgadas

Extractor de muestras

Balanzas

Horno

Una regla recta metálica

Tamiz de 3/4

Herramientas para la mezcla



Fotografía 18.Molde nº 6 “Proctor modificado

Elaboración: los autores



Fotografía 19.Martillo o pisón manual de 4.54 kg

Elaboración: los autores



Fotografía 20.Extractor de muestras

Elaboración: los autores



Fotografía 21.Balanzas

Elaboración: los autores



Fotografía 22.Horno eléctrico marca ORION

Elaboración: los autores



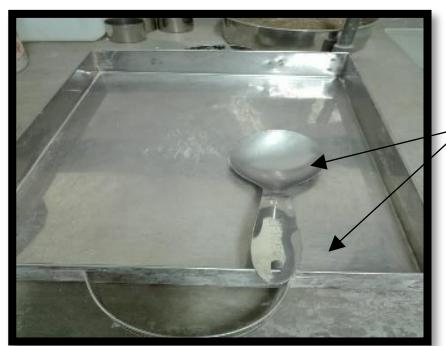
Fotografía 23.Regla recta metálica

Elaboración: los autores



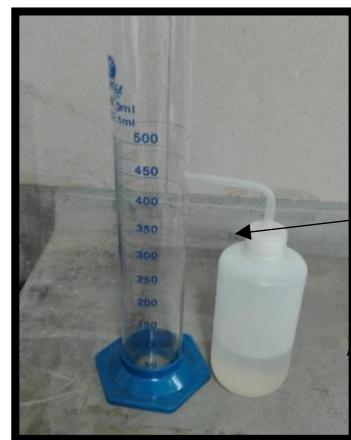
Fotografía 24.Tamiz ¾"

Elaboración: los autores



Fotografía 25.Herramientas para la mezcla

Elaboración: los autores



Probeta de 500 ml y Pizeta

Probeta de 500 ml y Pizeta

Fotografía 26.Herramientas para la mezcla

Elaboración: los autores



Comba, Cincel y Brocha

Fotografía 27.Herramientas para la extracción de muestra

Elaboración: los autores

Para la realización de este ensayo se comenzó con la preparación de la muestra; la cual se tamizo usando el tamiz de $\frac{3}{4}$ ", ya que menos del 30% en peso fue retenido, se usó el método de compactación "c"



Fotografía 28.Preparación de la muestra

Elaboración: los autores

Seguidamente se cuarteo la muestra para homogenizarla y se obtuvo una porción de la muestra para el ensayo para la cual se utilizó 5 kg por cada humedad ensayada.



Fotografía 29.Cuarteo de la muestra

Elaboración: los autores



Fotografía 30.Pesado de la muestra obtenida

Elaboración: los autores

Ya obtenida la muestra se procedió a humedecerla. Para estos ensayos se usaron de 4 a 5 humedades por energía en el caso de la muestra n° 1 de la cantera Santa Clara se usaron 4 humedades por energía mientras que para la muestra n° 2 se usaron 5 humedades por energía ensayada y en la muestra tres (muestra residuo) se usaron 4 humedades por energía ensayada.



Fotografía 31.Humedeciendo la muestra

Elaboración: los autores

Después de homogenizar la muestra se vertió en el molde, Antes de verter la muestra homogenizada en el molde se tomó nota del peso de este.



Fotografía 32.Peso del molde

Elaboración: los autores



Fotografía 33.Primera capa de muestra húmeda

Elaboración: los autores

Luego de verter la muestra húmeda en el molde se continuó con la compactación de la misma. Se hizo la compactación a las 5 capas con las cuales se llenó el molde, cada capa se compactó con una misma energía.



Fotografía 34.Compactación de la muestra

Elaboración: los autores

Al compactar la última capa se retiró el collarín del molde y se procedió a enrazar para quitar el excedente de materia.



Fotografía 35.Retiro del material excedente

Elaboración: los autores

Luego de retirar el excedente se llevó la muestra compactada a pesar, se procedió a tomar nota del peso obtenido.



Fotografía 36.Peso de la muestra compactada

Elaboración: los autores

Después de tomar nota del peso del molde con la muestra compactada se procedió a retirar la muestra del molde usando un extractor de muestras.



Fotografía 37.Extracción de la muestra compactada

Elaboración: los autores

Luego de extraer la muestra del molde se continuó con la obtención de una porción de muestra la cual se extrajo de la parte central del suelo compactado



Fotografía 38.Obtención de porción de muestra

Elaboración: los autores

Seguidamente se tomó nota del peso de la capsula y se colocó en ella la porción antes obtenida, se volvió tomar el peso, esta vez de la capsula y la muestra obtenida.



Fotografía 39.Peso de cápsula más muestra

Elaboración: los autores

Se repitió el proceso antes mencionado para cada humedad ensayada y una vez obtenidos todos los pesos se continuó con el procesamiento de los datos, Los cuales se pasaron a formatos de hojas de cálculo los cuales nos facilitaron la obtención de resultados.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Resultados del análisis granulométrico y límites de atterberg

Tabla 2.Análisis granulométrico muestra n°1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D 422					
Muestra N° 2	Cantera Santa Clara				
Laboratorio	Mecanica de suelos de la Universidad de San Martin de Porres				
Peso Suelo Seco (g)	5000				
Peso Suelo Lavado (g)	4236.5				
Tamiz ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido		% Pasa
			Parcial	Acumulado	
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100
1 1/2"	37.500	61.45	1.23	1.23	98.77
3/4"	19.000	493.19	9.86	11.09	88.91
3/8"	9.500	1006.78	20.14	31.23	68.77
4	4.750	737.02	14.74	45.97	54.03
8	2.360	536.81	10.74	56.71	43.30
16	1.180	406.79	8.14	64.84	35.16
30	0.600	329.80	6.60	71.44	28.56
50	0.300	233.57	4.67	76.11	23.89
100	0.150	267.13	5.34	81.45	18.55
200	0.075	163.95	3.28	84.73	15.27
Fondo	----	763.50	15.27	100.00	0.00
TOTAL			100.00		

Elaboración: los autores

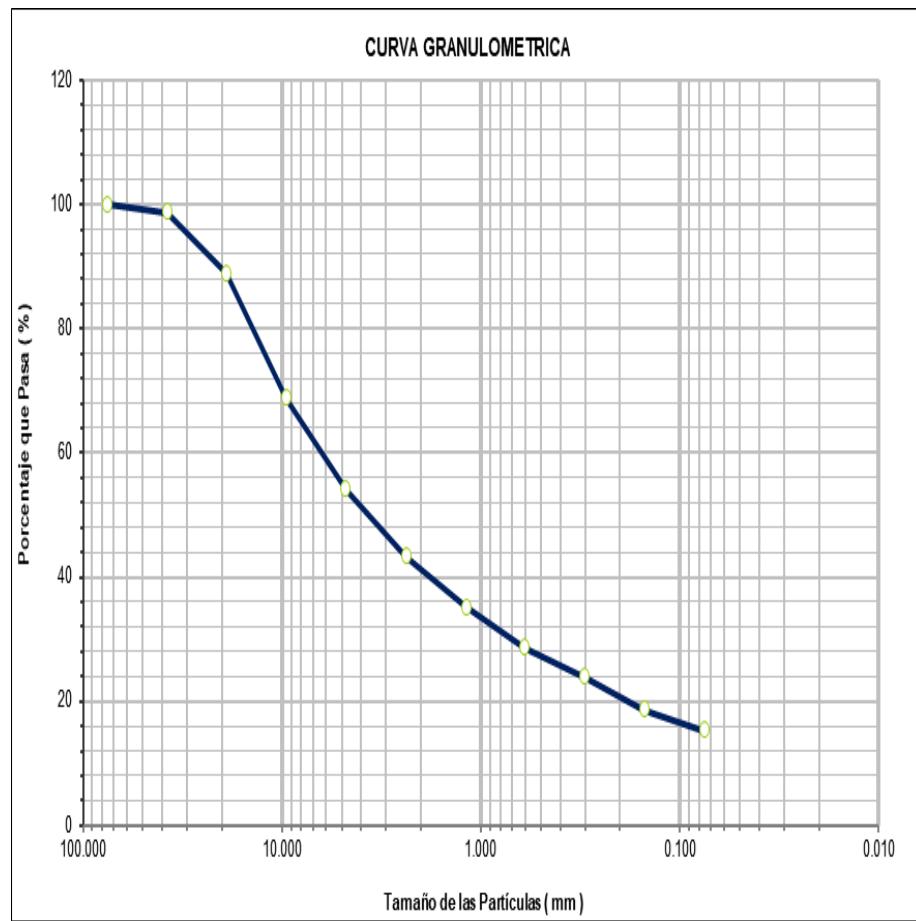


Gráfico 1. Análisis granulométrico muestra n°1

Elaboración: los autores

Como se aprecia en la granulometría de la muestras nº1(cantera Santa Clara) la malla 3/4 tiene el 9.86 % de peso retenido y la malla de 3/8 tiene el 20.14 % de peso retenido lo que nos lleva a escoger el método que se usara en el proctor modificado que es el método C que se usa cuando más del 20% en peso del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm (3/8) y menos del 30% en peso es retenido en el tamiz de 19 mm (3/4)

Tabla 3. Límite líquido muestra n° 1

 USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
LÍMITE LÍQUIDO ASTM D 4318					
LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4319					
Muestra n° 1	Cantera Santa Clara				
Laboratorio	Mecanica de suelos de la Universidad de San Martin de Porres				
	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLASTICO	
	UND	3-F	4-A	2-C	
Tara	gr	29.32	28.63	28.15	
Tara + Muestra húmeda	gr	48.78	52.31	45.53	
Tara + Muestra seca	gr	45.71	48.37	42.55	
Peso de agua	gr	3.07	3.94	2.98	
Peso de muestra seca	gr	16.39	19.74	14.4	
Contenido de humedad	%	18.73	19.96	20.69	
Nº de golpes		28	21	16	

LÍMITE LÍQUIDO	
Contenido de humedad %	21.00
	20.50
	20.00
	19.50
	19.00
	18.50
Nº Golpes	10 15 20 25 30

Nro de golpes	Contenido de humedad
28	18.73
21	19.96
16	20.69
25	19.25

Límite de consistencia	
LL	19.25%
LP	NP
IP	NP

Elaboración: los autores

Clasificación SUCS

SM: Arena limosa.

Tabla 4. Análisis granulométrico muestra n°2

USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D 422					
Muestra N° 2	Cantera Lucho				
Laboratorio	Mecanica de suelos de la Universidad de San Martin de Porres				
Peso Suelo Seco (g)	5000				
Peso Suelo Lavado (g)	4288				
Tamiz ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido		% Pasa
			Parcial	Acumulado	
3"	75.000	0.0	0.00	0.00	100
1 1/2"	37.500	53.5	1.07	1.07	98.93
3/4"	19.000	739.5	14.79	15.86	84.14
3/8"	9.500	1039.0	20.78	36.64	63.36
4	4.750	886.0	17.72	54.36	45.64
8	2.360	500.0	10.00	64.36	35.64
16	1.180	337.5	6.75	71.11	28.89
30	0.600	219.0	4.38	75.49	24.51
50	0.300	142.0	2.84	78.33	21.67
100	0.150	183.0	3.66	81.99	18.01
200	0.075	188.5	3.77	85.76	14.24
Fondo	----	712.0	14.24	100.00	0.00
TOTAL			100.00		

Elaboración: los autores

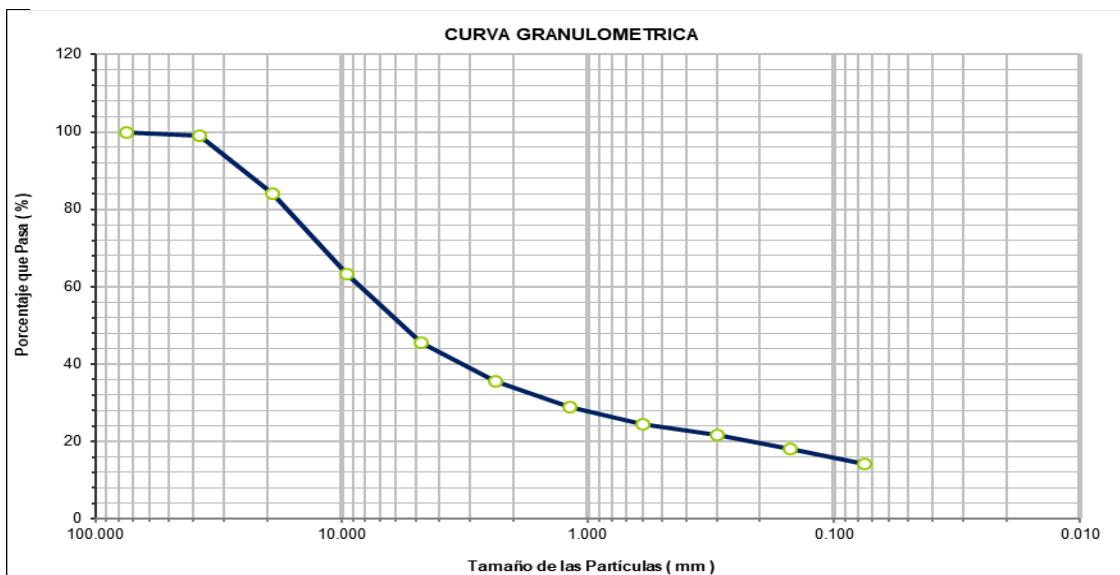


Gráfico 2. Curva granulométrica muestra n°2

Elaboración: los autores

Tabla 5.Límite líquido y límite plástico

 USMP FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA LÍMITE LÍQUIDO ASTM D 4318 LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4319		
Muestra n° 2	Cantera Lucho	
Laboratorio	Laboratorio de mecanica de suelos de la Universidad de Sn Martin de Porres	
	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLASTICO
UND		
Tara	gr	
Tara + Muestra húmeda	gr	
Tara + Muestra seca	gr	
Peso de agua	gr	
Peso de muestra seca	gr	
Contenido de humedad	%	
Nro de golpes		
	NP	NP

Elaboración: los autores

Como se aprecia en la tabla 5. Esta muestra no presenta límite líquido ni límite plástico, debido a la alta presencia de arenas.

Clasificación SUCS

GM: Grava limosa.

Como se aprecia en la granulometría de la muestras n°1(Cantera Lucho) la malla 3/4 tiene el 14.79 % de peso retenido y la malla de 3/8 tiene el 20.78 % de peso retenido lo que nos lleva a escoger el método que se usara en el proctor modificado que es el método C que se usa cuando más del 20% en peso del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm (3/8) y menos del 30 % en peso es retenido en el tamiz de 19 mm (3/4).

Además, la granulometría en las tablas 2 y 4 el porcentaje de material que pasa por la malla n° 200 es de 15.24% y 14.24% respectivamente por lo que según la clasificación AASHTO ambas muestras son de suelos granulares.

