

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en
suelos granulares mediante ensayos de escala reducida.

Por:
Yesenia Apaza Pinto

Asesor:
Ing. Neal Romel Cotrado Aro

Juliaca, Julio de 2017

Cómo citar:

Estilo APA

Apaza Pinto, Y. (2017). *Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Juliaca.

Estilo IEEE

[1] Y. Apaza Pinto, «Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida» Juliaca, 2017.

Estilo HARVARD

Apaza Pinto, Y. (2017) Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida. Tesis de pregrado. Universidad Peruana Unión.

Ficha catalográfica elaborada por el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la UPeU

TIC	Apaza Pinto, Yesenia
2	Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos
A64	granulares mediante ensayos de escala reducida / Autora: Yesenia Apaza Pinto; Asesor:
2017	Ing. Neal Romel Cotrado Aro - Juliaca, 2017. 209 páginas: anexos, figuras, tablas.
	Tesis (Licenciatura) -- Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. EP. Ingeniería Civil, 2017. Incluye referencias y resumen. Campo del conocimiento: Ingeniería Civil.
	1. Ángulo de fricción. 2. Densidad relativa. 3. Relación de vacíos. 4. Coeficiente de uniformidad.

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS


Ing. Neal Romel Cotrado Aro, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "ESTIMACIÓN DEL PARÁMETRO DE RESISTENCIA AL CORTE, ÁNGULO DE FRICCIÓN EN SUELOS GRANULARES MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA" constituye la memoria que presenta la Bachiller Yesenia Apaza Pinto para optar al título Profesional de Ingeniero Civil ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca a los veinticinco días, del mes de julio del año dos mil diecisiete.

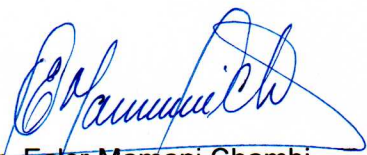

Ing. Neal Romel Cotrado Aro

Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en
suelos granulares mediante ensayos de escala reducida

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil

JURADO CALIFICADOR



Ing. Ecler Mamani Chambi

Presidente



Mg. Leonel Chahuares Paucar

Secretario



Ing. Edwin Callacondo Limachi

Vocal



Ing. Rolando Quispe Basualdo

Vocal



Ing. Neal Romel Cotrado Aro

Asesor

Juliaca, 25 de julio del 2017

DEDICATORIA

A Dios, por la vida y el conocimiento.

A mis queridos padres, por su enorme sacrificio y su constante apoyo, motivación y comprensión.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, por haberme brindado vida, salud, inteligencia, fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida, quien fue mi socorro y mi aliento en momentos buenos y difíciles, pues reconozco que sin su ayuda nada de esto sería posible.

Recordar a cada una de las personas que me han apoyado de diversas formas, resulta un tanto difícil, son muchos los nombres, pero de lo que si estoy segura es que ellos tienen desde aquel día una amiga con quien contar. Son a ellos a quienes debo agradecer, que gracias a ese apoyo brindado en distintos momentos este trabajo ha podido ser culminado.

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión y su plana de docente por la formación recibida en sus aulas, por el apoyo y cooperación brindada para llevar adelante este proyecto. En particular al Ing. Ecler Mamani Chambi con quien me siento absolutamente en deuda y al Mg. Leonel Chahuare Paucar por poner a disposición los recursos del Laboratorio de Mecánica de Suelos.

A la Ing. Mary Luz Apaza ya que por buen tiempo a estado apoyándome decididamente y aconsejándome durante toda esta investigación. Agradezco mucho por su honestidad y que siempre ha estado cuando la he necesitado.

Así mismo debo dar un especial agradecimiento a mis padres Mauro Apaza e Hilda Pinto, a mis hermanas Yurema y Maritza, por todo su apoyo incondicional y constante preocupación en todo momento, que con sus consejos me ayudaron a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de esta etapa de mi vida.

A todos ustedes, muchas gracias...

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
Índice de tablas	xiv
Índice de figuras	xvi
Índice de anexos	xviii
Símbolos usados	xix
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
CAPÍTULO I	22
EL PROBLEMA	22
1.1 Planteamiento del problema	22
1.2 Formulación del problema	23
1.2.1 Problema general.	23
1.2.2 Problemas específicos.	23
1.3 Justificación	24
1.4 Objetivos de la investigación	25
1.4.1 Objetivo general.	25
1.4.2 Objetivos específicos.	25
CAPÍTULO II	26
2 MARCO TEÓRICO	26
2.1 Introducción	26
2.2 Antecedentes de investigación	26

	Pág.
2.3 Marco conceptual	28
2.3.1 El suelo y su origen.	28
2.3.2 Tipos de suelos.	29
2.3.3 Características de los suelos.	30
2.3.3.1 Por su tamaño.	30
2.3.3.2 Por su forma de partículas.	31
2.3.3.3 Por su estructura.	32
2.3.4 Clasificación de suelos.	33
2.3.4.1 Sistema de clasificación AASHTO.	33
2.3.4.2 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).	34
2.3.4.3 Clasificación por su distribución granulométrica.	37
2.3.5 Propiedades índice de los suelos granulares.	38
2.3.5.1 Granulometría.	39
2.3.5.2 Gradación.	40
2.3.5.3 Densidad relativa.	44
2.3.6 Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.	48
2.3.6.1 Generalidades.	48
2.3.6.2 Esfuerzos en una masa de suelo.	49
2.3.6.3 Fricción en los suelos.	50
2.3.6.4 Cohesión.	51
2.3.6.5 Esfuerzos internos.	53
2.3.7 Teoría de falla de MOHR.	54
2.3.8 Comportamiento de los suelos granulares.	56
2.3.8.1 Generalidades.	56

	Pág.
2.3.8.2 Factores que influyen el comportamiento de los suelos granulares.	57
2.3.9 Métodos de evaluación de la resistencia al corte en suelos granulares.	61
2.3.9.1 Método de corte.	61
2.3.9.2 Método de corte y reemplazo.	62
2.3.9.3 Método de la matriz.	63
2.3.9.4 Método de gradaciones paralelas.	65
2.3.9.5 Método de escalamiento de curvas granulométricas.	67
CAPÍTULO III	68
3 MATERIALES Y MÉTODOS	68
3.1 Metodología y tipo de investigación	68
3.1.1 Metodología de investigación.	68
3.1.2 Tipo de investigación.	68
3.2 Diseño de la investigación.	69
3.3 Formulación de hipótesis	71
3.3.1 Hipótesis general.	71
3.3.2 Hipótesis específicas.	71
3.3.2.1 Hipótesis específica N° 01.	71
3.3.2.2 Hipótesis específica N°02.	71
3.4 Variables de estudio	71
3.4.1 Variables dependientes (y).	72
3.4.2 Variables independientes (x).	72
3.5 Datos generales de la zona de estudio	72
3.5.1 Ubicación geográfica.	72
3.5.2 Descripción de las zonas de estudio.	76

	Pág.
3.5.2.1 Extensión superficial.	76
3.5.2.2 Topografía.	77
3.5.2.3 Geomorfología.	77
3.5.2.4 Clima.	79
3.6 Identificación de la población y tamaño de muestra	79
3.6.1 Población.	79
3.6.2 Tamaño de muestra.	82
3.7 Exploración y muestreo de suelos	84
3.7.1 Exploración de suelos.	85
3.7.1.1 Profundidad de exploración.	86
3.7.1.2 Esfuerzos debajo de un área rectangular.	87
3.7.1.3 Selección de los puntos de exploración.	90
3.7.2 Muestreo de suelos.	92
3.7.2.1 Muestras inalteradas.	93
3.7.2.2 Muestras alteradas.	94
3.8 Caracterización de los suelos	97
3.8.1 Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D 422).	97
3.8.2 Determinación del contenido de humedad.	99
3.8.3 Determinación de la plasticidad de los suelos.	100
3.8.3.1 Limite líquido (ASTM D 4318).	101
3.8.3.2 Limite plástico (ASTM D 4318).	102
3.8.3.3 Índice de plasticidad.	102
3.8.4 Clasificación de suelos.	104
3.8.5 Densidad de campo (ASTM 1556).	105