5.2 Resultados proctor modificado muestra n° 1

Tabla 6. Compactación proctor modificado 56 golpes muestra n° 1

USMP		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557							
Muestra N° 1	Cantera Santa Clara						
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres						
ENERGIA DE COMPACTACION	27.37 kg.cm/cm3						
MOLDE	2	2	2	2			
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00			
Volumen molde (cm3)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31			
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11392.00	11529.00	11530.00	11289.00			
Peso Suelo Húmedo	4956.00	5093.00	5094.00	4853.00			
Peso molde + Suelo seco (g)	11168.54	11190.88	11171.54	10843.56			
Peso Suelo Seco	4732.54	4754.88	4735.54	4407.56			
Densidad húmeda (g/cm3)	2.33	2.40	2.40	2.29			
CÁPSULA	1-C	2-A	3-A	4-E			
Peso cápsula (g)	28.92	28.74	28.70	28.74			
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	78.60	81.76	80.57	82.67			
Peso cápsula + Suelo seco (g)	76.36	78.24	76.92	77.72			
Peso agua (g)	2.24	3.52	3.65	4.95			
Peso suelo seco (g)	47.44	49.50	48.22	48.98			
Humedad (%)	4.722	7.111	7.569	10.106			
Densidad seca (g/cm3)	2.229	2.239	2.230	2.076			
Humedad Óptima (%)	6.138						
Densidad Seca Máxima (g/cm3)	2.250						

Elaboración: los autores

Tabla 7. $E_c = 27.37 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra n°1

Proctor Modificados muestra n°1 (56 golpes)		
N° de golpes	56	
N° de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm3
Energía Compactación	27.37	kg.cm/cm3

Elaboración: los autores

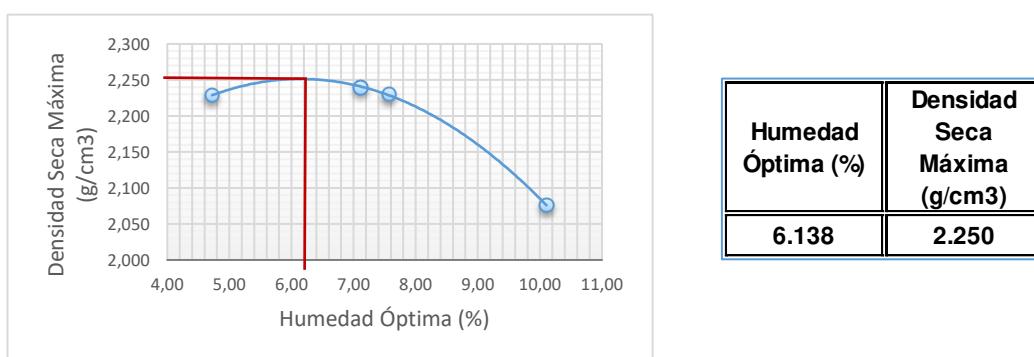


Gráfico 3.Curva de compactación 56 golpes muestra n°1

Elaboración: los autores

Tabla 8. Compactación proctor modificado 57 golpes muestra n° 1.

 USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557				
Muestra N° 1	Cantera Santa Clara			
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres			
ENERGÍA DE COMPACTACION	27.86 kg.cm/cm³			
MOLDE	2	2	2	2
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00
Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11472.50	11506.00	11535.50	11385.50
Peso Suelo Húmedo	5036.50	5070.00	5099.50	4949.50
Peso molde + Suelo seco (g)	11207.24	11215.09	11171.02	10889.98
Peso Suelo Seco	4771.24	4779.09	4735.02	4453.98
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.37	2.39	2.40	2.33
CÁPSULA	2-B	5-B	2-F	2
Peso cápsula (g)	29.07	29.28	28.21	28.70
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	73.12	76.51	76.34	72.45
Peso cápsula + Suelo seco (g)	70.80	73.80	72.90	68.07
Peso agua (g)	2.32	2.71	3.44	4.38
Peso suelo seco (g)	41.73	44.52	44.69	39.37
Humedad (%)	5.560	6.087	7.697	11.125
Densidad seca (g/cm ³)	2.247	2.251	2.230	2.098
Humedad Óptima (%)	6.100			
Densidad Seca Máxima (g/cm ³)	2.251			

Elaboración: los autores

Tabla 9. $E_c = 27.37 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra n°1

Proctor Modificados muestra n°1 (57 golpes)		
N° de golpes	57	
N° de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm ³
Energía Compactación	27.86	kg.cm/cm ³

Elaboración: los autores

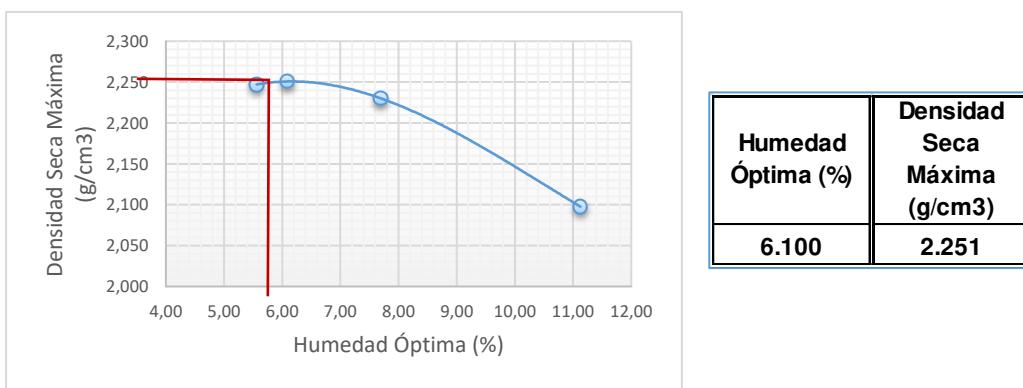


Gráfico 4. Curva de compactación 57 golpes muestra n°1

Elaboración: los autores

Tabla 10. Compactación proctor modificado 58 golpes muestra n°1

USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557				
Muestra N° 1	Cantera Santa Clara			
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres			
ENERGÍA DE COMPACTACION	28.35 Kg.cm/cm³			
MOLDE	2	2	2	2
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00
Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11405.00	11561.00	11514.50	11409.50
Peso Suelo Húmedo	4969.00	5125.00	5078.50	4973.50
Peso molde + Suelo seco (g)	11158.66	11243.23	11109.18	10895.70
Peso Suelo Seco	4722.66	4807.23	4673.18	4459.70
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.34	2.41	2.39	2.34
CÁPSULA	7-B	5-E	3-E	2-C
Peso cápsula (g)	28.23	27.80	28.76	28.16
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	81.28	81.99	81.76	81.98
Peso cápsula + Suelo seco (g)	78.65	78.63	77.53	76.42
Peso agua (g)	2.63	3.36	4.23	5.56
Peso suelo seco (g)	50.42	50.83	48.77	48.26
Humedad (%)	5.216	6.610	8.673	11.521
Densidad seca (g/cm ³)	2.224	2.264	2.201	2.100
Humedad Óptima (%)	6.600			
Densidad Seca Máxima (g/cm ³)	2.265			

Elaboración: los autores

Tabla 11. $E_c = 28.35 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra n°1

Proctor Modificados muestra n°1 (58 golpes)		
Nº de golpes	58	
Nº de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm ³
Energía Compactación	28.35	kg.cm/cm ³

Elaboración: los autores

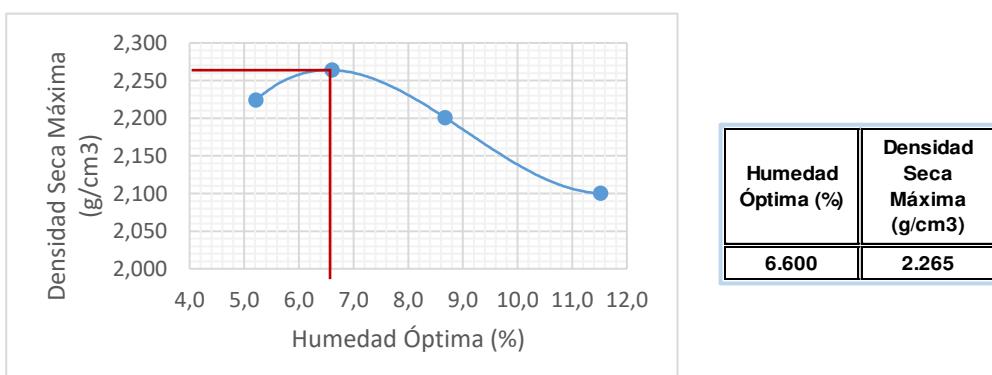


Gráfico 5.Curva de compactación 58 golpes muestra n°1

Elaboración: los autores

Tabla 12. Compactación proctor modificado 59 golpes muestra n° 1

 USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557			
Muestra N° 1	Cantera Santa Clara		
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres		
ENERGIA DE COMPACTACION	28.84 Kg.cm/cm3		
MOLDE	2	2	2
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00
Volumen molde (cm3)	2123.31	2123.31	2123.31
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11458.00	11529.00	11502.50
Peso Suelo Húmedo	5022.00	5093.00	5066.50
Peso molde + Suelo seco (g)	11236.62	11184.26	11092.84
Peso Suelo Seco	4800.62	4748.26	4656.84
Densidad húmeda (g/cm3)	2.37	2.40	2.39
CÁPSULA	6-E	4-A	6-C
Peso cápsula (g)	29.22	28.64	28.33
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	78.90	78.87	78.79
Peso cápsula + Suelo seco (g)	76.71	75.47	74.71
Peso agua (g)	2.19	3.40	4.08
Peso suelo seco (g)	47.49	46.83	46.38
Humedad (%)	4.611	7.260	8.797
Densidad seca (g/cm3)	2.261	2.236	2.193
Humedad Óptima (%)	5.000		
Densidad Seca Máxima (g/cm3)	2.260		

Elaboración: los autores

Tabla 13. $E_c = 28.84 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra

Proctor Modificados muestra n°1 (59 golpes)		
N° de golpes	59	
N° de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm3
Energía Compactación	28.84	kg.cm/cm3

Elaboración: los autores

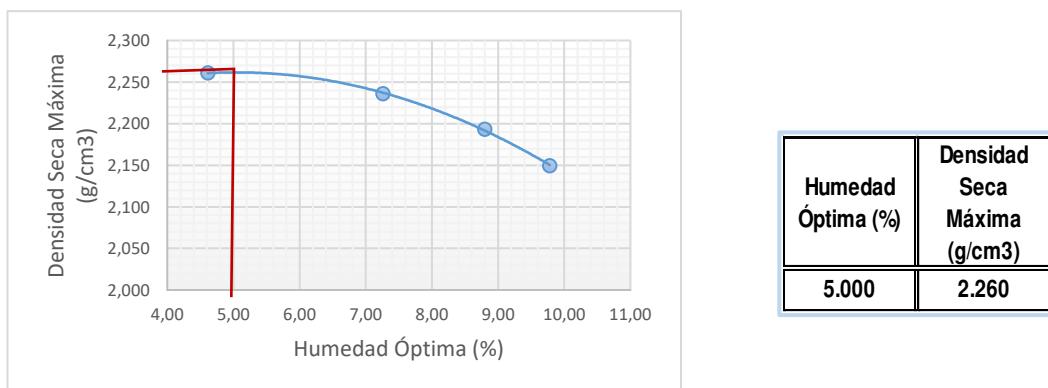


Gráfico 6. Curva de compactación 59 golpes muestra n°1

Elaboración: los autores

Tabla 14. Compactación proctor modificado 60 golpes muestra n° 1

USMP SAN MARTÍN DE PÓRREZ		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557					
Muestra N° 1	Cantera Santa Clara				
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres				
ENERGIA DE COMPACTACION	29.33 Kg.cm/cm³				
MOLDE	2	2	2		
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00		
Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31		
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11463.00	11492.50	11485.00		
Peso Suelo Húmedo	5027.00	5056.50	5049.00		
Peso molde + Suelo seco (g)	11230.18	11138.39	11076.93		
Peso Suelo Seco	4794.18	4702.39	4640.93		
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.37	2.38	2.38		
CÁPSULA	7-B	5-E	6-C		
Peso cápsula (g)	28.23	27.81	28.36		
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	66.88	77.36	76.49		
Peso cápsula + Suelo seco (g)	65.09	73.89	72.60		
Peso agua (g)	1.79	3.47	3.89		
Peso suelo seco (g)	36.86	46.08	44.24		
Humedad (%)	4.856	7.530	8.793		
Densidad seca (g/cm ³)	2.258	2.215	2.186		
Humedad Óptima (%)	5.000				
Densidad Seca Máxima (g/cm ³)	2.258				

Elaboración: los autores

Tabla 15. $E_c = 29.33 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra n°1

Proctor Modificados muestra n°1 (60 golpes)		
Nº de golpes	60	
Nº de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm ³
Energía Compactación	29.33	kg.cm/cm ³

Elaboración: los autores

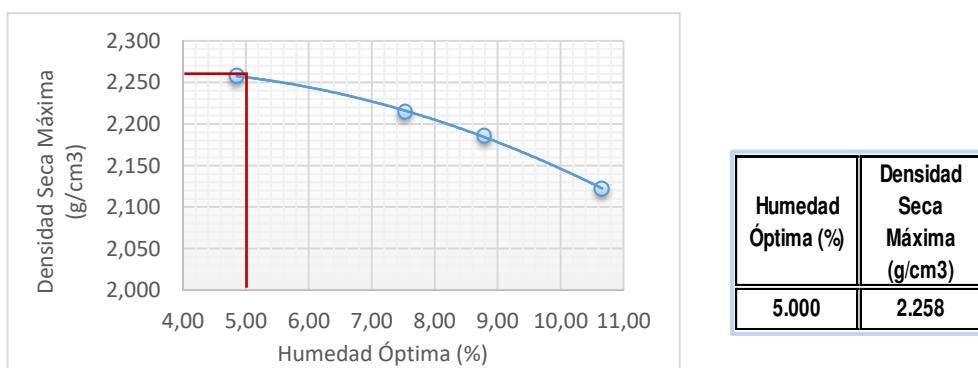


Gráfico 7.Curva de compactación 60 golpes muestra n°1

Elaboración: los autores

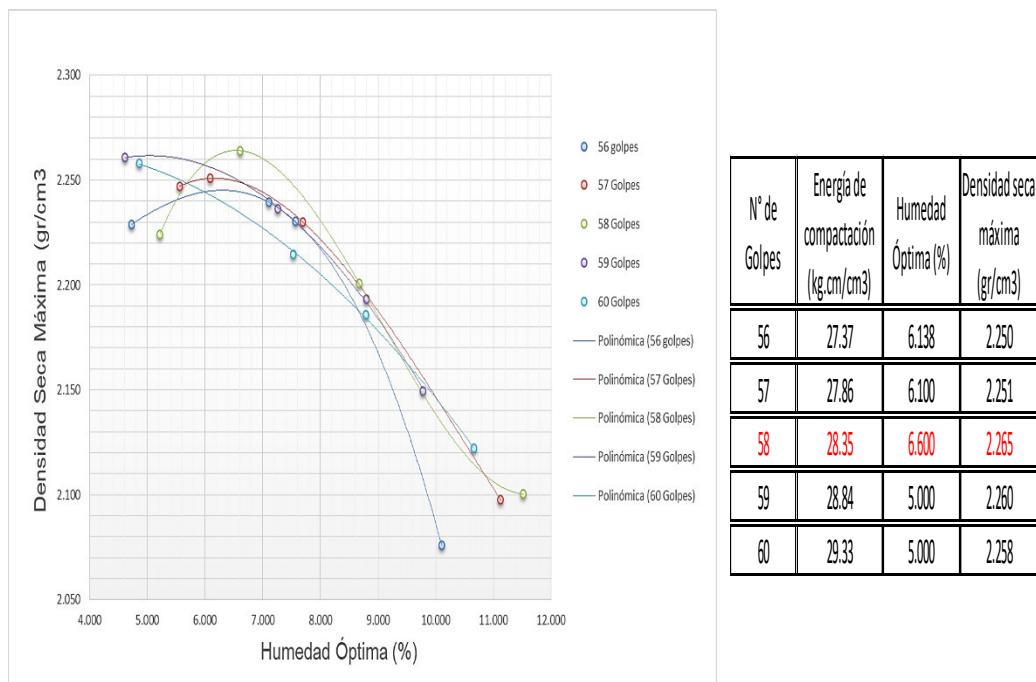


Gráfico 8. Variación de energías de compactación muestra n° 1
Elaboración: los autores

Como se aprecia en los gráficos 7 y 8 se logra observar la variación de la energía de compactación en donde a los 58 golpes es cuando se obtiene una humedad óptima de 6.600 % y a la vez una máxima densidad seca de 2.266 gr/cm³ a comparación de la de 56 golpes donde se obtuvo 6.138 % de humedad y 2.250 gr /cm; también se observa que a partir de los 59 golpes la densidad máxima comienza a disminuir.