	Pág.
3.8.6 Gravedad específica.	107
3.9 Determinación de la densidad relativa	108
3.9.1 Determinación de la densidad relativa mediante ensayos de densidades mximas y mínimas.	108
3.9.1.1 Generalidades.	108
3.9.1.2 Procedimiento en laboratorio para realizar el ensayo de densidad mínima.	108
3.9.1.3 Procedimiento en laboratorio para realizar el ensayo de densidad máxima.	109
3.9.1.4 Resultados obtenidos de los ensayos de densidades máximas y mínimas.	110
3.9.2 Determinación de las densidades relativas mediante ensayos de escala reducida.	111
3.9.2.1 Generalidades.	111
3.9.2.2 Correlaciones de coeficiente de uniformidad – relación de vacíos mínimos.	112
3.9.2.3 Correlaciones de relación de vacíos mínimo - relación de vacíos máximo.	113
3.9.3 Metodología para estimar la densidad relativa en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida.	114
3.9.3.1 Paso 01: Clasificación de las muestras.	115
3.9.3.2 Paso 02: Escalamiento de curvas granulométricas.	116
3.9.3.3 Paso 03: Uso de correlación coeficiente de uniformidad – relación de vacíos mínimo.	119
3.9.3.4 Paso 04: Uso de correlación relación de vacíos mínimo – relación de vacíos máximo.	119
3.9.3.5 Paso 05: Construcción del gráfico tamaño máximo versus índice de vacíos.	121
3.9.3.6 Paso 06: Extrapolación y obtención de la densidad relativa.	122
3.10 Determinación del ángulo de fricción (ϕ)	123

	Pág.
CAPITULO IV	126
4 RESULTADOS Y DISCUSIONES	126
4.1 Generalidades	126
4.2 Resultados de los ensayos de laboratorio	126
4.2.1 Resultados de los ensayos de caracterización de suelos.	126
4.2.2 Resultados de la densidad relativa obtenido de los ensayos de escala reducida y las densidades máximas y mínimas.	128
4.3 Resultados obtenidos del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción	128
4.4 Prueba de hipótesis	129
4.4.1 Paso 01: Plantear la hipótesis nula y la hipótesis alterna.	130
4.4.1.1 Pruebas unilateral o de una cola.	131
4.4.1.2 Pruebas bilaterales o de dos colas.	132
4.4.2 Paso 02: Seleccionar el nivel de significancia.	132
4.4.2.1 Tipos de errores.	133
4.4.3 Paso 03: Calcular el valor del estadístico de prueba.	134
4.4.4 Paso 04: Formular la regla de decisión.	134
4.4.5 Paso 05: Tomar una decisión.	135
4.5 Pruebas de Hipótesis general de la investigación.	135
4.6 Prueba de Hipótesis específica de investigación.	136
4.6.1 Paso 01: Hipótesis nula e hipótesis alterna.	138
4.6.2 Paso 02: Selección del nivel de significancia.	139
4.6.3 Paso 03: Calcular el valor del estadístico de prueba.	139
4.6.4 Paso 04: Formular la regla de decisión.	142
4.6.5 Paso 05: Toma de decisión.	143

	Pág.
CAPÍTULO V	145
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
5.1 Conclusiones	145
5.2 Recomendaciones	147
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	148

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Límites de tamaño de suelos separados	31
Tabla 2. Forma de partículas	31
Tabla 3. Sistema de clasificación de suelos AASHTO	34
Tabla 4. Simbología de identificación del sistema SUCS	35
Tabla 5. Sistema de clasificación de suelos SUCS	36
Tabla 6. Clasificación por granulometría para tamaños mayores de 3"	37
Tabla 7. Reclasificación AMV Perú	38
Tabla 8. Densidad de suelos granulares	46
Tabla 9. Valores de φ para suelos granulares	51
Tabla 10. Tipo de edificación según el RNE	81
Tabla 11. Numero de puntos de investigación según el RNE	82
Tabla 12. Tipos de muestras de suelos para su estudio	93
Tabla 13. Profundidades de toma de muestras alteradas	96
Tabla 14. Ensayos realizados para la caracterización de suelos	97
Tabla 15. Resultados del análisis granulométrico	99
Tabla 16. Resultados de contenido de humedad	99
Tabla 17. Clasificación de suelos según el índice de plasticidad	103
Tabla 18. Resultados de la determinación de los índices de plasticidad	103
Tabla 19. Clasificación de suelos en estudio según SUCS	104
Tabla 20. Resultados de ensayos de densidad de campo	106
Tabla 21. Resultados de ensayos de gravedad específica	107
Tabla 22. Resultados de la D_r mediante ensayo de densidades máximas y mínimas	111
Tabla 23. Propiedades del material original	116

Tabla 24. Coeficiente de uniformidad de granulometrías escaladas	118
Tabla 25. Relación de vacíos máximos y mínimos de las curvas escaladas	120
Tabla 26. Relación de vacíos máximos y mínimos de la granulometría original	122
Tabla 27. Resultados de la D_r mediante el método de escalamiento de curvas granulométricas	123
Tabla 28. Relación entre la D_r y el ángulo de fricción de suelos sin cohesión	123
Tabla 29. Correlaciones para determinar el ángulo de fricción en función a su densidad relativa	124
Tabla 30. Cuadro comparativo de la obtención del ángulo de fricción a partir de ensayos en laboratorio y correlaciones propuestas por Gonzales de Celis, Meyerhof y Giuliani	125
Tabla 31. Resumen de resultados de ensayos de laboratorio	127
Tabla 32. Resumen de resultados obtenidos de laboratorio de los ensayos de escala reducida y densidades máximas y mínimas	128
Tabla 33. Resultados de ángulo de fricción a partir de su densidad relativa de los suelos en estudio	129
Tabla 34. Tabla de decisión	133
Tabla 35. Densidad relativa sobre la cual se quiere probar la hipótesis específica 02	137
Tabla 36. Variables sobre las cuales se hará la prueba de hipótesis	138
Tabla 37. Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "A" de la D_r	141
Tabla 38. Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "B" de la D_r	141
Tabla 39. Tabla de t de student	142

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Carta de plasticidad de suelos cohesivos.	35
Figura 2. Representación de un suelo bien graduado.	40
Figura 3. Representación de un suelo mal graduado discontinuo.	41
Figura 4. Representación de gradación de suelos.	41
Figura 5. Clasificación de curvas granulométricas por su textura.	42
Figura 6. Diagrama de fases del suelo.	45
Figura 7. Elemento sujeto al caso general de esfuerzos.	49
Figura 8. Formación del plano de falla.	50
Figura 9. Capilares entre dos granos de arena.	52
Figura 10. Capilares entre dos láminas de arcilla.	52
Figura 11. Estado triaxial de tensiones en una probeta de suelo.	54
Figura 12. Envoltorio de falla de Mohr y los criterios de falla de Mohr Coulomb.	55
Figura 13. Distribución granulométrica del método de corte y reemplazo.	63
Figura 14. Esquema de suelo con partículas de sobre tamaño.	64
Figura 15. Granulometrías de las curvas homotéticas.	66
Figura 16. Escalamiento de curvas granulométricas.	67
Figura 17. Esquema seguido para la ejecución de la presente tesis.	70
Figura 18. Ubicación de la zona de estudio.	73
Figura 19. Fotografía satelital del sector 01, con la ubicación de las exploraciones realizadas.	74
Figura 20. Fotografía satelital del sector 02, con la ubicación de las exploraciones realizadas.	74
Figura 21. Fotografía satelital del sector 03, con la ubicación de la exploración realizada.	75

Figura 22. Fotografía satelital del sector 04, con la ubicación de las exploraciones realizadas.	75
Figura 23. Fotografía satelital del sector 05, con la ubicación de las exploraciones realizadas.	76
Figura 24. Estratigrafía de las zonas de estudio.	78
Figura 25. Mapa geológico del cuadrante Lagunillas.	80
Figura 26. Profundidad de cimentación en zapatas superficiales.	86
Figura 27. Grafico del incremento de presiones en un área rectangular.	90
Figura 28: Excavaciones a base de pozos a cielo abierto.	92
Figura 29. Extracción de muestra en un estado alterado en las calicatas a cielo abierto.	95
Figura 30: Muestras representativas de cada estrato empacadas en bolsas de polietileno.	95
Figura 31. Análisis granulométrico desarrollado en laboratorio.	98
Figura 32. Estados de los límites de Atterberg	101
Figura 33. Ensayo de densidad de campo en una calicata.	106
Figura 34. Correlaciones para $C_u - e_{min}$.	113
Figura 35. Correlaciones para $e_{min} - e_{max}$	114
Figura 36. Escalamiento de curvas granulométricas.	117
Figura 37. Grafico d_{max} vs e	121
Figura 38. Región de rechazo, aceptación y valor crítico en las pruebas de hipótesis.	135
Figura 39. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis específica N° 02.	143
Figura 40. Comparación de resultados de la densidad relativa determinado por métodos distintos.	144