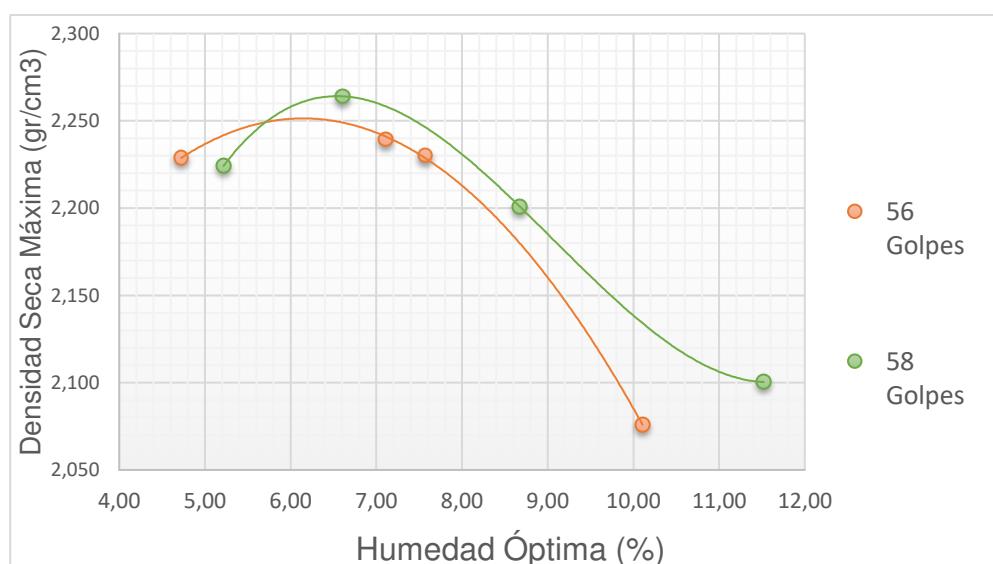


Gráfico 9. Variación de energías de 56 golpes y 58 golpes muestra n° 1
Elaboración: los autores

5.3 Resultados proctor modificado muestra n° 2

Tabla 16. Compactación proctor modificado 56 golpes muestra n° 2

USMP SAN MARTÍN DE PORRÉS		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA									
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557											
Muestra N° 2	Cantera Lucho										
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres										
ENERGIA DE COMPACTACION 27.37 kg.cm/cm3											
MOLDE	2	2	2	2	2						
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00						
Volumen molde (cm3)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31						
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11192.50	11356.50	11396.50	11315.00	11239.00						
Peso Suelo Húmedo	4756.50	4920.50	4960.50	4879.00	4803.00						
Peso molde + Suelo seco (g)	10985.48	11075.16	10971.23	10817.92	10726.36						
Peso Suelo Seco	4549.48	4639.16	4535.23	4381.92	4290.36						
Densidad húmeda (g/cm3)	2.24	2.32	2.34	2.30	2.26						
CÁPSULA	6-E	7-B	5-E	6-C	3-E						
Peso cápsula (g)	29.24	28.23	27.80	28.36	28.79						
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	76.34	76.85	76.79	76.75	76.76						
Peso cápsula + Suelo seco (g)	74.29	74.07	72.59	71.82	71.64						
Peso agua (g)	2.05	2.78	4.20	4.93	5.12						
Peso suelo seco (g)	45.05	45.84	44.79	43.46	42.85						
Humedad (%)	4.550	6.065	9.377	11.344	11.949						
Densidad seca (g/cm3)	2.143	2.185	2.136	2.064	2.021						
Humedad Óptima (%)	6.800										
Densidad Seca Máxima (g/cm3)	2.185										

Elaboración: los autores

Tabla 17. $E_c = 27.37 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra n° 2

Proctor Modificados muestra n°2 (56 golpes)		
N° de golpes	56	
N° de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm3
Energía Compactación	27.37	kg/cm2

Elaboración: los autores

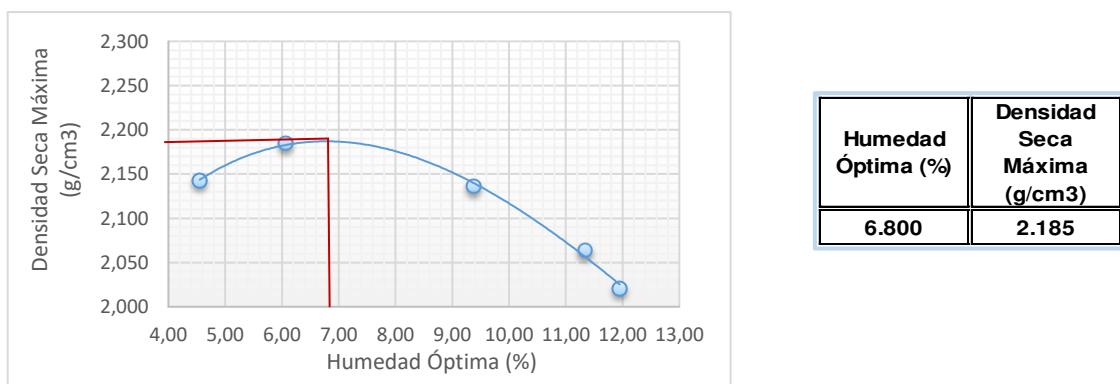


Gráfico 10.Curva de compactación 56 golpes muestra n° 2

Elaboración: los autores

Tabla 18. Compactación proctor modificado 57 golpes muestra n° 2

USMP FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA					
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557					
Muestra N° 2	Cantera Lucho				
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres				
ENERGÍA DE COMPACTACION	27.86 kg.cm/cm³				
MOLDE	2	2	2	2	2
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00
Volumen molde (cm³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11241.50	11353.00	11378.50	11323.50	11260.00
Peso Suelo Húmedo	4805.50	4917.00	4942.50	4887.50	4824.00
Peso molde + Suelo seco (g)	11084.23	11041.81	10983.94	10810.54	10683.31
Peso Suelo Seco	4648.23	4605.81	4547.94	4374.54	4247.31
Densidad húmeda (g/cm³)	2.26	2.32	2.33	2.30	2.27
CÁPSULA	4-F	6-B	3-E	6-E	5-E
Peso cápsula (g)	29.50	29.15	28.78	29.24	27.81
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	73.50	73.55	73.50	73.45	73.65
Peso cápsula + Suelo seco (g)	72.06	70.74	69.93	68.81	68.17
Peso agua (g)	1.44	2.81	3.57	4.64	5.48
Peso suelo seco (g)	42.56	41.59	41.15	39.57	40.36
Humedad (%)	3.383	6.756	8.676	11.726	13.578
Densidad seca (g/cm³)	2.189	2.169	2.142	2.060	2.000
Humedad Óptima (%)	4.000				
Densidad Seca Máxima (g/cm³)	2.189				

Elaboración: los autores

Tabla 19. $E_c = 27.86 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra n° 2

Proctor Modificados muestra n°2 (57 golpes)		
N° de golpes	57	
N° de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm³
Energía Compactación	27.86	kg.cm/cm³

Elaboración: los autores

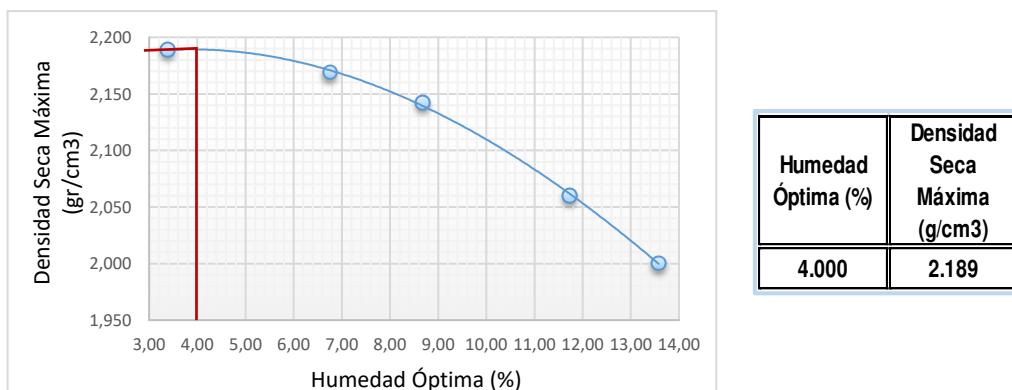


Gráfico 11. Curva de compactación 57 golpes muestra n° 2

Elaboración: los autores

Tabla 20. Compactación proctor modificado 58 golpes muestra n° 2

 USMP SAN MARTÍN DE PORRES					
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557					
Muestra N° 2	Cantera Lucho				
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres				
ENERGIA DE COMPACTACION	28.35 kg.cm/cm³				
MOLDE	2	2	2	2	2
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00
Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11201.00	11410.50	11359.50	11333.50	11317.00
Peso Suelo Húmedo	4765.00	4974.50	4923.50	4897.50	4881.00
Peso molde + Suelo seco (g)	11011.72	11090.44	10946.48	10848.30	10755.66
Peso Suelo Seco	4575.72	4654.44	4510.48	4412.30	4319.66
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.24	2.34	2.32	2.31	2.30
CÁPSULA	1-A	3-A	4-A	4-B	1-F
Peso cápsula (g)	28.46	28.69	28.59	29.74	28.27
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	83.34	83.71	73.65	83.54	83.92
Peso cápsula + Suelo seco (g)	81.16	80.17	69.87	78.21	77.52
Peso agua (g)	2.18	3.54	3.78	5.33	6.40
Peso suelo seco (g)	52.70	51.48	41.28	48.47	49.25
Humedad (%)	4.137	6.876	9.157	10.996	12.995
Densidad seca (g/cm ³)	2.155	2.192	2.124	2.078	2.034
Humedad Óptima (%)	6.200				
Densidad Seca Máxima (g/cm ³)	2.194				

Elaboración: los autores

Tabla 21. $E_c = 28.35 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra n° 2

Proctor Modificados muestra n°2 (58 golpes)		
N° de golpes	58	
N° de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm ³
Energía Compactación	28.35	kg.cm/cm³

Elaboración: los autores

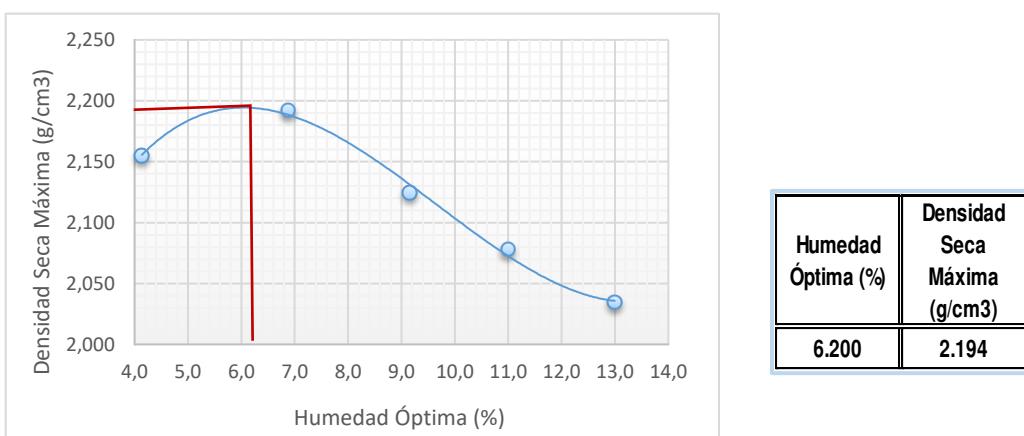


Gráfico 12. Curva de compactación 58 golpes muestra n° 2

Elaboración: los autores

Tabla 22. Compactación proctor modificado 59 golpes muestra n° 2

USMP FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA					
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557					
Muestra N° 2	Cantera Lucho				
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres				
ENERGIA DE COMPACTACION	28.84 kg.cm/cm³				
MOLDE	2	2	2	2	2
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00
Volumen molde (cm³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11229.50	11413.00	11449.00	11346.00	11253.00
Peso Suelo Húmedo	4793.50	4977.00	5013.00	4910.00	4817.00
Peso molde + Suelo seco (g)	11009.85	11064.48	11039.27	10908.76	10696.73
Peso Suelo Seco	4573.85	4628.48	4603.27	4472.76	4260.73
Densidad húmeda (g/cm³)	2.26	2.34	2.36	2.31	2.27
CÁPSULA	4-F	6-B	3-E	6-E	7-B
Peso cápsula (g)	29.50	29.15	28.78	29.24	28.23
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	71.62	71.42	71.48	71.80	71.96
Peso cápsula + Suelo seco (g)	69.69	68.46	67.99	68.01	66.91
Peso agua (g)	1.93	2.96	3.49	3.79	5.05
Peso suelo seco (g)	40.19	39.31	39.21	38.77	38.68
Humedad (%)	4.802	7.530	8.901	9.776	13.056
Densidad seca (g/cm³)	2.154	2.180	2.168	2.107	2.007
Humedad Óptima (%)	6.800				
Densidad Seca Máxima (g/cm³)	2.195				

Elaboración: los autores

Tabla 23. $E_c = 28.84 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra n° 2

Proctor Modificados muestra n°2 (59 golpes)		
N° de golpes	59	
N° de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm³
Energía Compactación	28.84	kg.cm/cm³

Elaboración: los autores

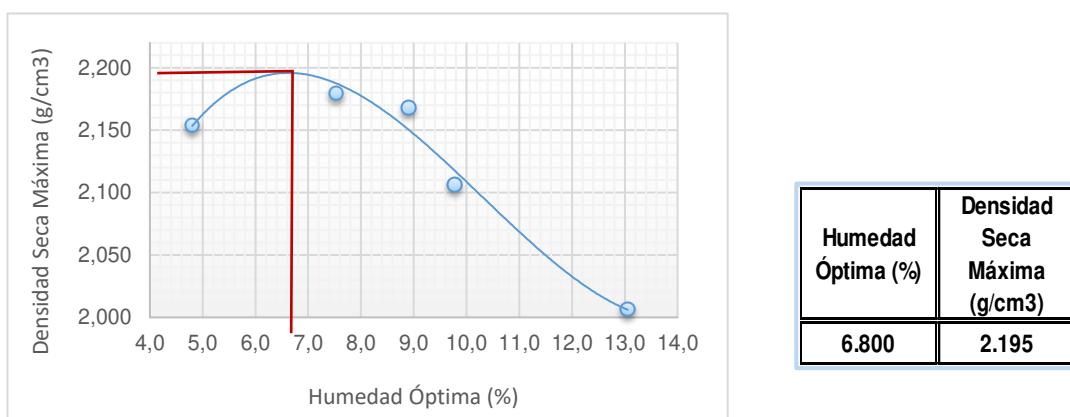


Gráfico 13.Curva de compactación 59 golpes muestra n° 2

Elaboración: los autores

Tabla 24. Compactación proctor modificado 60 golpes muestra n° 2

USMP SAN MARTÍN DE PORRES FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557					
Muestra N° 2	Cantera Lucho				
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres				
ENERGIA DE COMPACTACION					
MOLDE	2	2	2	2	2
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00
Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11183.50	11382.00	11407.00	11321.00	11354.00
Peso Suelo Húmedo	4747.50	4946.00	4971.00	4885.00	4918.00
Peso molde + Suelo seco (g)	11023.04	11101.58	11034.31	10832.72	10773.86
Peso Suelo Seco	4587.04	4665.58	4598.31	4396.72	4337.86
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.24	2.33	2.34	2.30	2.32
CÁPSULA	4-A	4-F	6-B	3-E	3-F
Peso cápsula (g)	28.59	29.50	29.15	28.78	29.31
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	72.97	74.30	74.90	73.70	75.85
Peso cápsula + Suelo seco (g)	71.47	71.76	71.47	69.21	70.36
Peso agua (g)	1.50	2.54	3.43	4.49	5.49
Peso suelo seco (g)	42.88	42.26	42.32	40.43	41.05
Humedad (%)	3.498	6.010	8.105	11.106	13.374
Densidad seca (g/cm ³)	2.160	2.197	2.166	2.071	2.043
Humedad Óptima (%)	6.000				
Densidad Seca Máxima (g/cm ³)	2.200				

Elaboración: los autores

Tabla 25. $E_c = 29.33 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra n° 2

Proctor Modificados muestra n°2 (60 golpes)		
N° de golpes	60	
N° de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm ³
Energía Compactación	29.33	kg.cm/cm ³

Elaboración: los autores

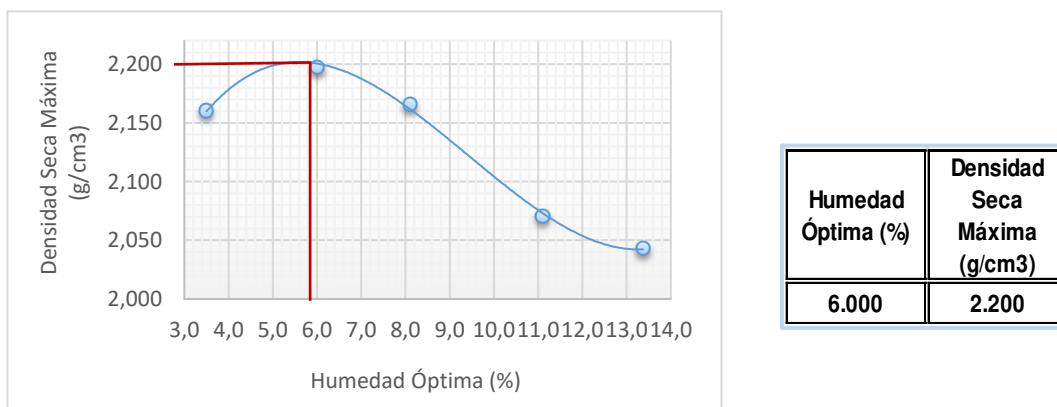


Gráfico 14.Curva de compactación 60 golpes muestra n° 2

Elaboración: los autores

Tabla 26. Compactación proctor modificado 61 golpes

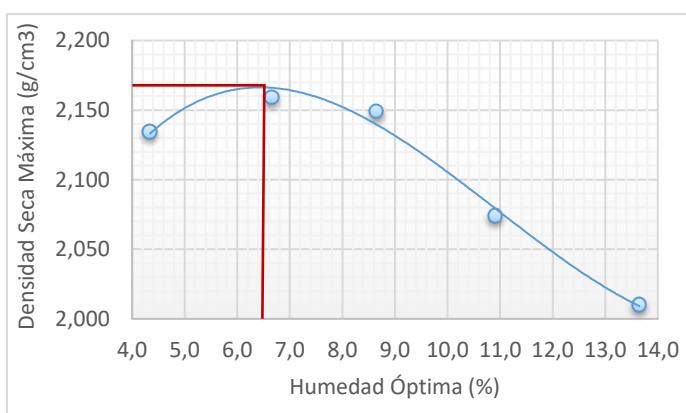
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557					
Muestra N° 2	Cantera Lucho				
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres				
ENERGIA DE COMPACTACION	29.82 kg.cm/cm ³				
MOLDE	2	2	2	2	2
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00
Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11165.00	11326.00	11394.00	11320.00	11287.00
Peso Suelo Húmedo	4729.00	4890.00	4958.00	4884.00	4851.00
Peso molde + Suelo seco (g)	10968.33	11020.83	10999.28	10839.68	10704.46
Peso Suelo Seco	4532.33	4584.83	4563.28	4403.68	4268.46
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.23	2.30	2.34	2.30	2.28
CÁPSULA	2-C	6-C	7-B	4	3-F
Peso cápsula (g)	28.17	28.36	28.23	28.68	29.31
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	75.30	75.15	75.71	75.25	75.61
Peso cápsula + Suelo seco (g)	73.34	72.23	71.93	70.67	70.05
Peso agua (g)	1.96	2.92	3.78	4.58	5.56
Peso suelo seco (g)	45.17	43.87	43.70	41.99	40.74
Humedad (%)	4.339	6.656	8.650	10.907	13.648
Densidad seca (g/cm ³)	2.135	2.159	2.149	2.074	2.010
Humedad Óptima (%)	6.500				
Densidad Seca Máxima (g/cm ³)	2.165				

Elaboración: los autores

Tabla 27. $E_c = 29.82 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra

Proctor Modificados muestra n°2 (61 golpes)		
N° de golpes	61	
N° de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm ³
Energía Compactación	29.82	kg.cm/cm³

Elaboración: los autores



Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima (g/cm³)
6.500	2.165

Gráfico 15. Curva de compactación 61 golpes muestra n° 2

Elaboración: los autores

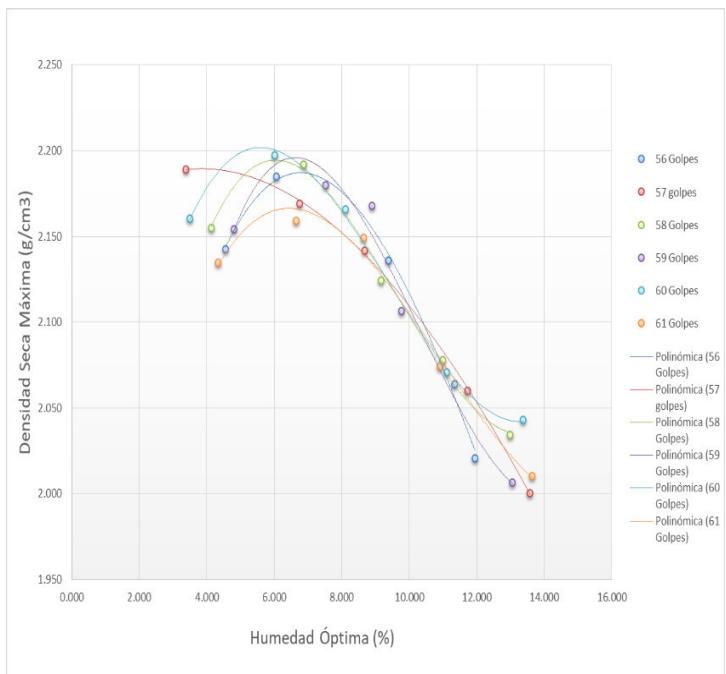


Gráfico 16. Variación de energías de compactación muestra n° 2

Elaboración: los autores

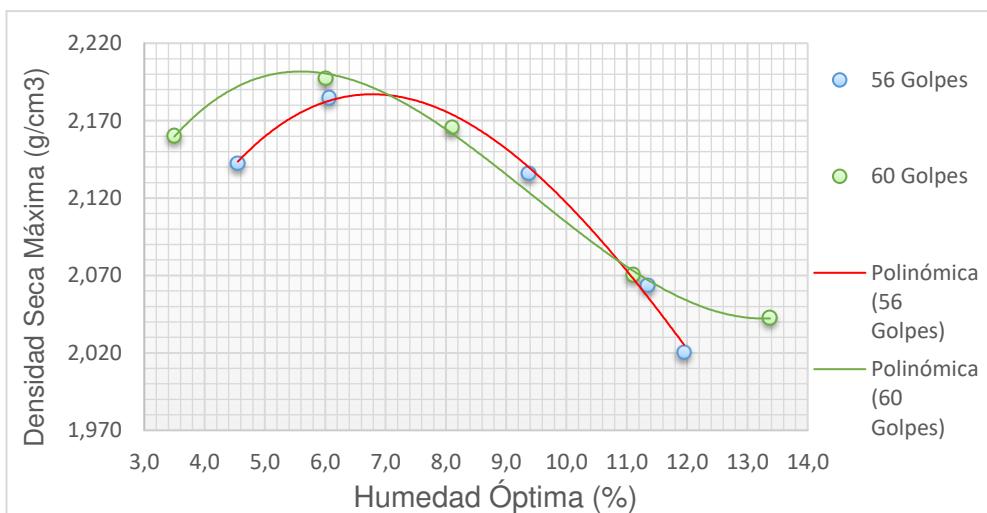


Gráfico 17. Variación de energías de 56 golpes y 60 golpes muestra n° 2

Elaboración: los autores

Como se aprecia en los gráficos 16 y 17 se logra observar la variación de la energía de compactación en donde a los 60 golpes es cuando se obtiene una humedad óptima de 6.000 % y a la vez una máxima densidad seca de 2.200 gr/cm^3 a comparación de la de 56 golpes donde se obtuvo 6.800 % de humedad óptima y 2.185 gr/cm^3 ; también se observa que ya a los 61 golpes la curva disminuyó notoriamente con una densidad seca máxima de 2.165 gr/cm^3 y una humedad óptima de 6.500 %

5.4 Resultados proctor modificado muestra residual

Tabla 28. Compactación proctor modificado 56 golpes muestra residual

USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557				
Muestra residual	Cantera Lucho			
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres			
ENERGIA DE COMPACTACION	27.37 kg.cm/cm3			
MOLDE	2	2	2	2
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00
Volumen molde (cm3)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11289.50	11370.50	11299.50	11206.00
Peso Suelo Húmedo	4853.50	4934.50	4863.50	4770.00
Peso molde + Suelo seco (g)	11060.44	11048.96	10843.93	10631.72
Peso Suelo Seco	4624.44	4612.96	4407.93	4195.72
Densidad húmeda (g/cm3)	2.29	2.32	2.29	2.25
CÁPSULA	1-B	3-C	2-A	3-E
Peso cápsula (g)	28.02	28.98	28.74	28.74
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	79.72	79.47	79.77	79.49
Peso cápsula + Suelo seco (g)	77.28	76.18	74.99	73.38
Peso agua (g)	2.44	3.29	4.78	6.11
Peso suelo seco (g)	49.26	47.20	46.25	44.64
Humedad (%)	4.953	6.970	10.335	13.687
Densidad seca (g/cm3)	2.178	2.173	2.076	1.976
Humedad Óptima (%)	5.800			
Densidad Seca Máxima (g/cm3)	2.181			

Elaboración: los autores

Tabla 29. Ec = 27.37 kg.cm/cm3 muestra residual

Proctor Modificados muestra residual (56 golpes)		
Nº de golpes	56	
Nº de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm3
Energía Compactación	27.37	kg/cm2

Elaboración: los autores

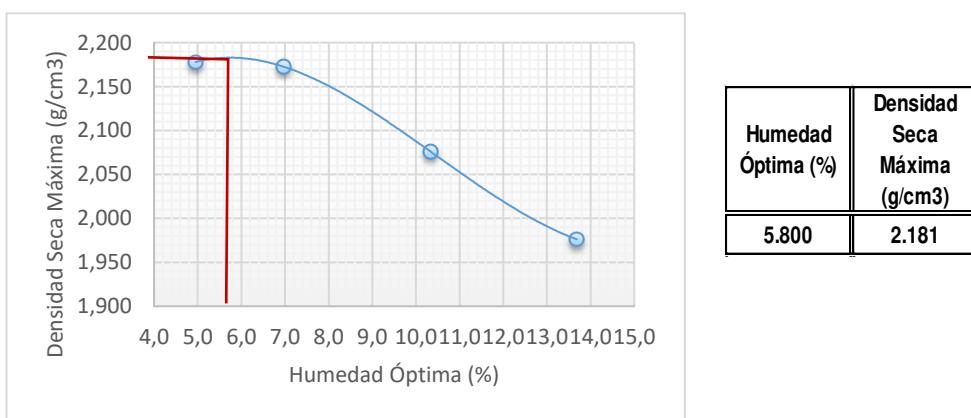


Gráfico 18. Curva de compactación 56 golpes muestra residual

Elaboración: los autores

Tabla 30. Compactación proctor modificado 58 golpes muestra residual

COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557				
Muestra residual	Cantera Lucho			
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres			
ENERGIA DE COMPACTACION	28.35 kg.cm/cm3			
MOLDE	1	2	4	5
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00
Volumen molde (cm3)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11234.00	11426.50	11293.00	11209.00
Peso Suelo Húmedo	4798.00	4990.50	4857.00	4773.00
Peso molde + Suelo seco (g)	11033.77	11075.34	10754.18	10602.78
Peso Suelo Seco	4597.77	4639.34	4318.18	4166.78
Densidad húmeda (g/cm3)	2.26	2.35	2.29	2.25
CÁPSULA	7-B	2-C	4	3-F
Peso cápsula (g)	28.23	28.17	28.88	29.31
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	79.27	79.90	79.90	79.70
Peso cápsula + Suelo seco (g)	77.14	76.26	74.24	73.30
Peso agua (g)	2.13	3.64	5.66	6.40
Peso suelo seco (g)	48.91	48.09	45.36	43.99
Humedad (%)	4.355	7.569	12.478	14.549
Densidad seca (g/cm3)	2.165	2.185	2.034	1.962
Humedad Óptima (%)	6.200			
Densidad Seca Máxima (g/cm3)	2.192			

Elaboración: los autores

Tabla 31. $E_c = 27.37 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra residual

Proctor Modificados muestra residual (58 golpes)		
N° de golpes	58	
N° de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm3
Energía Compactación	28.35	kg.cm/cm3