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A	: Densidades relativas obtenidos mediante ensayos de escala reducida	152
Anexo B	: Certificados de laboratorio (Perfil estratigráfico, contenido de humedad, análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, densidad de campo, densidades máximas y mínimas)	159
Anexo C	: Ubicación de las calicatas exploradas en el Distrito de Santa Lucía (PU-01)	209

SÍMBOLOS USADOS

ASTM	American Association of State Highway and Transportation Officials.	[-]
ϕ	Ángulo de fricción	[°]
Cc	Coeficiente de curvatura	[-]
Cu	Coeficiente de uniformidad	[-]
Dr	Densidad relativa	[%]
D_{10}	Diámetro para el cual el 10% del suelo es de menor tamaño	[mm]
D_{30}	Diámetro para el cual el 30% del suelo es de menor tamaño	[mm]
D_{60}	Diámetro para el cual el 60% del suelo es de menor tamaño	[mm]
d_{max}	Tamaño máximo	[mm]
e	Relación de vacíos natural	[-]
e_{min}	Relación de vacíos mínimo	[-]
e_{max}	Relación de vacíos máximo	[-]
EMS	Estudio de mecánica de suelos	[-]
Gs	Gravedad específica	[-]
INGEMMET	Instituto geológico minero y metalúrgico del Perú	[-]
INV	Instituto Nacional de Vías	[-]
Nch	Norma chilena	[-]
NTP	Norma técnica peruana	[-]
RNE	Reglamento nacional de edificaciones	[-]
Sa – a	Subangular a angular	[-]
Sr – r	Subredondeada a redondeada	[-]
SUCS	Sistema unificado de clasificación de suelos	[-]
γ_d	Densidad seca de campo	[gr/cm ³]
γ_h	Densidad húmeda	[gr/cm ³]
γ_{max}	Densidad máxima	[gr/cm ³]
γ_{min}	Densidad mínima	[gr/cm ³]

RESUMEN

El parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción es una determinante en el cálculo de la capacidad de carga última de un suelo, y por ello debe ser obtenido de una forma adecuada. Determinar el ángulo de fricción de los suelos granulares es en general una difícil tarea dentro de la caracterización geotécnica de estos tipos de materiales, puesto que la presencia de partículas de gran tamaño no permiten el uso de los equipos convencionales, lo cual ha implicado el desarrollo de una metodología alternativa que permita estimar el ángulo de fricción y su relación con la densidad relativa en un rango de relaciones de vacíos, a partir de ensayos de escala reducida. La metodología en si consiste en realizar el escalamiento de la curva granulométrica original a tamaños máximos de 38.1mm, 19.1mm y 4.76mm, y a la vez se ha fijado el tamaño mínimo (0.075mm); el resultado de este escalamiento son tres nuevas granulometrías, con diferentes coeficientes de uniformidad para con ello determinar las relaciones de vacíos máximos y mínimos escalados y el correspondiente al material original de esta manera obtener su densidad relativa y el ángulo de fricción. Adicionalmente a ello a través de ensayos de laboratorio y campo se ha determinado la gravedad específica y la densidad de campo del material original para determinar la relación de vacíos natural. Los valores del ángulo de fricción de los doce puntos de exploración obtenidos mediante los ensayos de escala reducida para los suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa (GW, GP y GW-GM) que pertenecen al Distrito de Santa Lucía se encuentran entre los parámetros de 35.42° a 38.16° con densidades relativas de 24.01% a 43.60%; para validar estos resultados obtenidos, se ha realizado un análisis estadístico con respecto a la densidad relativa obtenida mediante los ensayos de densidades máximas y mínimas, obteniéndose un estadístico de prueba de 0.024 la cual se encuentra dentro de -2.074 a 2.074, afirmándose que no existe diferencia significativa entre las muestras relacionadas y finalmente se determina la validez y confiabilidad de la metodología propuesta.

Palabras clave: Ángulo de fricción, densidad relativa, relación de vacíos, coeficiente de uniformidad.

ABSTRACT

The resistance parameter to the cut, angle friction is a determinant in the calculation of the ultimate load capacity of a soil, and therefore it must be obtained in an appropriate way. Determine the friction angle of the granular soils is in general a difficult task within the geotechnical characterization of these material types, since the presence of large particles do not allow the use of conventional equipment, this has involved the development of an alternative methodology to estimate the friction angle and its relationship with the relative density in a range of the voids relation, from small scale trials. The methodology itself is to perform the scaling of the original granulometric curve to maximum sizes of 38.1mm, 19.1mm and 4.76mm, and at the same time it has set the minimum size (0.075mm); the result of this escalation are three new granulometries, with different coefficients of uniformity to determine the voids relation of maximum and minimum escalated and corresponding to the original material in order to obtain its relative density and the friction angle. In addition through to this laboratory testing has determined the specific gravity and the density of the original material to determine the natural void relation. The friction angle values of the twelve exploration points obtained through small scale trials for granular soils with presence of gravel embedded in a sandy matrix (GW, GP y GW-GM) that belong to the Santa Lucia district are among the parameters of 35.42° to 38.16° with relative densities of 24.01% to 43.60%; validate these results, it has made a statistical analysis with respect to the relative density obtained through the testing of maximum and minimum densities, obtaining a statistical test of 0,024 which is within -2,074 to -2.074, stating that there is no significant difference between the samples related and finally determines the validity and reliability of the proposed methodology.

Key words: Angle friction, relative density, the void relations, coefficient uniformity.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Es de vital importancia conocer la resistencia al corte que presenta el terreno de fundación mediante un adecuado estudio de mecánica de suelos; de tal manera poder asegurar la estabilidad de una masa de suelo sometida a sobrecargas permanentes (edificaciones).

Para la determinación de los parámetros de la resistencia al corte de los suelos tales como el ángulo de fricción y la cohesión, existe una variedad de procedimientos y equipos (corte directo, compresión no confinada, triaxial, SPT, DPL, veleta de campo, etc.) que buscan simular las condiciones reales a las cuales se encuentra sometido un suelo durante su periodo de servicio. La aplicación de uno u otro método varía en función al tipo de suelo que se quiera evaluar, sin embargo la mayoría de ellos es aplicable para suelos finos o cohesivos.

En realidad, al realizar la exploración del sub suelo, a menudo se observan que los terrenos de fundación muchas veces corresponden a suelos friccionantes o materiales granulares que van desde arenas, gravas hasta grandes bloques, mas no corresponden a suelos cohesivos.

Desde el punto de vista de la ingeniería geotécnica los suelos granulares o de grandes partículas presentan un buen comportamiento y comparativamente desarrollan, en general, mayor rigidez y resistencia al corte que los suelos de partículas menores o más pequeñas. Sin embargo, para la evaluación y/o determinación de sus propiedades mecánicas, es dificultosa y de un costo muy alto por el tamaño que requieren las muestras a ser ensayadas. En la práctica hay una escasez de equipos que permitan ensayar estos suelos granulares con partículas de tamaños sobre 1" y además, la toma de muestras en un estado "inalterado" es de gran complejidad técnica y en muchos casos es hasta imposible debido a la cohesión nula que poseen este tipo de materiales.

Por otro lado, es importante señalar que en la actualidad en proyectos donde están involucrados los suelos granulares, específicamente gravas inmersas en una matriz arenosa se vienen realizando un inadecuado estudio de mecánica de suelo, o en el peor de los casos se opte por asumir valores o utilizar información disponible de la literatura técnica, utilizándose parámetros conservadores.

Resulta entonces relevante disponer de una metodología alternativa indirecta que permita determinar la densidad relativa y el ángulo de fricción en suelos granulares, de una forma rápida, simple y confiable.

Después de los planteamientos manifestados se presenta las siguientes interrogantes para su correspondiente estudio.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general.

¿Sería posible obtener el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción y su relación con la densidad relativa mediante los ensayos de escala reducida en suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa?

1.2.2 Problemas específicos.

- ¿Sería posible determinar el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa a partir de su densidad relativa?
- ¿Cuáles serían los resultados a obtener de las densidades relativas mediante los ensayos de escala reducida que presentan los suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa?