Elaboración: los autores

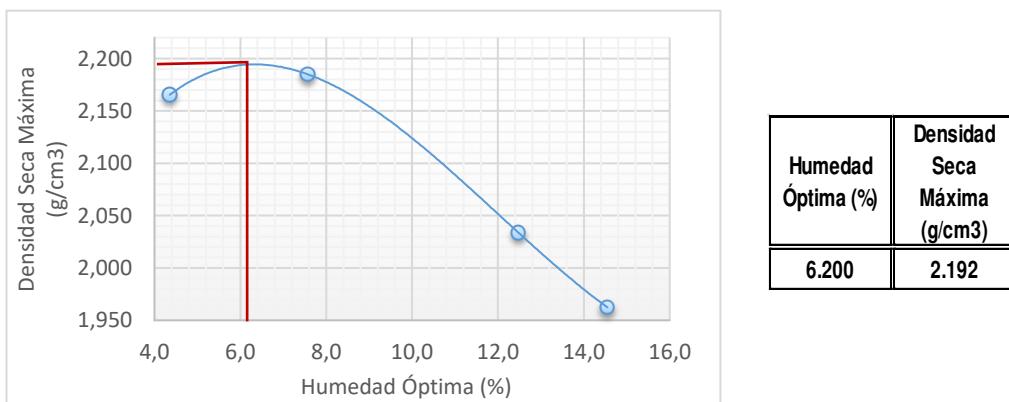


Gráfico 19. Curva de compactación 58 golpes muestra residual

Elaboración: los autores

Tabla 32. Compactación proctor modificado 60 golpes muestra residual

USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557				
Muestra residual	Cantera Lucho			
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres			
ENERGIA DE COMPACTACION	29.33 kg.cm/cm ³			
MOLDE	1	2	4	5
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00
Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11295.50	11413.00	11296.00	11213.00
Peso Suelo Húmedo	4859.50	4977.00	4860.00	4777.00
Peso molde + Suelo seco (g)	11070.28	11105.49	10814.21	10625.32
Peso Suelo Seco	4634.28	4669.49	4378.21	4189.32
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.29	2.34	2.29	2.25
CÁPSULA	2-B	1-C	2	1
Peso cápsula (g)	29.05	28.87	28.70	28.00
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	79.54	79.69	79.54	79.86
Peso cápsula + Suelo seco (g)	77.20	76.55	74.50	73.48
Peso agua (g)	2.34	3.14	5.04	6.38
Peso suelo seco (g)	48.15	47.68	45.80	45.48
Humedad (%)	4.860	6.586	11.004	14.028
Densidad seca (g/cm ³)	2.183	2.199	2.062	1.973
Humedad Óptima (%)	6.100			
Densidad Seca Máxima (g/cm ³)	2.200			

Elaboración: los autores

Tabla 33. $E_c = 27.37 \text{ kg.cm/cm}^3$ muestra residual

Proctor Modificados muestra residual (60 golpes)		
Nº de golpes	60	
Nº de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm ³
Energía Compactación	29.33	kg.cm/cm ³

Elaboración: los autores

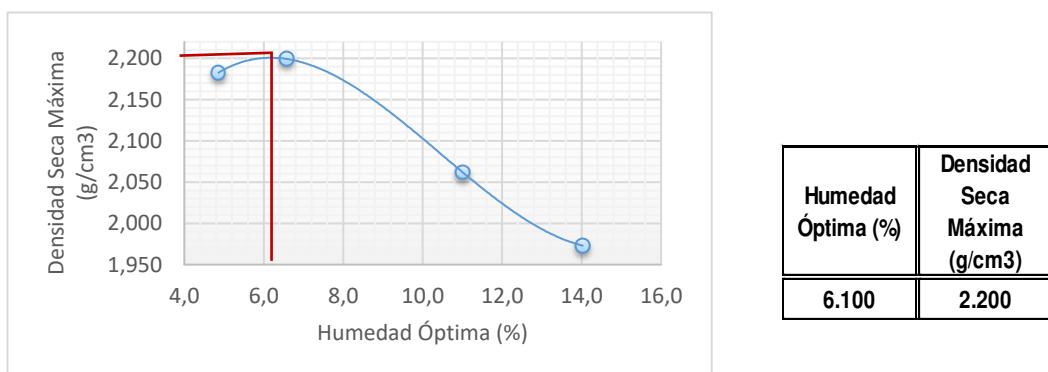


Gráfico 20. Curva de compactación 60 golpes muestra residual

Elaboración: los autores

Tabla 34. Compactación proctor modificado 61 golpes muestra residual

USMP FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA				
COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557				
Muestra residual	Cantera Lucho			
Laboratorio	Mecánica de suelos de la Universidad de San Martín de Porres			
ENERGIA DE COMPACTACION	29.82 kg.cm/cm ³			
MOLDE	2	2	2	2
Peso molde (g)	6436.00	6436.00	6436.00	6436.00
Volumen molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso molde + Suelo húmedo (g)	11200.50	11312.00	11237.50	11180.50
Peso Suelo Húmedo	4764.50	4876.00	4801.50	4744.50
Peso molde + Suelo seco (g)	10989.72	11043.52	10731.42	10623.56
Peso Suelo Seco	4553.72	4607.52	4295.42	4187.56
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.24	2.30	2.26	2.23
CÁPSULA	1-C	1-F	4-B	1-A
Peso cápsula (g)	28.87	28.27	29.76	28.46
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	64.81	64.23	64.39	64.58
Peso cápsula + Suelo seco (g)	63.22	62.25	60.74	60.34
Peso agua (g)	1.59	1.98	3.65	4.24
Peso suelo seco (g)	34.35	33.98	30.98	31.88
Humedad (%)	4.629	5.827	11.782	13.300
Densidad seca (g/cm ³)	2.145	2.170	2.023	1.972
Humedad Óptima (%)	6.400			
Densidad Seca Máxima (g/cm ³)	2.175			

Elaboración: los autores

Tabla 35. Ec = 27.37 kg.cm/cm³ muestra residual

Proctor Modificados muestra residual (61 golpes)		
N° de golpes	61	
N° de capas	5	
Peso del pisón W =	4.54	kg
Altura H=	45.72	cm
Volumen =	2123.31	cm ³
Energía Compactación	29.82	kg.cm/cm ³

Elaboración: los autores

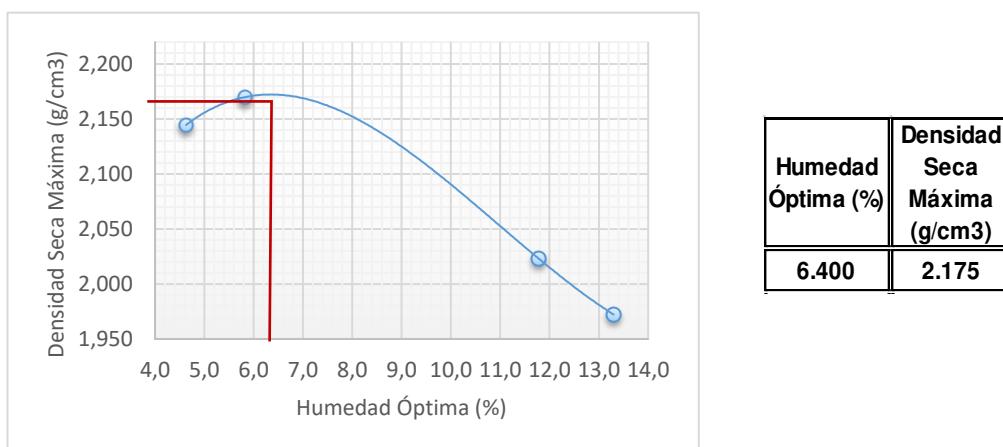


Gráfico 21.Curva de compactación 61 golpes muestra residual

Elaboración: los autores

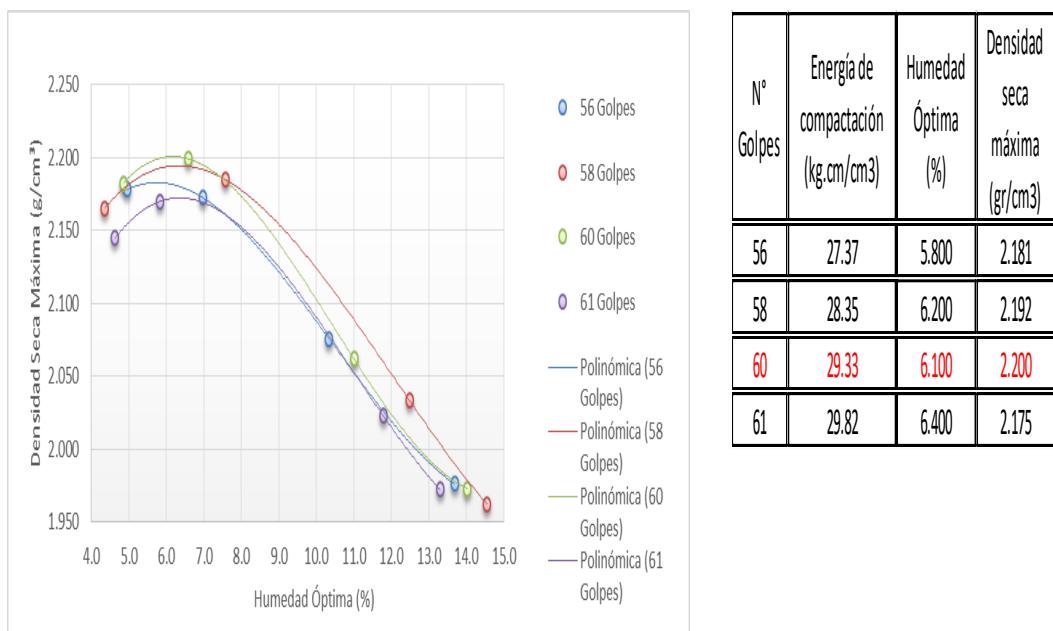


Gráfico 22. Variación de energías de compactación muestra residual

Elaboración: los autores

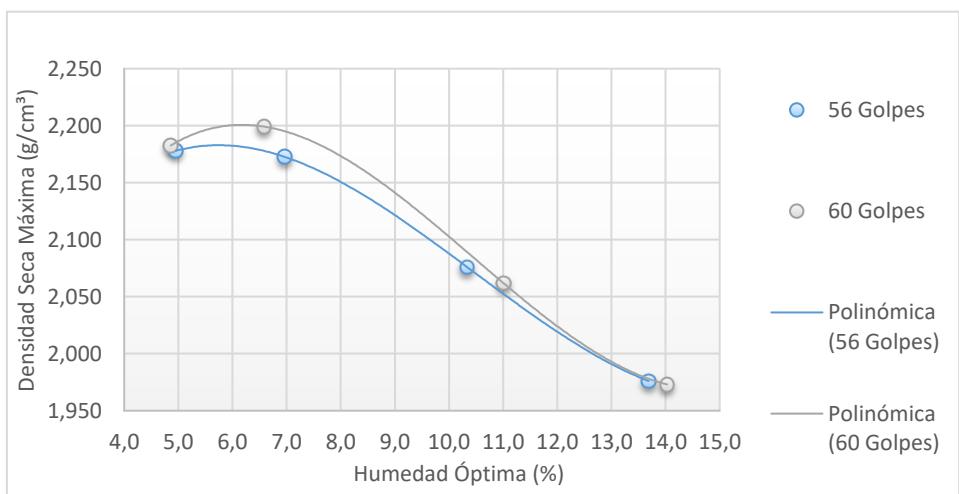


Gráfico 23. Variación de energías de 56 golpes y 60 golpes muestra residual

Elaboración: los autores

Como se aprecia en los gráficos 22 y 23 se logra observar la variación de la energía de compactación en una muestra que ya había sido compactada con anterioridad la cual se recolectó y pasó por un proceso de secado y triturado y se sometió a ensayar nuevamente en donde se obtuvieron los resultados antes mencionados y se observó que a los 60 golpes es cuando se obtiene una humedad óptima de 6.100 % y, a la vez, una máxima densidad seca de

2.200 gr/cm³ a comparación de la de 56 golpes donde se obtuvo 5.800 % de humedad y 2.181 gr /cm; también se observa que a los 61 golpes la curva desciende por debajo de la de 56 golpes.

A) Comparación de la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de las tres muestras de suelos

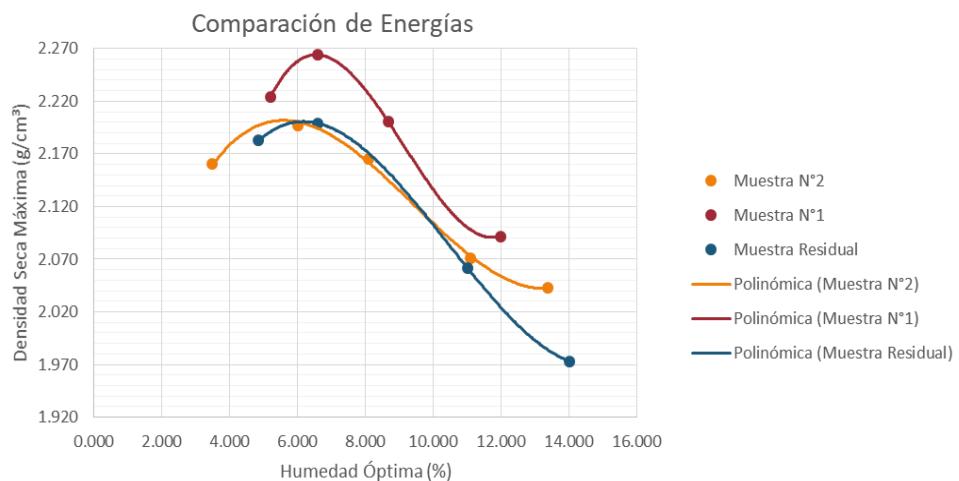


Gráfico 24.Comparación de la máxima densidad seca y humedad

Elaboración: los autores

Tabla 36. Comparación de muestras ensayadas

Muestra de suelo	Número de Golpes	Energía de Compactación (kg.cm/cm ³)	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima (g/cm ³)
Santa Clara (Nº1)	58	28.35	6.600	2.265
Lucho (Nº2)	60	29.33	6.000	2.200
residual	60	29.33	6.100	2.200

Elaboración: los autores

Como se aprecia en el gráfico 24, en esta investigación la muestra nº 1 (cantera Santa Clara) alcanza su densidad seca máxima con 28.35 kg.cm/cm³ (58 golpes) a comparación de la muestra nº2 y la muestra residual, que necesitaron mayor energía de compactación (29.33 kg.cm/cm³) para alcanzar su densidad seca máxima. En estas muestras se ha podido observar que la muestra nº1 tiene más presencia de finos a comparación de la muestra nº2 la

muestra n°1 se trabajó con 4 humedades, mientras que la muestra n°2 se trabajó con 5 humedades y la muestra residual se ensayó con 4 humedades.

B) Influencia de energía de compactación en la humedad óptima

Tabla 37. Energía de compactación vs humedad óptima muestra n° 1. (Santa Clara)

Nº de Golpes	Energía de compactación (kg.cm/cm ³)	Humedad Óptima (%)
56	27.37	6.138
57	27.86	6.100
58	28.35	6.600
59	28.84	5.000
60	29.33	5.000

Elaboración: los autores

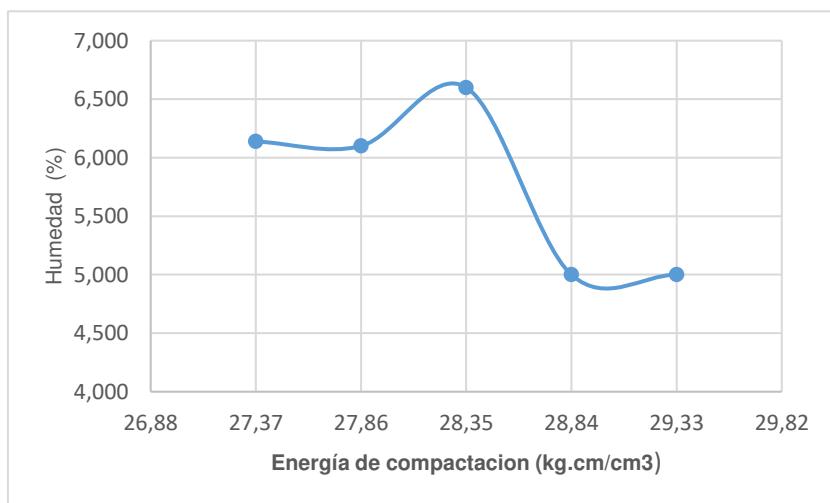


Gráfico 25. Energía de compactación vs humedad óptima muestra n° 1. (Santa Clara)

Elaboración: los autores

Como se observa en el gráfico 25 la energía de compactación incide en la humedad óptima del suelo, como se ve hay un crecimiento variable en la humedad, pero cuando se aumentó la energía de compactación después de que se alcanzó la humedad óptima del suelo, esta presenta una disminución en la humedad.

Tabla 38 Energía de compactación vs humedad óptima muestra n° 2
(Cantera Lucho)

Nº golpes	Energía de compactación (kg.cm/cm ³)	Humedades optimas (%)
56	27.37	6.800
57	27.86	4.000
58	28.35	6.200
59	28.84	6.800
60	29.33	6.000
61	29.82	6.500

Elaboración: los autores

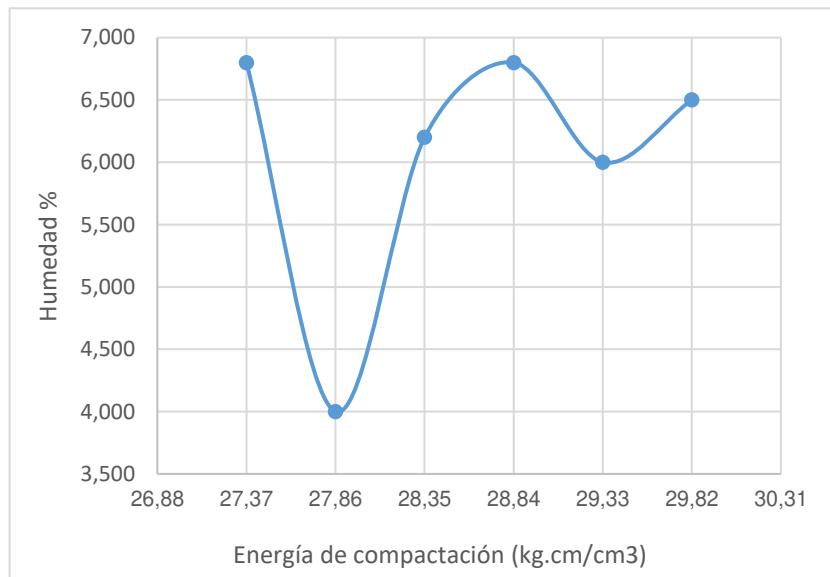


Gráfico 26. Energía de compactación vs humedad óptima muestra n°2 (cantera Lucho)

Elaboración: los autores

Como se observa en el gráfico 26, la energía de compactación incide en la humedad óptima del suelo, como se ve hay un crecimiento variable en la humedad, pero cuando se aumentó la energía de compactación después de que se alcanzó la humedad óptima del suelo, esta presenta un aumento en la humedad lo que nos muestra que hay una incidencia variable de la humedad con respecto a la energía de compactación.

Tabla 39 Energía de compactación vs humedad óptima muestra residual

Nº Golpes	Energía de compactación (kg.cm/cm ³)	Humedad Óptima (%)
56	27.37	5.800
58	28.35	6.200
60	29.33	6.100
61	29.82	6.400

Elaboración: los autores

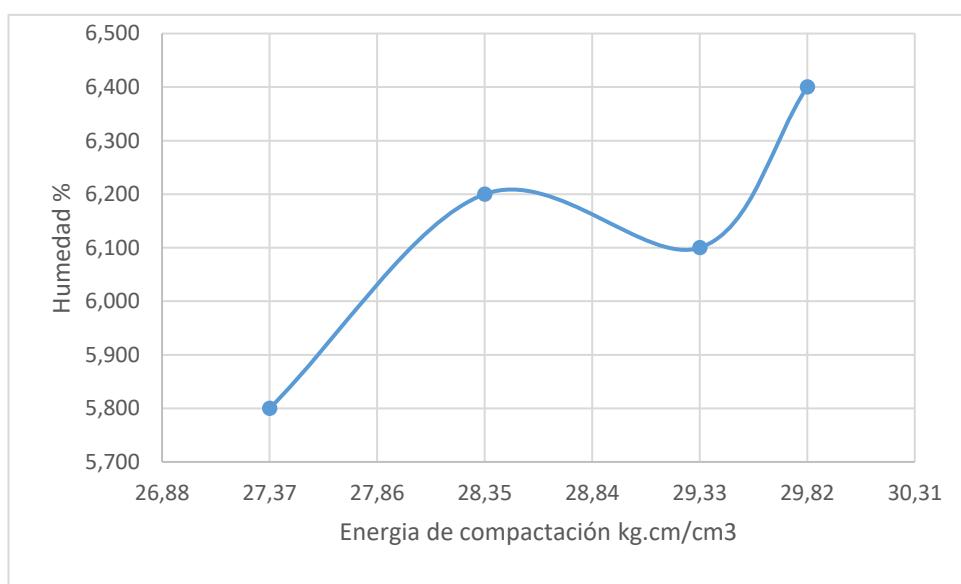


Gráfico 27. Energía de compactación vs humedad óptima muestra residual

Elaboración: los autores

Como se observa en el gráfico 27 a medida que la energía de compactación aumenta hay un crecimiento hay un comportamiento que no es uniforme en la humedad, lo que nos muestra que la incidencia de la energía con respecto a la humedad es variable.

C) Influencia de energía de compactación en la densidad seca máxima

Tabla 40 Energía de compactación vs densidad seca máxima muestra n° 1 (Santa Clara)

Nº de Golpes	Energía de compactación (kg.cm/cm ³)	Densidad seca máxima (gr/cm ³)
56	27.37	2.250
57	27.86	2.251
58	28.35	2.265
59	28.84	2.260
60	29.33	2.258

Elaboración: los autores

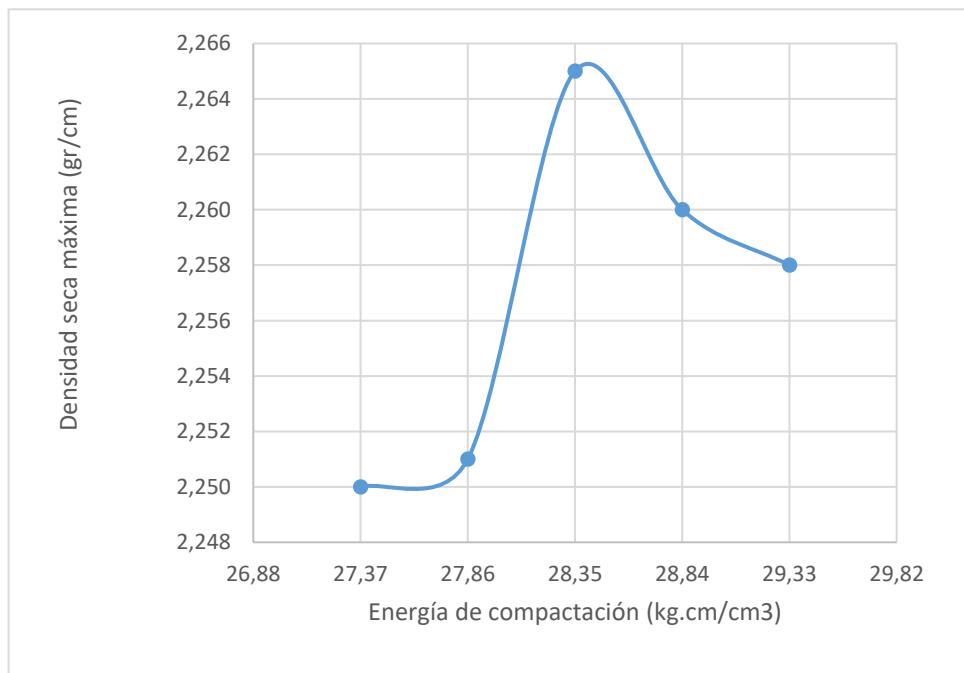


Gráfico 28. Energía de compactación vs densidad seca máxima muestra n° 1 (Santa Clara)

Elaboración: los autores

Como se aprecia en el gráfico 28 cuando se aumenta la energía de compactación hay un crecimiento en las densidades, pero solo hasta cierta cantidad de energía; en esta oportunidad a los 28.35 kg.cm/cm³ (58 golpes) la muestra alcanza su densidad seca máxima, si se sigue aumentando la energía estas densidades comienzan a decrecer

Tabla 41. Energía de compactación vs densidad seca máxima muestra n° 2 (cantera Lucho)

Nº golpes	Energía de compactación (kg.cm/cm ³)	Densidad máxima seca (gr/cm ³)
56	27.37	2.185
57	27.86	2.189
58	28.35	2.194
59	28.84	2.195
60	29.33	2.200
61	29.82	2.165

Elaboración: los autores

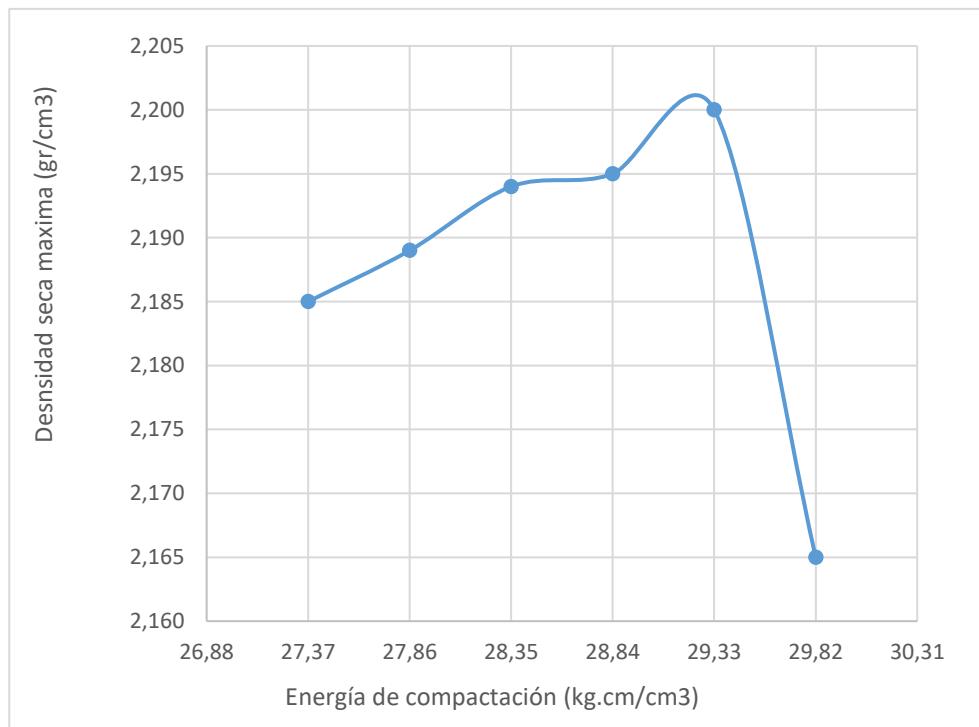


Gráfico 29. Energía de compactación vs densidad seca máxima muestra n° 2 (cantera Lucho)

Elaboración: los autores

Como se aprecia en el gráfico 29 se fue aumentando la cantidad de energía desde los 27.33 kg.cm/cm³ (56 golpes) hasta que la muestra alcanzo su densidad seca máxima que fue a los 29.33 kg.cm/cm³ (60 golpes) cuando se aumentó la energía a 29.82 kg.cm/cm³ la densidad disminuyó.

Tabla 42. Energía de compactación vs densidad seca máxima muestra residual

N° Golpes	Energía de compactación (kg.cm/cm ³)	Densidad seca máxima (gr/cm ³)
56	27.37	2.181
58	28.35	2.192
60	29.33	2.200
61	29.82	2.175

Elaboración: los autores

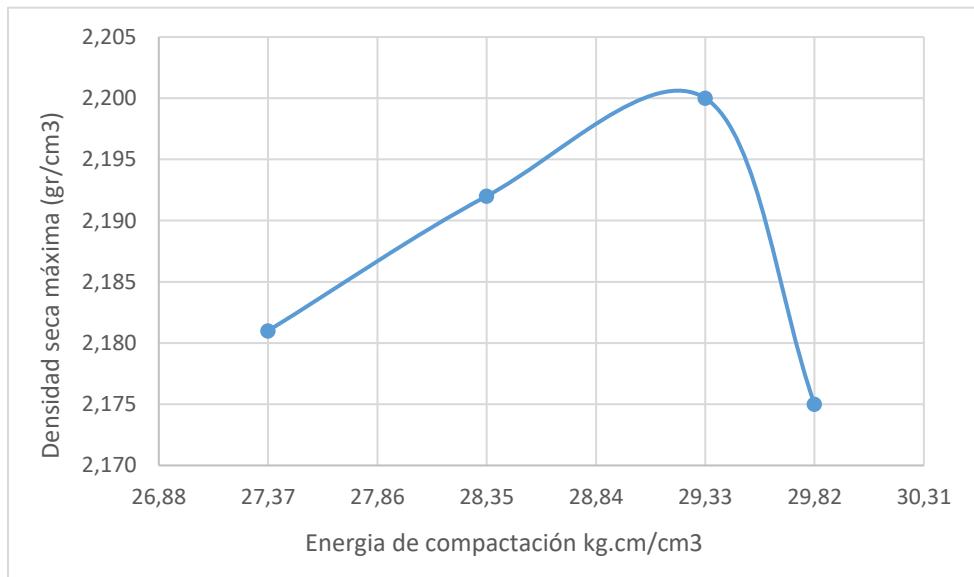


Gráfico 30. Energía de compactación vs densidad seca máxima muestra residual

Elaboración: los autores

Como se aprecia en el gráfico 30 pasa algo similar con respecto la muestra n°1 y muestra n °2 ver página 78 y 79, gráficos 28 y 29 respectivamente; la densidad aumenta conforme aumenta la energía de compactación; pero solo hasta cuando la muestra alcanza su densidad seca máxima luego la densidad disminuye.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

➤ Contraste de otros resultados y resultados obtenidos en la investigación

Tabla 43.Resultados obtenidos en la investigación

Muestra de Suelo	Número de Golpes	Energía de Compactación (kg.cm/cm³)	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima (g/cm³)
Santa Clara (Nº1)	58	28.35	6.600	2.265
Lucho (Nº2)	60	29.33	6.000	2.200
Residual	60	29.33	6.100	2.200

Elaboración: los autores

Como se aprecia nuestros resultados se asemejan un poco a comparación de los resultados de Ocas y Chirino los cuales en sus investigaciones llegaron a:

Tabla 44.Resultados de otras investigaciones

Antecedentes	Número de Golpes	Energía de Compactación (kg.cm/cm³)	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima (g/cm³)
Ocas de la Cruz,(2013)	60	29.18	25.000	1.172
Chirino Quispe,(2015)	58	28.24	3.500	2.180

Elaboración: los autores

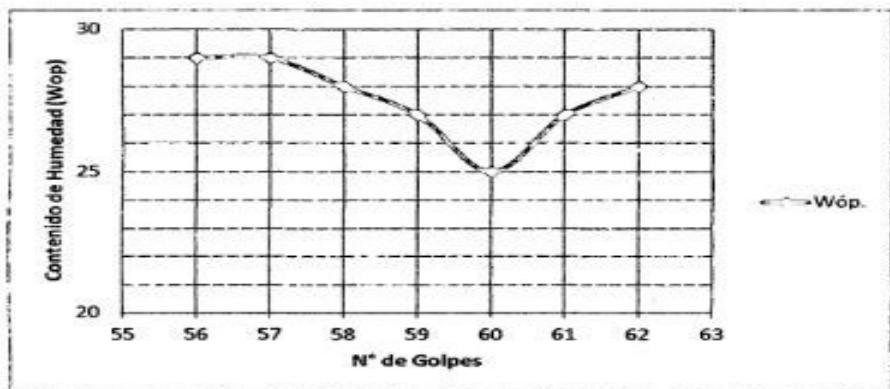


Figura 15. Energía de compactación vs % humedad resultados de referencia 1

Fuente: Ocas, (2013)

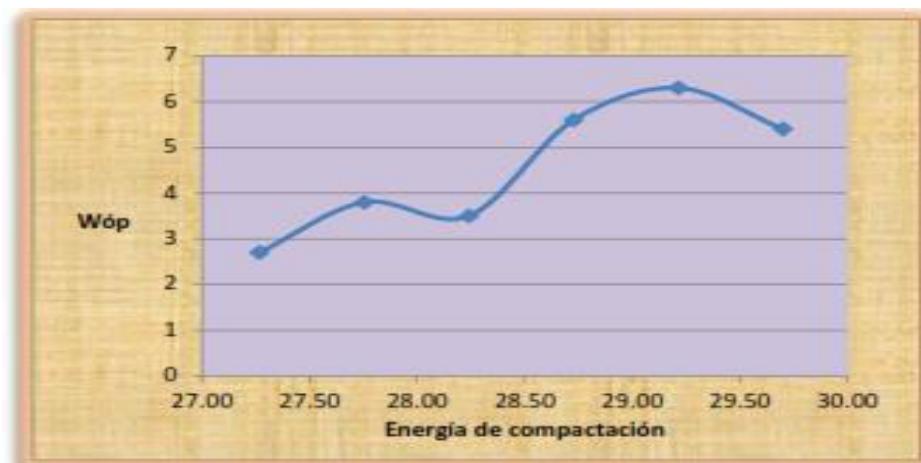


Figura 16. Energía de compactación vs % humedad resultados de referencia 2

Fuente: Chirinos, (2015)

Se aprecia en estas figuras que muestran la influencia que tiene la energía de compactación en la humedad óptima se observa que en la figura 15 hay un aumento en la humedad a medida que aumenta la energía mientras que en la figura 16 se tiene un crecimiento variable de la humedad a medida que aumenta la energía de compactación. En los resultados obtenidos en la presente investigación; (gráficos, 25,26 y 27) se observa un crecimiento variable de la humedad a medida que se incrementa la energía de compactación.