1.3 Justificación

De acuerdo a los antecedentes indicados es que surge la iniciativa de hacer una investigación enfocada al desarrollo de una metodología alternativa para estimar el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción de los suelos granulares en función a su densidad relativa a partir de ensayos convencionales de la mecánica de suelos.

En realidad no existe una metodología estándar que permita evaluar los valores de densidades máximas y mínimas precisos en suelos granulares, por lo cual el parámetro de la densidad relativa en general es omitido en la mayoría de los estudios geotécnicos. El no conocer el grado de compactación del material, limita considerablemente la caracterización geotécnica de este tipo de suelos ya que la densidad relativa está relacionada directamente con la resistencia al corte.

La metodología alternativa, consiste en escalar el material grueso generando tres nuevas curvas granulométricas similares a la original con tamaños máximos de 38.1mm, 19.1mm y 4.76mm y a la vez se fija su tamaño mínimo (0.075mm), obteniéndose de esta manera valores de coeficientes de uniformidad, relaciones de vacíos máximos y relaciones de vacíos mínimos de las curvas escaladas. Adicionalmente se determina la densidad de campo y la gravedad específica para obtener su correspondiente densidad relativa.

De acuerdo a lo indicado los ensayos a efectuarse para la metodología propuesta pueden ser desarrollados en cualquier laboratorio de Mecánica de Suelos sin la necesidad de contar con equipos especiales o de gran escala. Y además cabe mencionar que esta metodología propuesta cuenta con ventajas en cuanto a complejidad, bajo costo, menor tiempo y accesibilidad. Por lo que se justifica el presente estudio donde se busca cubrir las necesidades que se ha indicado.

Por otra parte, en los últimos años el distrito de Santa Lucia ha tenido un crecimiento poblacional considerable, por tanto se incrementa la necesidad de satisfacer la demanda de la construcción de nuevas edificaciones. Precisamente es por eso que el objetivo de la presente tesis es realizar un adecuado estudio de suelos, específicamente en la determinación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción. Dado que al tener alcance esta

información suficiente y confiable a las condiciones del subsuelo, los propietarios de las viviendas tendrían una idea clara y sin riesgos de invertir y construir una edificación. Así mismo servirá como herramienta de trabajo y elemento para la toma de decisiones para el planeamiento y desarrollo a nivel de infraestructura del Distrito de Santa Lucia.

A parte de ello la metodología propuesta y los resultados a obtener en la presente investigación pueden ser aplicados a suelos granulares que no pertenecen específicamente a la zona de estudio.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general.

Obtener el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción y su relación con la densidad relativa en suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa mediante ensayos de escala reducida.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Determinar el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción a partir de su densidad relativa en suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa.
- Determinar las densidades relativas que presentan los suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa mediante los ensayos de escala reducida.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

En este capítulo, se dan a conocer los antecedentes de estudios y las bases teóricas correspondientes al tema de la presente investigación, temas como: El suelo y su origen, tipos de suelos, características de los suelos, clasificación de suelos, propiedades índice de los suelos granulares, resistencia al esfuerzo cortante, comportamiento de los suelos granulares y métodos de evaluación de la resistencia al corte en suelos granulares; son los que se van a desarrollar en seguida, puesto que forman parte de los conocimientos básicos relevantes en los cuales se sustenta la presente tesis planteada. Los conceptos serán desarrollados teniendo en cuenta la bibliografía vigente de conocidos investigadores que ayudarán sin lugar a dudas en la correcta y adecuada comprensión de los temas a tratarse en el presente capítulo.

2.2 Antecedentes de investigación

Autor(s): Karem Heidy de la Hoz Álvarez. Año: 2007. Título: “Estimación de los parámetros de resistencia al corte en suelos granulares”. Objetivo: En este estudio definieron las metodologías más apropiadas para obtener los parámetros geomecánicos de un suelo granular grueso, mediante el uso de muestras equivalentes de menor tamaño de partículas. Los métodos analizados corresponden al de las curvas homotéticas y el método de corte. Donde las muestras equivalentes se han desarrollado mediante ensayos triaxiales en un rango de presiones de confinamiento entre 0.5 a 4.0 kg/cm² e igual densidad relativa, llegándose a la conclusión que para aplicar el método de las curvas homotéticas el porcentaje de finos no debe superar al 10% y las partículas deben ser sanas, para que la rotura de estas no sea un factor preponderante en la resistencia; con respecto al método de corte resulta aplicable solo cuando el porcentaje de sobretamaño del material original es menor al 20%.

Autor (s): Leonardo Hernán Dorador Ortiz. Año: 2010. Título: Análisis experimental de las metodologías de curvas homotéticas y corte en la evaluación de propiedades geotécnicas de suelos gruesos. Objetivo: Este estudio tuvo como objetivo principal analizar la efectividad

del método de las curvas granulométricas homotéticas en suelos granulares gruesos al variar la dureza de las partículas de las muestras escaladas, en materiales que poseen partículas alteradas o meteorizadas. Metodología: En la investigación se utilizaron dos materiales para curvas homotéticas: Un enrocado con partículas sanas y meteorizadas, y un ripio lixiviado; los cuales fueron ensayados en triaxiales convencionales y en el aparato triaxial de gran escala de IDIEM. También analizaron el método de corte utilizando materiales de origen fluvial. Los resultados obtenidos muestran que en el método de las curvas homotéticas la varianza de la dureza de partículas en la muestra original y homotéticas es suficiente para conseguir valores de resistencia diferentes entre las granulometrías escaladas. Considerando el método de corte, se confirma que subestima la resistencia al corte y sobreestima el módulo de deformación.

Autor(s): Gonzales de Celis Gioconda, De Barcia Esmeralda, Sulbaran Yosmar y Uncar Navarro. Año: 2014. Título: “Determinación del ángulo de fricción y su relación con los parámetros densidad relativa y relación de vacíos en suelos granulares”. Objetivo: En la mencionada investigación han propuesto establecer la relación entre el ángulo de fricción interna, la densidad relativa y la relación de vacíos en suelos granulares. Metodología: Realizaron 13 calicatas correspondientes a materiales de origen sedimentario aluvial y arcilloso de las que se determinó la densidad natural, propiedades índices de los suelos y ensayos como corte directo, densidad relativa y compactación. Se analizan los resultados obtenidos de estudios experimentales relacionándolos gráficamente entre los parámetros obtenidos para observar la similitud con expresiones obtenidas por otros autores como Meyerhof (1956), Cauquot (1969) y Giuraudet (citado por Costet J.y Sanglerat G, 1975) y entre otros. A través de esta propusieron una nueva ecuación matemática para determinar el ángulo de fricción en función a su densidad relativa, la cual fue sometida a un análisis estadístico a través del programa crystall ball, con la finalidad de obtener los parámetros más sensibles.

Autor(s): José Riquelme y Leonardo Dorador. Fecha: 2014. Título: “Metodología para determinar densidades máxima y mínima en suelos granulares gruesos a partir de ensayos de laboratorio de escala reducida”. El objetivo de la investigación fue establecer correlaciones a partir de resultados de ensayos de densidades máximas y mínimas de laboratorio convencionales. Para ello realizaron una búsqueda intensa en la literatura técnica, de donde establecieron correlaciones para estimar los índices de vacíos máximos y mínimos utilizando

el coeficiente de uniformidad. La metodología consiste en escalar la curva granulométrica original a diferentes tamaños de partículas esto con la finalidad de obtener diferentes coeficientes de uniformidad, relaciones de vacíos máximos y mínimos y partir de estas la densidad relativa. Han concluido que a mayores valores de coeficiente de uniformidad la relación de vacíos máximo y mínimo disminuyen, también se pudo confirmar que dentro de la relación lineal relación de vacíos máximos versus la relación de vacíos mínimos que al crecer el D_{50} de una muestra, la relación de vacíos máximo experimenta un leve descenso. Así mismo, propusieron una metodología para la estimación de índices de vacíos mínimos y máximo, la cual se complementa con el uso de las curvas homotéticas en la extrapolación de las relaciones de vacíos máximos y mínimos.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 El suelo y su origen.

Braja (2001) expresa que “en el sentido general de la ingeniería, suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas”. También hace mención que “el suelo se usa como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y sirve para soportar las cimentaciones estructurales”.

Así mismo Crespo (2004) define que “el suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan. Entre los agentes físicos que producen cambios en las rocas figuran el sol, el agua, el viento y los glaciares”. A pesar de que los agentes físicos son de mucha importancia en la formación de los suelos, ellos no son capaces de reducir fragmentos rocosos a tamaños individuales a menos de 0.01mm. La desintegración a tamaños individuales menores de 0.01mm solo se puede efectuarse por procesos químicos. Entre los agentes químicos podemos mencionar la oxidación, la carbonatación y la hidratación.

La acción de los agentes de intemperismo antes mencionados se conoce comúnmente en el medio ingenieril como meteorización y alteración que dan origen a los suelos inorgánicos.

La meteorización se refiere únicamente a los cambios superficiales que sufren las rocas debido a la acción de los agentes atmosféricos, y la alteración designan los cambios internos de las rocas que se presentan en forma de hidratación y motivan a que se formen nuevos minerales dentro de la masa pétreo, conservando su individualidad y su identificación geológica.

Se debe agregar también que los restos de la vegetación y otros restos orgánicos, al ser descompuestos por la acción de los microorganismos para su propia nutrición, dejan como residuo partículas finas de tamaños coloidales denominados humus. El humus se mezcla en diferentes proporciones con las partículas minerales, formándose de esa manera los suelos orgánicos.

2.3.2 Tipos de suelos.

Crespo (2004) describe que “de acuerdo al origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos grandes grupos: Suelos inorgánicos, donde su origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico”.

Si en los suelos inorgánicos el producto del intemperismo de las rocas permanece en el sitio donde se formó, da origen a un suelo residual; en caso contrario, forman un suelo transportado, cualquiera haya sido el agente transportador.

Los productos del ataque de los agentes de intemperismo pueden quedar en el lugar, directamente sobre la roca de la cual se derivan, dando así origen a suelos llamados residuales; sin embargo estos productos pueden también ser removidos del lugar de formación, por los mismos agentes geológicos y redepositados en otra zona. Así se generan suelos que sobreyacen sobre estratos sin relación directa con ellos; a estos suelos se les denomina transportados. (Juárez y Rico, 2011).

En cuanto a los suelos orgánicos, ellos se forman casi siempre in situ. Muchas veces la cantidad de materia orgánica, ya sea en formas de humus o de materia no descompuesta, o en su estado de descomposición, es tan alta con relación a la cantidad de suelo inorgánico

que las propiedades que pudieran derivar de la porción mineral quedan eliminadas. Esto es muy común en las zonas pantanosas, en las cuales los restos de vegetación acuáticas llegan a formar verdaderos depósitos de gran espesor, conocidos con el nombre genérico de turbas. Se caracterizan por el color negro o café oscuro, por su poco peso cuando están secos y su gran compresibilidad y porosidad.

Así mismo Braja (2015) menciona que los suelos orgánicos suelen encontrarse en áreas de poca altura donde los niveles de agua freática están cerca o arriba de la superficie del terreno. La presencia de un nivel de agua freática alto fomenta el crecimiento de plantas acuáticas que, al descomponerse, forman un suelo orgánico, donde muestran características de contenido de humedad de 200 a 300%, alta compresibilidad y derivan grandes asentamientos a partir de la consolidación primaria.

2.3.3 Características de los suelos.

2.3.3.1 Por su tamaño.

Los tamaños de las partículas, que conforman un suelo, varían en un amplio rango. Los suelos en general son llamados gravas, arenas, limos y arcillas, dependiendo del tamaño predominante de las partículas dentro del suelo.

Las gravas son fragmentos de rocas con partículas ocasionales de cuarzo, feldespato y otros minerales. En las partículas de arena predominan el cuarzo y el feldespato. A veces también pueden estar presentes granos de otros minerales. Los limos son las fracciones microscópicas del suelo que consisten en fragmentos de cuarzo muy finos y algunas partículas en forma laminar. Las arcillas son en su mayoría partículas en forma de láminas microscópicas y submicroscópicas de mica, minerales de arcilla y otros minerales (Braja, 2015).

Para describir los suelos por el tamaño de sus partículas, varias organizaciones desarrollaron límites de tamaño de suelo separado. La tabla 1 muestra los límites de separación de tamaños de suelo desarrollado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts, el Departamento de Agricultura de E.U., la Asociación Americana de Funcionarios de Transportes y Carreteras Estatales, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U. y la Oficina de Reclamación de E.U.

Tabla 1.

Límites de tamaño de suelos separados

NOMBRE DE LA ORGANIZACIÓN	TAMAÑO DEL GRANO (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	> 2.00	2.00 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2.00	2.00 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios de Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2.00	2.00 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir limos y arcillas) < 0.075	

Nota: Tomada de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja 2001.

2.3.3.2 Por su forma de partículas.

Juárez y Rico (2005) señalan que la forma de las partículas de los suelos gruesos es equidimensional, donde las tres dimensiones de las partículas son de magnitud comparable. Se origina por la acción de los agentes mecánicos desintegradores y solo excepcionalmente corresponde a partículas que hayan sufrido algún ataque químico. Según la intensidad y lapso con que estos agentes mecánicos hayan actuado, se producen variedades en la forma equidimensional, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.

Forma de partículas

DESCRIPCION	CRITERIO
Angulosa	Partículas que tienen bordes afilados y con superficies relativamente planas no pulidas.
Subangulosa	Partículas que son similares a la descripción angulosa pero tienen bordes redondeados.
Subredondeada	Partículas que tienen lados casi planos pero tienen esquinas y bordes bien redondeados.
Redondeado	Partículas que tienen lados suavemente curvados y sin bordes.

Nota: Tomada de Guía de Laboratorio de Mecánica de Suelos, Huaquisto 2012.

“En los suelos finos, a causa de la génesis especial, la forma de las partículas tiende a ser aplastada, por lo que los minerales de arcilla, en la mayoría de los casos adoptan la forma laminar; con excepción de algunos minerales que poseen la forma acicular” (Juárez y Rico, 2005).

2.3.3.3 *Por su estructura.*

Juárez y Rico (2005) revelan que en los suelos formados por partículas relativamente grandes (gravas y arenas) su estructura es simple, puesto que las partículas se disponen apoyándose unas de otras, por lo que el comportamiento mecánico e hidráulico queda definido principalmente por la compacidad del suelo. En los suelos formados por partículas muy pequeñas (limos y arcillas), las fuerzas que intervienen en los procesos de estructuración son de un carácter mucho más complejo y las estructuras resultantes son solo parcialmente verificables por métodos indirectos, relativamente complicados y aun en plena etapa de desarrollo. Todo ello hace que los mecanismos de estructuración y aun las mismas estructuras resultantes seas, de estos suelos, materia de hipótesis. Tradicionalmente se han considerado las estructuras: simple, panaloide y floculenta como las básicas en los suelos reales.

La estructura simple es aquella producida cuando las fuerzas debidas al campo gravitacional terrestre son claramente predominantes en la disposición de las partículas. Las partículas se disponen apoyándose directamente unas en otras y cada partícula posee varios puntos de apoyo, específicamente queda definido por dos características la compacidad y la orientación de sus partículas. Es típico de los suelos granulares.

La estructura panaloide se considera típica para tamaños de partícula menores a 0.002mm; en estas partículas la gravitación ejerce un efecto que hace que tiendan a sedimentarse y la estructura floculenta se da cuando en el proceso de sedimentación dos partículas de diámetros menores de 0.02 mm llegan a tocarse, se adhieren con fuerza y se sedimentan juntas; así, otras partículas pueden unirse al grupo, formando un grumo con estructura similar a un panal.

2.3.4 Clasificación de suelos.

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de granos y plasticidad de los suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos. Estos son el sistema de clasificación de suelos AASHTO y el sistema de clasificación SUCS. El sistema AASHTO principalmente es usada por los departamentos de caminos estatales, mientras que los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el SUCS.

2.3.4.1 Sistema de clasificación AASHTO.

Este sistema fue propuesto originalmente en 1929 como el Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos. Ha sufrido varias revisiones, con la versión actual propuesta por el Comité para la Clasificación de Materiales para Subrasantes y Caminos Tipo Granulares del Consejo de Investigaciones de Carreteras en 1945.

Según este sistema de clasificación el suelo se clasifica en ocho grupos principales, desde el A-1 hasta el A-8, con base a su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2, y A-3 son materiales de grano grueso, donde el 35% o menos de las partículas pasan por la malla N°200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la malla N°200 corresponden a materiales finos y se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, la mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla. La turba, el fango y otros suelos altamente orgánicos se clasifican en el grupo A-8 y se identifican mediante una inspección visual. Adicionalmente Braja (2001) explica que “para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasantes de carreteras, se incorpora también un número llamado índice de grupo (IG) junto con los grupos y subgrupos de suelo. Un índice de grupo “cero” significa que se trata de un suelo muy bueno, entre mayor sea el valor del índice de grupo para un suelo dado, más deficiente será el desempeño del suelo como capa subrasante. Un índice de grupo de 20 o mayor indica un material muy deficiente para utilizarlo como capa subrasante. El IG se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo.