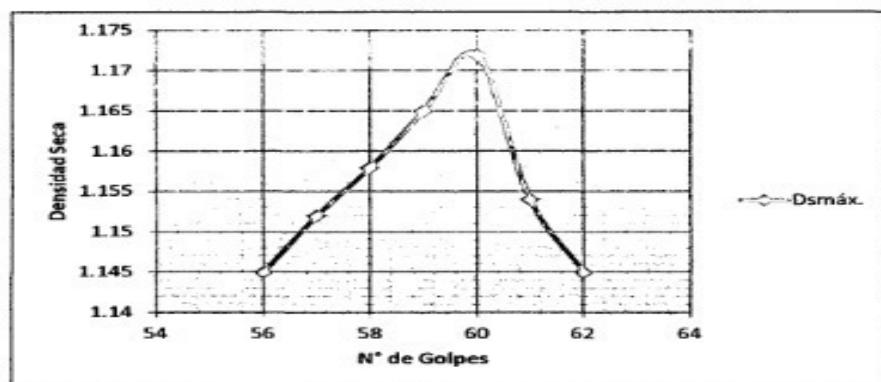


Figura 17 Energía de compactación vs % densidad seca máxima resultados de referencia 1

Fuente: Ocas, (2013)

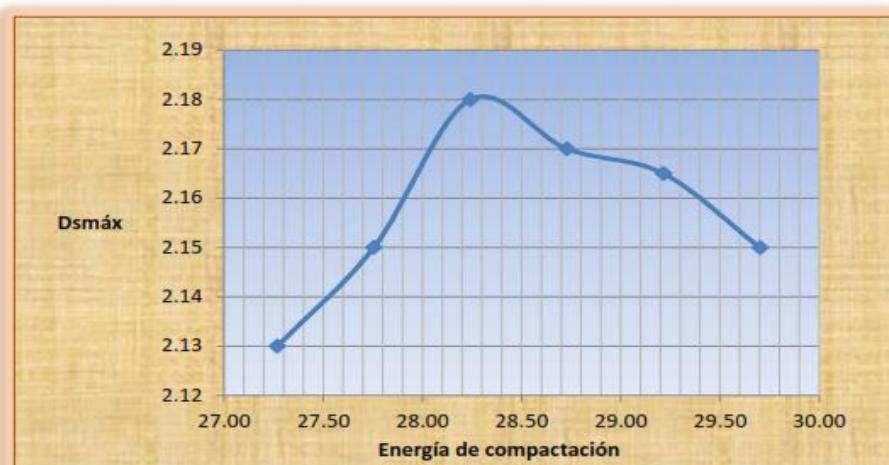


Figura 18. Energía de compactación vs % densidad seca máxima resultados de referencia 2

Fuente: Chirinos, (2015)

Como se aprecia en estas figuras hay un crecimiento de la densidad a medida que se aumenta la energía pero cuando las muestras alcanzan su máxima densidad seca y si se aumenta la energía esta densidad seca máxima decrece.

Ocas (2013) & Chirinos (2015) plantearon como hipótesis que a medida que aumentan la energía de compactación entonces la densidad seca máxima es mayor mientras que el óptimo contenido de humedad es menor.

Viendo sus resultados para Ocas (2013) en sus 4 primeras energías hubo un aumento de la densidad seca y una disminución de la humedad óptima pero cuando aumenta la energía la densidad seca máxima disminuye y la humedad óptima aumenta; mientras que para Chirinos (2015) cuando aplica sus energías su densidad seca máxima aumenta hasta que alcanza la máxima y luego disminuye mientras que la humedad óptima presenta variaciones a medida que la energía de compactación se aumenta.

Contrastando estas hipótesis y la nuestra que dice que la energía de compactación incide en la determinación de la humedad óptima en los suelos granulares podemos decir que la incidencia de la energía de compactación en la humedad óptima no es uniforme y que presenta una secuencia parecida a la de Chirinos (2015) ya que se observó crecimientos variables a medida que se aumenta la energía de compactación.

CONCLUSIONES

1. La energía de compactación incide en la determinación de la humedad óptima en los suelos granulares teniendo que a medida que se aumenta esta energía la humedad crece y decrece como se observa en las páginas N°75-77.
2. Para la muestra de la cantera Santa Clara su máxima densidad seca resultó 2.265 gr/cm^3 y su óptimo contenido de humedad 6.600%, los cuales fueron alcanzados con una energía de compactación de 28.35 kg.cm/cm^3 a los 58 golpes por cada capa. Ver página N°58
3. Cuando a la muestra de la cantera Santa Clara se le aplica una energía de compactación mayor a 28.35 kg.cm/cm^3 (58 golpes) tanto la humedad óptima como la densidad seca máxima decrecen. Cuando se aplica una energía de compactación de 28.84 kg.cm/cm^3 (59 golpes) la humedad disminuye a 5.000% y la densidad seca máxima a 2.260 gr/cm^3 y si se sigue aumentando la energía a 29.33 kg.cm/cm^3 (60 golpes) la humedad se mantiene en 5.000% con respecto a la anterior energía, mientras que la densidad máxima seca disminuye hasta 2.258 gr/cm^3 . Ver página N°61
4. En la muestra de la cantera Lucho su máxima densidad seca fue 2.200 gr/cm^3 y su óptimo contenido de humedad 6.000%, los que obtuvieron con una energía de compactación de 29.33 kg.cm/cm^3 a los 60 golpes por cada capa. Ver página N°66

5. Cuando a la muestra de la cantera Lucho se le aplica una energía de compactación mayor a 29.33 kg.cm/cm^3 (60 golpes) la humedad aumenta hasta 6.500 % y la densidad seca máxima disminuye a 2.165 gr/cm^3 Ver página N°68.
6. Para la muestra residual obtenida de la muestra de la cantera Lucho su máxima densidad seca fue 2.200 gr/cm^3 y su óptimo contenido de humedad 6.100 %, los cuales fueron alcanzados con una energía de compactación de 29.33 kg.cm/cm^3 a los 60 golpes por cada capa. Ver página N°71
7. Cuando a la muestra residual se le aplica una energía de compactación mayor a 29.33 kg.cm/cm^3 (60 golpes) la densidad seca máxima decrece de 2.200 gr/cm^3 hasta 2.175 gr/cm^3 .y su humedad óptima aumenta de 6.100% a 6.400%. Ver página N°73

RECOMENDACIONES

1. Realizar la investigación a otros suelos granulares de otras canteras de Lima y otros departamentos del Perú, para que se pueda recopilar información que en el futuro serán parte de una base de datos de energía de compactación.
2. Efectuar el cuarteo mecánico con la finalidad de que las muestras obtenidas para ensayar sean homogéneas.
3. Usar el ensayo de Proctor mecánico ya que el manual requiere mucho esfuerzo físico debido a las múltiples repeticiones que se tienen que hacer del ensayo.
4. Hacer el ensayo de Proctor modificado con 5 diferentes porcentajes de contenido de humedad para un comportamiento más claro de curva de densidad seca máxima vs humedad óptima.
5. Realizar los ensayos requeridos para la investigación en un lugar abierto, debido a la cantidad de polvo que se genera al momento de realizar dichos ensayos.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliograficas:

- Braja M. Das, (2015). "Fundamentos de la ingeniería geotecnica"4^a edición. Cengage Learning Editores S.A de CV una compañía de Cengage Learning, Inc corporativo Santa Fe, México D.F
- Crespo Villalaz, Carlos (2004), "Mecánica de suelos y cimentaciones", 5^a ed. México: Limusa,
- Flores Bonilla, Antonio (2013) "Influencia de las Condiciones de Compactación en la Presión de Preconsolidacion de un Suelo" (Tesis final de carrera), Universidad de Barcelona, España.
- George B. Sowers y George F. Sowers (1972). "Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones", 1° ed. México: Limusa-Wiley.
- Jiménez Salas,J y Justo Alpañes, J . (1975) Geotecnia y cimientos i (propiedades de los suelos y de las rocas." 2da edición, editorial rueda. Madrid (España).
- Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso (2005), Mecánica de suelos i: fundamentos de la mecánica de suelos, tomo 1, editorial Limusa S.A de C.V. Grupo noriega editores, Balderas 95, México, D.F.
- Pérez Alama, Vicente (s.f) "Materiales y procedimientos de construcción, mecánica de suelos y cimentaciones".

Revolorio Gonzales, Fernando José Carlos (2013) "Incidencia de resultados del ensayo Proctor por la influencia de clima, humedad, equipo y superficie de base de compactación durante su desarrollo" Universidad de San Carlos de Guatemala.

Samohod, A (2014-2018) apuntes de clase.

Terzaghi y Peck - Art. 5-6-7-8 Braja M. Das Cap. 1- 2 Sowers 1:10 – 1:11
IRAM 10535 - Mecánica de suelos. Descripción de suelos mediante análisis tacto-visual. 05/04/91

Electrónicas:

Araujo Navarro, William (2014). Ecuaciones de Correlación del CBR con Propiedades Índice de Suelos Para la Ciudad de Piura. (Tesis de Título, Universidad de Piura, Piura, Perú). Recuperada de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2192/ICI_208.pdf?sequence=1

Chirino Quispe, Juan Carlos (2015). Efecto de La Energía de Compactación en la Densidad Seca Máxima y Contenido Óptimo de la Humedad del Suelo Granular de la Cantera El Gavilán. (Tesis de Título, Universidad Privada Del Norte Sede Cajamarca, Cajamarca, Perú). Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10377>.

Clase 8 Compactación de la Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas recuperada de https://www.ucursos.cl/ingenieria/2011/1/CI4401/1/material_docente/bajar?id_material=349148

Llique Mondragón, Rosa Haydee (2015). Influencia de la Humedad de Compactación en el Comportamiento Volumétrico de los Suelos Arcillosos. (Tesis de Grado de Doctora, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú). Recuperada de

<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8212/Tesis%20DoctoradoX%20-Rosa%20H.%20Llique%20Mondrag%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ocas de la Cruz, José Luis (2013). Influencia de la Energía de Compactación en el Óptimo Contenido de Humedad y la Máxima Densidad Seca en los Suelos Granulares. (Tesis de Título, Universidad Nacional De Cajamarca, Cajamarca, Perú). Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/687>

Pariona Quinta, Luis (2014). Estudio de la Resistencia de la Sub-Base Usando Experimentos Factoriales Basados en el Contenido de Humedad, Energía de Compactación y la Hidratación. (Tesis de Titulo, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú). Recuperada de http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/408/TCIV_18.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexos 1: Certificados de calibración de equipos	92
Anexos 2: Matriz de consistencia	103

Anexos 1





ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nro: 048-18 BAL

RAZON SOCIAL
MARCA
MODELO
SERIE

UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES
CHAUS CLASE
T21P CAPACIDAD
8031240401 DIVIS DE ESCALA
DIVIS DE VERIFICACION

Fecha 17/03/2016
Caduca 17/09/2018

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
120 Kg
0.02 Kg
Luis Tobalda Palacios
IEE DE LABORATORIO
OF. 16551

Medición Nro	Carga L1 = 75 kg		
	I (Kg)	AL (Kg)	E (Kg)
1	75.00	1	-0.5
2	75.00	1	-0.5
3	75.00	1	-0.5
4	75.00	1	-0.5
5	75.00	1	-0.5
6	75.00	1	-0.5
7	75.00	1	-0.5
8	75.00	1	-0.5
9	75.00	1	-0.5
10	75.00	1	-0.5

Medición Nro	Carga L1 = 120 kg		
	I (Kg)	AL (Kg)	E (Kg)
1	119.98	1	-0.5
2	119.98	1	-0.5
3	119.98	1	-0.5
4	119.98	1	-0.5
5	119.98	1	-0.5
6	119.98	1	-0.5
7	119.98	1	-0.5
8	119.98	1	-0.5
9	119.98	1	-0.5
10	119.98	1	-0.5

CARGA	DIFERENCIA MAXIMA ENCONTRADA	ERRORES MAXIMOS PERMISIBLES
30 Kg	0 Kg	1 Kg
60 Kg	-0.02 Kg	2 Kg

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posic. de Carga	Determinación de error corregido Ec			
	Carga Min	I (Kg)	AL (Kg)	E (Kg)
1	10 Kgr.	10,00	1	-0.5
		10,00	1	-0.5
		10,00	1	-0.5
		10,00	1	-0.5
		10,00	1	-0.5

Carga L	Determinación de error corregido Ec				e.m.p + (Kg)
	I (Kg)	AL (Kg)	E (Kg)	Ec (Kg)	
20KG	20,00	1	-0.5	0	0.5
	20,00	1	-0.5	0	0.5
	20,00	1	-0.5	0	0.5
	20,00	1	-0.5	0	0.5
	20,00	1	-0.5	0	0.5

ENSAJO DE PESAJE

Carga L (Kg)	CRECIENTES			
	I (Kg)	AL (Kg)	E (Kg)	Ec (Kg)
0,02	0,10	0	0	0
0,1	0,50	0	0	0
0,2	1,00	0	0	0
0,5	2,00	0	0	0
1	5,00	0	0	0
5	10,00	0	0	0
10	20,00	0	0	0
15	15,00	0	0	0
20	20,00	0	0	0
25	25,00	0	0	0
50	50,00	0	0	0
75	75,00	0	0	0
100	100,00	0	0	0
120	119,98	0	0	0

I (Kg)	DECRECIENTES				e.m.p + (Kg)
	AL (Kg)	E (Kg)	Ec (Kg)		
0,10	0	0	0		0.5
0,50	0	0	0		0.5
1,00	0	0	0		0.5
2,00	0	0	0		0.5
5,00	0	0	0		0.5
10,00	0	0	0		0.5
20,00	0	0	0		0.5
15,00	0	0	0		0.5
20,00	0	0	0		0.5
25,00	0	0	0		0.5
50,00	0	0	0		0.5
75,00	0	0	0		0.5
100,00	0	0	0		0.5
119,98	0	0	0		0.5



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº 050-18 BAL

SOLICITANTE: UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRES

CERTIFICA QUE : El instrumento de medición con el modelo y nro. de serie indicados líneas abajo, ha sido calibrado, probado y verificado utilizando patrones certificados con trazabilidad en el Instituto Nacional de Calidad INACAL.