Tabla 3.

Sistema de clasificación de suelos AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limos - arcillas (más del 35% de la muestra pasa la malla N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub - grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Porcentaje que pasa N° 10 (2mm)	50 máx										
N° 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín								
N° 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características de la fracción que pasa la malla N°40											
Límite líquido				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad	6 máx	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx	4 máx	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipos de material	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Terreno de fundación	De excelente a bueno							De regular a pobre			

NOTA:
 Si el $IP \leq LL - 30$, pertenece al grupo A-7-5
 Si el $IP > LL - 30$, pertenece al grupo A-7-6
 Si el suelo es NP el $IG = 0$, Si el $IG < 0$ el $IG = 0$
 El $IG = 0$ de los suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3

Nota: IP=Índice de plasticidad; LL=Límite líquido; NP=No plástico; IG=Índice de grupo. Tomada de Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja 2011.

2.3.4.2 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

Braja (2001) alude que “la forma original de este sistema fue propuesto por Casagrande en 1942, para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En cooperación con la Oficina de Restauración de Estados Unidos, el sistema fue revisado en 1952”. Hoy en día es ampliamente usado, este sistema clasifica a los suelos en dos amplias categorías: Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arena con menos del 50% pasando por la malla N°200 y los suelos de grano fino que corresponden a limos y arcillas con más del 50% pasando por la malla N°200.

Para una clasificación apropiada, debe conocerse algo o todo de la información siguiente:

- Porcentaje de gravas, es decir, la fracción que pasa la malla de 76.2 mm y es retenida en la malla N°4 (abertura de 4.75mm).
- Porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa la malla la N°4, y es retenida en la malla N°200 (abertura de 0.075 mm)
- Porcentaje de limo y arcilla, es decir la fracción de finos que pasa la malla N° 200.

- Coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc).
- Limite líquido e índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla N° 40.

La tabla 4 muestra los símbolos que se usan como identificación, en el sistema unificado.

Tabla 4.

Simbología de identificación del sistema SUCS

Tipo de suelo	Prefijo	
Suelos de grano grueso	Grava	G
	Arena	S
Suelos de grano fino	Limo	M
	Arcilla	C
Limos y arcillas orgánicas		O
Turba y suelos altamente orgánicos		Pt
Sub grupo	Sufijo	
Bien graduada	W	
Mal graduada	P	
Baja plasticidad (LL menor que 50)	L	
Alta Plasticidad (LL mayor que 50)	H	

Nota: LL=Limite líquido. Tomada de Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja 2011.

Cuando el material presenta más del 50% pasante de la malla N°200, puede usarse únicamente la carta de plasticidad; puesto que, tras un estudio experimental de diferentes muestras de suelos de grano fino, Casagrande consigue ubicarlos en un cuadro que se muestra en la figura 1, que relaciona el limite liquido con el índice de plasticidad, de donde se destacan tres líneas que actúan a modo de límites. (Apaza, 2014)

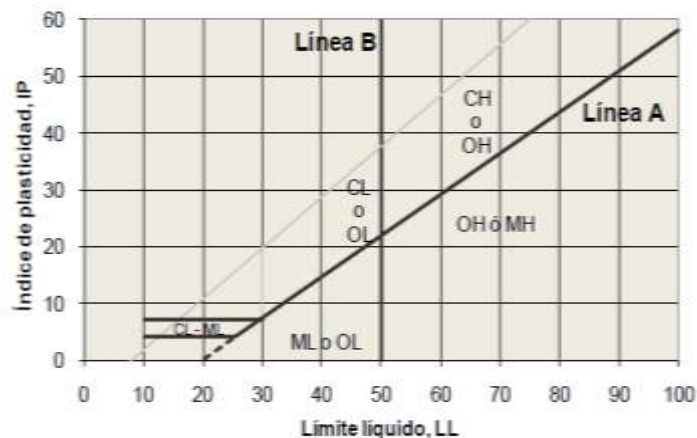


Figura 1. Carta de plasticidad de suelos cohesivos. Tomada de Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja 2011.

Tabla 5.

Sistema de Clasificación de Suelos SUCS

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio			Clasificación de suelos			
			Símbolo de grupo	Nombre del grupo		
Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
			$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada	
	Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200		$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
			$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa	
	Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200		Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo	
			Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla	
			Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo	
			Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla	
	Arenas El 50% o mas de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200		$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
				$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada
		Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200		$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
				$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
		Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200		Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo
				Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla
	Cumple los criterios para SP y SM		SP-SM	Arena mal graduada con limo		
	Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC	Arena mal graduada con arcilla			
Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200	Limos y arcillas Limite Liquido menor que 50	Inorgánicos	$IP > 7$ y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad	
			$IP < 4$ y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad	
		Orgánicos	Limite liquido - secado al horno < 0.75	OL	Arcilla orgánica	
			limite liquido - no secado		Limo orgánico	
	Limos y arcillas Limite Liquido mayor que 50	Inorgánicos	$IP > 7$ y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad	
			$IP < 4$ y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad	
		Orgánicos	Limite liquido - secado al horno < 0.75	OH	Arcilla orgánica	
			limite liquido - no secado		Limo orgánica	
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro		PT	Turba		

Nota: Cu=Coeficiente de uniformidad; Cc=Coeficiente de curvatura; IP=Índice de plasticidad. Tomada de Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja 2011.

2.3.4.3 Clasificación por su distribución granulométrica.

Shuan (2011) expresa que “los suelos granulares comprenden la mezcla de diferentes tamaños de materiales tales como fragmentos de roca o bloques, boleos, cantos rodados, gravas, arenas y finos. Sin embargo la mayoría de los sistemas de clasificación consideran la granulometría de los tamaños menores de 3”, no hay uniformidad en cuanto a la clasificación de los tamaños mayores”.

Estudios, investigaciones y experiencias de campo en suelos aluvionales con predominio de boleos, es decir con partículas de diámetros mayores de 3”, encuentran limitaciones para su clasificación en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, que al no considerarse se introduce errores en sus propiedades físicas, distorsionando posteriormente el análisis de su comportamiento. Entonces debido a ello Martínez (1996) “revisa y analiza los sistemas de clasificación de suelos por su granulometría que consideran y mencionan el tamaño de las denominaciones de las partículas mayores de 3”. Adicionalmente a ello sugiere una reclasificación.

Tabla 6.

Clasificación por granulometría para tamaños mayores de 3”

Denominación	Tipos de tamaños	AGU	DIN 4022	ASTM D422 D653	AASHTO T88	SUCS D-2487	ASEE	sugerencias A.M.V
Bloques		> 4000					(Bidr) >9”	
Boleos o bolones	Muy grande	4000 a 2000	> 60	> 300	> 300	> 75	(Cbi) 76-230 3”-9”	> 75 Bo
	Grande	2000 a 1000		(12”)	(12”)			
Mediano	1000 a 500							
Pequeño	500 a 250							
Guijarros	Grandes	250 a 125		300 a 75	> 75			
	Pequeños	125 a 64						
Gravas	Muy gruesos	< 64	< 60	< 75	< 75	< 75	< 76 (3”)	< 75 G

Nota: AGU= American Geophysical Union; ASEE= American Society for Engineering Education System; AMV=Alberto Martínez Vargas; G=Gravas; Bo=Bolones. Tomada de Boletín técnico M.I.G N°19 propuesta para las cimentaciones en suelos aluvionales, Martínez 1996.

En la tabla 6 se presenta la clasificación por granulometría para tamaños de partículas mayores de 3", donde se observa que el sistema AGU es el más completo donde presenta por tamaños tres tipos: bloques mayores de 4000mm, bolones entre 250 a 4000mm y guijarros entre 64 a 250mm, y el ASEE propone el símbolo para bloques (Bidr) y bolones (Cbi), en cambio los sistemas ASTM y AASHTO son iguales y consideran dos tipos que incluye a todos los tamaños mayores que la grava el DIN y SUCS son más generales.

La reclasificación se realiza cuando el suelo en estudio presenta boleos (partículas mayores a 3") mayores al 50%. La reclasificación A.M.V Perú se dará como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 7.

Reclasificación AMV Perú

N° MUESTRA	% BOLONERÍA	Cu	Cc	CLASIFICACIÓN SUCS	RECLASIFICACIÓN AMV Perú
01	59	57.8	12.3	GP	Bo + GP
02	60	342.9	8.6	GP-GM	Bo + (GP-GM)
>50%					

Nota: Cu=coeficiente de uniformidad; Cc=coeficiente de curvatura; Bo=bolones o boleos; AMV=Alberto Martínez Vargas. Tomada de Boletín técnico M.I.G N°19 propuesta para las cimentaciones en suelos aluvionales, Martínez 1996.

2.3.5 Propiedades índice de los suelos granulares.

Alva (2007) nombra que "una propiedad índice es cualquier propiedad del suelo utilizada en la clasificación del suelo". Las propiedades índice de un suelo deben poseer los siguientes atributos:

- La propiedad debe ser simple de expresarse, preferentemente debe tener valor numérico.
- Debe ser posible de medirse rápidamente.
- La medición de la propiedad debe ser de bajo costo.
- La propiedad debe ser significativa.
- La medición debe ser reproducible.

Es necesario realzar que no existe una propiedad índice única que sea apropiada para la clasificación de suelos, sino que se necesitan varias, y que pueden ser diferentes para suelos finos y suelos granulares.

Por definición los suelos granulares son aquellos cuyos granos no están juntos firmemente. De este modo, el suelo se desintegra en granos individuales al sumergirse en el agua. Las arenas y las gravas son suelos granulares típicos, dentro de sus propiedades índices se tienen:

2.3.5.1 Granulometría.

Crespo (2004) señala que “el conocimiento de la composición granulométrica de un suelo grueso sirve para discernir la influencia que pueda tener en la densidad del material compactado”. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo.

Braja (2011) indica que “en cualquier masa de suelo, los tamaños de los granos varían considerablemente. Para clasificar apropiadamente un suelo se debe conocer su distribución granulométrica”. Se debe agregar que generalmente se usan dos métodos para encontrar la distribución del tamaño de partículas del suelo, los cuales son:

2.3.5.1.1 Análisis por cribado o tamizado.

Según Berry y Reid (1996) el análisis por cribado consiste “en obtener una muestra representativa de masa conocida de suelo seco el cual se pasa a través de una serie de tamices estándar con aberturas cada vez más pequeñas y luego se mide la masa retenida en cada uno de los tamices. Con este resultado puede calcularse el porcentaje de la masa de la muestra que pasa a través de cada tamiz para representarlo en función de la abertura correspondiente”.

Juárez y Rico (2005) consideran que “el análisis por cribado se usa para obtener las fracciones correspondientes a los tamaños mayores del suelo; generalmente se llega hasta el tamaño correspondiente a la malla N°200. Así mismo este método se dificulta cuando estas

aberturas son pequeñas, por ejemplo, el cribado a través de las mallas N°100 y N°200 suele requerir agua para ayudar el paso de las partículas (procedimiento de lavado)”.

Cabe mencionar que la cantidad de suelos que pasa por cada tamiz se representa en un gráfico semilogaritmico conocido como curva granulométrica. En la abscisa se representa en una escala logarítmica el diámetro de partículas, y en la ordenada se representa en escala aritmética el porcentaje de material que pasa.

2.3.5.1.2 Análisis hidrométrico.

Berry y Reid (1996) mencionan que “las partículas de limos y arcillas tienen tamaños que las colocan por debajo de los límites prácticos para los análisis por tamizado, por tanto la distribución de tamaños de tales partículas se determina observando el comportamiento durante su sedimentación en una suspensión en agua”. Así mismo Braja (2001) indica que “cuando un espécimen de suelo se dispersa en agua, las partículas se asientan a diferentes velocidades, dependiendo de sus formas, tamaños y pesos”.

2.3.5.2 Gradación.

“La forma de la curva de distribución de tamaños de las partículas indica si el tamaño de las partículas en el suelo varía en un rango amplio o estrecho, y se utiliza para describir la gradación del suelo”. (Berry y Reid, 1996)

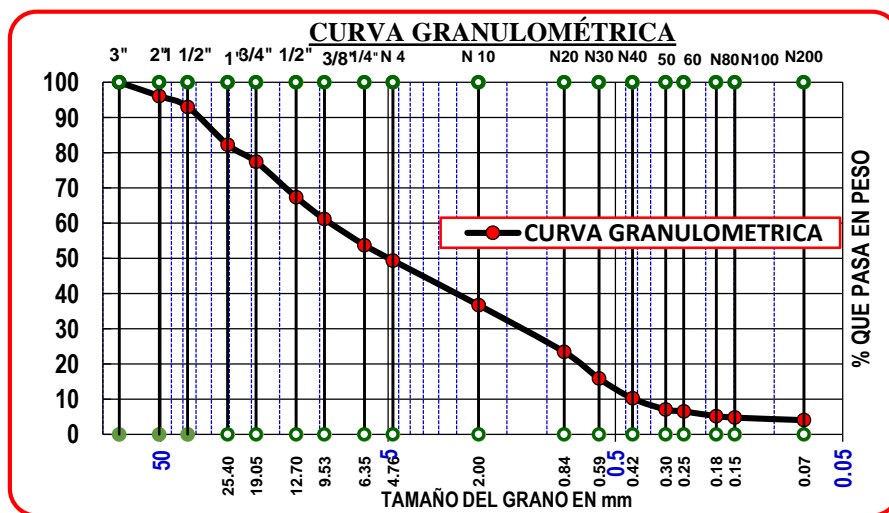


Figura 2. Representación de un suelo bien graduado.

Si un suelo de grano grueso contiene proporciones aproximadamente iguales de todos los tamaños de partículas se describe como bien graduado, y se caracteriza por tener una curva relativamente suave que cubre un amplio rango de partículas así como se muestra en la figura 2.

Por el contrario, se dice que un suelo es mal graduado en cualquiera de los casos siguientes: El suelo se describe como uniforme si una alta proporción de partículas está comprendida en una banda de tamaños estrecha, la curva se caracteriza por tener una parte importante casi vertical. Si el suelo contiene partículas pequeñas y grandes pero presenta ausencia notable de partículas intermedias, se dice que tiene gradación discontinua, como el suelo que se muestra en la figura 3.

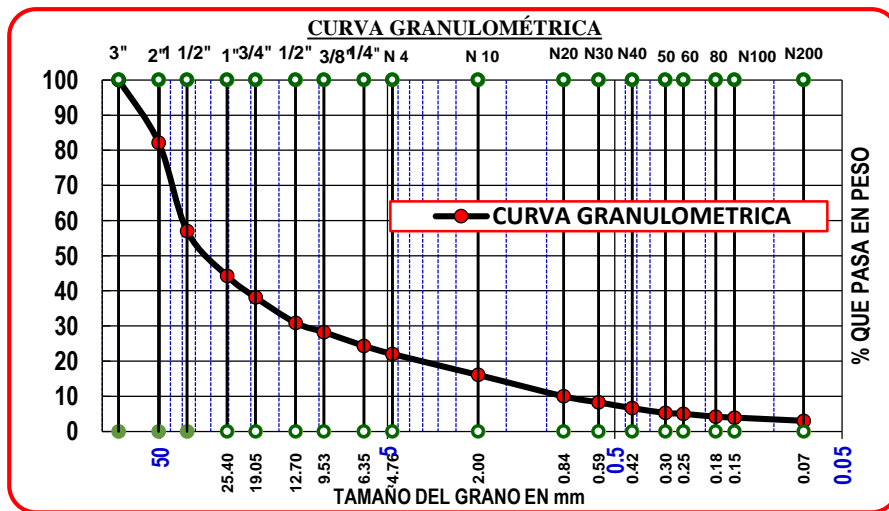


Figura 3. Representación de un suelo mal graduado discontinuo.

GRADACION	REPRESENTACION
Suelo bien graduado: Existe una graduación continua de tamaños	
Suelo mal graduado uniforme: Existe una graduación uniforme de tamaños.	
Suelo mal graduado discontinuo: Existe una graduación discontinua de tamaños	

Figura 4. Representación de gradación de suelos.

Así mismo cabe mencionar que según Crespo (2004), la curva granulométrica se puede clasificar por medio de su textura: Curvas granulométricas de textura abierta, de textura media y textura cerrada.