Instrumento de medición : BALANZA DIGITAL.

Capacidad : 15 kg.

Marca : OHAUS

Modelo : EB15

Nro de Serie : 8030343969

Fecha de Calibración : 17.03.2018

Próxima Calibración : 17.09.2018

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Ing. Luis Fernando Palacios
JEFE DE LABORATORIO
09-66551

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

CALIBRACIÓN EFECTUADA SEGÚN NORMA METROLÓGICA NMP 003-1996 Y PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE BALANZAS DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO PARA BALANZAS DE CLASE I Y CLASE II

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

$U = 0.01 \text{ gr.} \pm 0.0003 \text{ l}$

PATRONES

01 Pesa de 10 kg, 01 Pesa de 5 kg, 01 Pesa de 1 kgr, 01 Pesa 500 gr, 01 Jgo de Pesas de 2 mg a 200 gr, CERTIFICADOS LM -C-088-2017, LM-C-076-2017, LM -C-051-2017

TRAZABILIDAD

Las pesas tienen trazabilidad a los Patrones Nacionales del Instituto Nacional de la Calidad-INACAL.

CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Temperatura Inicial 23.2 °C Final 23.1°C

Humedad Relativa 80%

RESULTADO DE LA MEDICIÓN

Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos por la norma metrológica consultada.

OBSERVACIONES

Con fines de identificación se ha colocado en la balanza una etiqueta con el nro. del certificado.

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº 050-18 BAL

RAZON SOCIAL
MARCA
MODELO
SERIE

CONSTRUCCION Y ADMINISTRACION S.A.
OHAUS CLASE
EB15 CAPACIDAD
8030343969 DIVIS DE ESCALA
DIVIS DE VERIFICACION

Fecha : 17.03.2018
Caduca : 17.09.2016

II ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
15 Kg
0.5 g Ing. Luis Taboada Palacios
0.5 g JEFE DE LABORATORIO
CIP. 55551

Medición Nro	Carga L1 = 7500 g		
	I (g)	AL (g)	E (g)
1	7500,0	0	0
2	7500,0	0	0
3	7500,0	0	0
4	7500,0	0	0
5	7500,0	0	0
6	7500,0	0	0
7	7500,0	0	0
8	7500,0	0	0
9	7500,0	0	0
10	7500,0	0	0

Medición Nro	Carga L1 = 15 Kg		
	I (g)	AL (g)	E (g)
1	15000,0	0	0
2	15000,0	0	0
3	15000,0	0	0
4	15000,0	0	0
5	15000,0	0	0
6	15000,0	0	0
7	15000,0	0	0
8	15000,0	0	0
9	15000,0	0	0
10	15000,0	0	0

CARGA	DIFERENCIA MAXIMA ENCONTRADA	ERRORES MAXIMOS PERMISIBLES
7500 g	0 g	1 g
15000 g	0 g	5 g

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posic. de Carga	Determinación de error corregido Ec			
	Carga Min	I (g)	AL (g)	E (g)
1		1	0	0
2		1	0	0
3	1 g	1	0	0
4		1	0	0
5		1	0	0

Carga L	Determinación de error corregido Ec				e.m.p + (g)
	I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)	
5000 g	5000,0	0	0	0	1
	5000,0	0	0	0	1
	5000,0	0	0	0	1
	5000,0	0	0	0	1
	5000,0	0	0	0	1

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	CRECIENTES			
	I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)
1	1,0	0	0	0
2	2,0	0	0	0
5	5,0	0	0	0
10	10,0	0	0	0
20	20,0	0	0	0
50	50,0	0	0	0
100	100,0	0	0	0
200	200,0	0	0	0
500	500,0	0	0	0
1000	1000,0	0	0	0
5000	5000,0	0	0	0
10000	10000,0	0	0	0
15000	15000,0	0	0	0

I (g)	DECRECIENTES				e.m.p + (g)
	AL (g)	E (g)	Ec (g)		
1,0	0	0	0		0
2,0	0	0	0		0
5,0	0	0	0		0
10,0	0	0	0		0
20,0	0	0	0		0
50,0	0	0	0		0
100,0	0	0	0		0
200,0	0	0	0		0
500,0	0	0	0		0
1000,0	0	0	0		0
5000,0	0	0	0		0
10000,0	0	0	0		0
15000,0	0	0	0		0



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nro 038-18 BAL

Fecha : 06.03.2018

Caduca: 06.09.2018

RAZON SOCIAL : UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES

MARCA : OHAUS

SERIE : -----

CLASE

CAPACIDAD

DIVIS DE ESCALA

DIVIS DE VERIFICACION

: II

: 500 g

: 0,1 g

: 0,1 g

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Luis Taboada Palacios

Ing. Luis Taboada Palacios

JEFE DE LABORATORIO

CIP. 56551

Medición Nro	Carga L1 = 300 g		
	I (g)	AL (g)	E (g)
1	300,0	0	0
2	300,0	0	0
3	300,0	0	0
4	300,0	0	0
5	300,0	0	0
6	300,0	0	0
7	300,0	0	0
8	300,0	0	0
9	300,0	0	0
10	300,0	0	0

Medición Nro	Carga L1 = 500 g		
	I (g)	AL (g)	E (g)
1	500,1	0	0
2	500,1	0	0
3	500,1	0	0
4	500,1	0	0
5	500,1	0	0
6	500,1	0	0
7	500,1	0	0
8	500,1	0	0
9	500,1	0	0
10	500,1	0	0

CARGA	DIFERENCIA MAXIMA ENCONTRADA	ERRORES MAXIMOS PERMISIBLES
300 g	0 g	0,1 g
500 g	0,1 g	0,2 g

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posic. de Carga	Determinación de error corregido Eo			
	Carga Min	I (g)	AL (g)	E (g)
1	1 g	1	0	0
2		1	0	0
3		1	0	0
4		1	0	0
5		1	0	0

Carga L	Determinación de error corregido Eo			
	I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)
100 g	100,0	0	0	0,01
	100,0	0	0	0,01
	100,0	0	0	0,01
	100,0	0	0	0,01
	100,0	0	0	0,01

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	CRECIENTES			
	I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)
0,2	0,2	0	0	0
1	1,0	0	0	0
2	2,0	0	0	0
5	5,0	0	0	0
10	10,0	0	0	0
20	20,0	0	0	0
50	50,0	0	0	0
100	100,0	0	0	0
200	200,0	0	0	0
300	300,0	0	0	0
400	400,0	0	0	0
500	500,1	0	0	0

I (g)	DECRECIENTES			
	AL (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p +(g)
0,2	0	0	0	0,01
1,0	0	0	0	0,01
2,0	0	0	0	0,01
5,0	0	0	0	0,01
10,0	0	0	0	0,01
20,0	0	0	0	0,01
50,0	0	0	0	0,02
100,0	0	0	0	0,02
200,0	0	0	0	0,02
300,0	0	0	0	0,02
400,0	0	0	0	0,02
500,1	0	0	0	0,02



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº 038-18 BAL

OTORGADO A : UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES

CERTIFICA QUE : El instrumento de medición con el modelo y nro de serie indicados líneas abajo, ha sido calibrado, probado y verificado utilizando patrones certificados con trazabilidad en el Instituto Nacional de la Calidad - INACAL

Instrumento de medición : Balanza Digital

Capacidad : 500 gr.

Marca : OHAUS

Nro de Serie : -----

Fecha de Calibración : 06.03.2018

Fecha de Prox. Calibración : 06.09.2018

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
Luis Taboada Palacios
IEPR DE LABORATORIO
CIP. 96551

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

CALIBRACIÓN EFECTUADA SEGÚN NORMA METROLÓGICA NMP 003-1996 Y PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE BALANZAS DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO PARA BALANZAS DE CLASE I Y CLASE II.

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

$U = 0.01 \text{ gr.} + 0.0003$

PATRONES

Pesa de 10 kg, 01 Pesa de 5 kg, 01 Pesa de 1 kgr, 01 Pesa 500 gr, 01 Jgo de Pesas de 1 mg a 200 gr, gr CERTIFICADOS LM-C-088-2017, LM-C-076-2017, LM 051-2017.

TRAZABILIDAD

Las pesas tienen trazabilidad a los Patrones Nacionales del Servicio Nacional de Metrología de - INACAL.

CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Temperatura Inicial 24.2°C Final 24.2 °C
Humedad Relativa 80 %

RESULTADO DE LA MEDICIÓN

Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos por la norma metrológica consultada



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

REGISTRO DE VERIFICACIÓN DE EQUIPOS		Informe N° 011 - B CCG	
Solicitante:	UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES		
Marca:	ORION	SERIE:	SM 186136
SISTEMA	MECANICO		
Incluye	Espárrula		
Equipo de Verificación usado	<p>* Calibrador de 0 a 300 mm prec. 0.01 mm Mitutove / Japan Mod. CD - 12" CP Cod. 500-193 NIS 0002520 (calibrado) * Regla Milimétrica 155 mm prec. 0.05 mm Chalinnex Stanless</p>		
Norma de Ensayo	AASHTO T-86-1996		
Aparato de límite líquido			
Conjunto de la cazzuela			
Dimensiones	A	B	C
Descripción	Radio de la copa	Espesor de la Copa	Profundidad de la copa
Métrico, mm	53.0	2.1	27.0
Tolerancia, mm	2	0.1	1
Ingles, pulg	2.12	0.078	1.062
Tolerancia, pulg	0.08	0.004	0.04
Medidas del equipo	55.0	55.5	55.4
Condición	OK	OK	OK
	OK	OK	OK

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

Dimensiones	Descripción	A			Base		
		copa desde la quia hasta la base	K	Espesor	L	M	Ancho
Métrico, mm	47		50		150		125
Tolerancia, mm	1,5		5		5		5
Inglés, pulg	1,85		1,97		5,9		4,92
Tolerancia, pulg	0,06		0,2		0,2		0,2
Medidas del equipo	47,6	47,6	47,7	47,7	147,5	147,4	124
Condición	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Dimensiones	Descripción	Extremo curvado			Ranurador		
		A	b	c	A	Borde cortante	C
Métrico, mm	Espesor						Ancho
Tolerancia, mm	10		2				13,5
Inglés, mm	0,1		0,1				0,1
Tolerancia, pulg	0,394		0,079				0,531
Medidas del equipo	0,004		0,004				0,004
Condición	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
Ing. Luis Fernando Pachacós
A.F.E. C.P. 50051

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrep.com

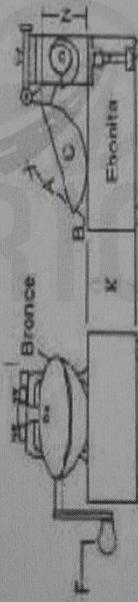
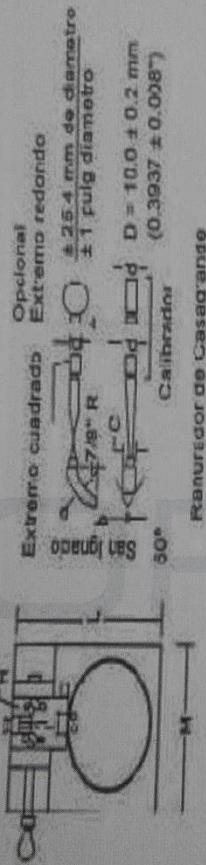


Figura 1 Aparato manual para límite líquido

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº 001-18 TAE

OTORGADO A : UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES

CERTIFICA QUE : El instrumento de medición con el modelo y nro de serie indicados
líneas abajo, ha sido calibrado, probado y verificado utilizando patrones
certificados con trazabilidad en el Instituto Nacional de Calidad
INACAL.

Instrumento de medición : TAMIZADOR ELECTRICO
Marca : ORION
Modelo : TE-01
Serie : 10040103
Fecha de Calibración : 17.03.2018
Próxima Calibración : 17.09.2018

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La Calibración se realizó por comparación entre las lecturas del indicador digital de la centrífuga con el tacómetro patrón.

PATRONES

El Cronómetro Digital marca CASIO, de procedencia Japonesa

TRAZABILIDAD

los Patrones (certificados) son emitidos por el Instituto Nacional de Calidad
INACAL.

CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Temperatura Inicial 23.1°C Final 23.1°C
Humedad Relativa 80 %

RESULTADO DE LA MEDICIÓN

Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos por la
norma metrológica consultada

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Luis Taboada Palacios
Jefe de Laboratorio
CIP: 58551

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº 001-18 TAE

Fecha : 17.03.2018
Caduca : 17.09.2018

RAZON SOCIAL : UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES

MARCA : ORION
MODELO : TE-01
SERIE : 10040103

RANGO DE TIEMPOS Minutos		INDICACION PATRON CRONOMETRO CASIO
Ensayo 1	1	1'00''01
Ensayo 2	2	2'00''04
Ensayo 3	4	4'00''03
Ensayo 4	6	6'00''02
Ensayo 5	8	8'00''01
Ensayo 6	10	10'00''04

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Ing. Luis Taboada Palacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 56551

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Teléf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

Anexos 2

INCIDENCIA DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD ÓPTIMA EN LOS SUELOS GRANULARES.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores	Medición	Metodología
			<u>Variable independiente</u>	<u>Indicadores (X)</u>		<u>Tipo de Investigación</u>
			<u>Variable dependiente</u>	<u>Indicadores (Y)</u>		<u>Nivel de investigación</u>
¿En qué medida incide la energía de compactación en la determinación del óptimo contenido de humedad en los suelos granulares?	Determinar la incidencia de la energía de compactación en los suelos granulares para obtener la humedad óptima aplicando proctor modificado.	La energía de compactación incide en la determinación de la humedad óptima en los suelos granulares.	X: Energía de compactación Y: Humedad Óptima	Número de golpes Porcentaje de Humedad	Proctor modificado (%)	<p><u>Cuantitativo:</u> Ya que se obtendrán resultados numéricos luego de haber realizado los ensayos a las muestras</p> <p><u>descriptiva</u> Se indicara los procedimientos específicos que se realizaron para el desarrollo de los ensayos</p> <p><u>Experimental</u> Porque los resultados serán obtenidos de los ensayos de laboratorio.</p> <p><u>Prospectivo.</u> Los resultados obtenidos serán procesados luego evaluados y se expresarán en cuadros y gráficos, que en el futuro serán parte de una base de datos de energía de compactación.</p> <p><u>Procedimiento</u> Realizar el Proctor modificado a diferentes energías para obtener los contenidos de humedad</p> <p><u>Población</u> Materiales de las canteras Santa Clara y Lucho</p> <p><u>Muestra</u> 300 kg de material de cada cantera.</p>