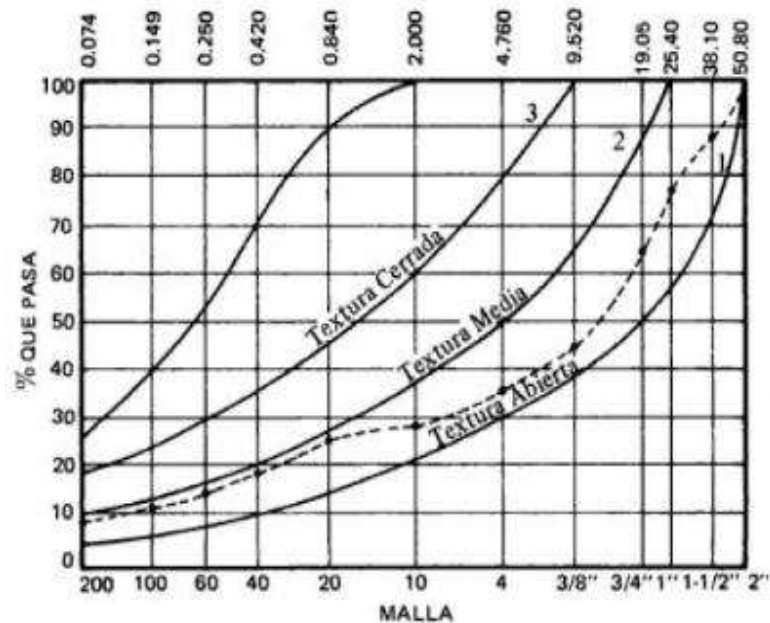


Figura 5. Clasificación de curvas granulométricas por su textura. Tomada de Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Crespo 2004

Según Braja (2001) explica que “las curvas granulométricas se usan para comparar diferentes suelos. Además dos parámetros básicos del suelo se determinan con las curvas granulométricas que se usan para clasificar los suelos granulares”. Estos parámetros del suelo son: El coeficiente de uniformidad (C_u) y el Coeficiente de curvatura (C_c).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

Donde:

C_u = Coeficiente de uniformidad

D_{60} = Diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica.

D_{10} = Diámetro correspondiente al 10% de finos en la curva de distribución granulométrica.

Un valor grande del coeficiente de uniformidad indica que los diámetros D60 y D10 difieren en tamaño apreciablemente. Por otra parte Alva (2007) señala que “si el coeficiente de uniformidad es grande, es probable que el suelo sea bien graduado, que significa que el suelo es relativamente incompresible y resistente”. En el sistema unificado de clasificación, una arena debe tener un Cu mayor que 6 para ser bien graduado, mientras que para una grava el Cu debe ser mayor que 4.

La definición de dos puntos en la curva granulométrica proporciona alguna idea sobre el rango de los tamaños de las partículas, pero no proporciona información acerca de la forma de la curva. El suelo podría consistir de una mezcla de partículas gruesas y finas con pocas partículas intermedias, es decir, podría tener una granulometría con vacíos. Para evitar una granulometría con vacíos se define el coeficiente de curvatura (Cc) que es un parámetro que evalúa la progresión de la variación en tamaño de las partículas del suelo y se define con la ecuación siguiente.

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad (2)$$

Donde:

Cc = Coeficiente de curvatura

D_{30} = Diámetro correspondiente al 30% de finos en la curva de distribución granulométrica.

Alva (2007) sugiere que “el Cc debe estar entre 1 y 3 para evitar la granulometría con vacíos. Por lo tanto para que un suelo sea definido como bien graduado, debe tener un coeficiente de uniformidad lo suficientemente alto y un Cc entre 1 y 3”.

Se debe agregar también Quiñones (2004) indica que para determinar el diámetro correspondiente al 10%, 30% y 60% de finos en la curva de distribución granulométrica se utiliza la siguiente expresión:

$$DX = DS - \frac{(\%PS - X)(DS - DI)}{\%PS - \%PI} \quad (3)$$

Donde:

DX = Diámetro incognito (10, 30, 60)

DS = Diámetro de la malla superior

DI = Diámetro de la malla inferior

PS = Porcentaje que pasa por la malla superior

PI = Porcentaje que pasa por la malla inferior

2.3.5.3 Densidad relativa.

Los parámetros granulométricos están correlacionados de modo general con las propiedades ingenieriles de los suelos y pueden definirse de manera simple, rápida, económica y reproducible. Más aun, pueden determinarse las propiedades utilizando muestras completamente alteradas, ya que no se toma en cuenta las condiciones in situ. Desafortunadamente, por esta razón es que existe una gran limitación en la significancia de su clasificación granulométrica. Una arena muy densa se clasifica de igual modo que una arena muy suelta, aunque está claro que tienen propiedades diferentes, es necesario entonces de algún parámetro adicional para indicar la densidad de los materiales granulares.

Alva (2007) señala que “la densidad propiamente dicha no es un parámetro adecuado, ya que es muy difícil de interpretar, por ejemplo si una arena tiene una densidad seca de 1.60 gr/cm³, podría ser una arena densa pobremente graduada o una arena suelta bien graduada”. Entonces resulta importante definir la densidad relativa que presenta cada material.

Dorador (2010) enuncia que “la densidad relativa es el parámetro que representa el grado de compactación de un suelo granular en un rango de densidades mínimas y máximas o relaciones de vacíos máximos y mínimos, además este parámetro es importante en el valor final del ángulo de fricción debido a su directa relación con la dilatancia que sufre un material en su estado denso”. Además la influencia de la densidad relativa en el ángulo de fricción depende directamente del nivel de confinamiento al cual está sometido el suelo.

Por otro lado, la composición de un suelo puede ser en dos o tres fases así como se muestra en la figura 6; si el suelo está completamente seco, los vacíos que están entre partículas sólidas están rellenos solo con aire mientras que cuando los vacíos están rellenos solo con agua se dice que el suelo está saturado. Cuando presenta tres fases, es decir, los vacíos están rellenos por aire y agua se dice que el suelo está parcialmente saturado.

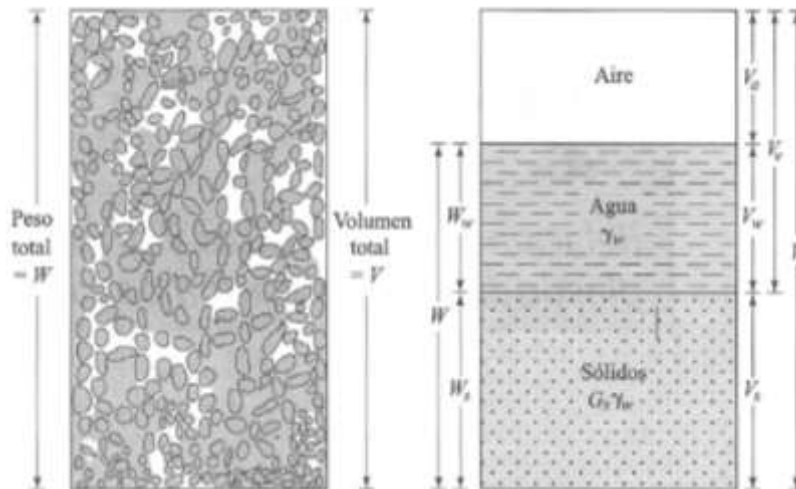


Figura 6. Diagrama de fases del suelo. Tomada de Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja 2011.

En caso de suelos granulares como arenas y gravas se utiliza el concepto de densidad relativa (D_r), para expresarse la relación entre el índice de vacíos in-situ (grado de compactación) y los valores de e_{min} y e_{max} . Se define como:

$$D_r (\%) = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} * 100 \quad (4)$$

Donde:

e_{max} = Relación de vacíos del suelo en su estado más suelto.

e_{min} = Relación de vacíos del suelo en su estado más denso.

e = Relación de vacíos natural o in situ del suelo.

La densidad relativa también se puede expresar en términos de peso específico seco máximo y mínimo.

$$Dr (\%) = \left\{ \frac{\gamma_d - \gamma_{d(min)}}{\gamma_{d(max)} - \gamma_{d(min)}} \right\} \frac{\gamma_{d(max)}}{\gamma_d} * 100 \quad (5)$$

Donde:

γ_d = Densidad seca natural o in situ del suelo

$\gamma_{d(max)}$ = Densidad seca en el estado más denso, es decir cuando la relación de vacíos es mínimo.

$\gamma_{d(min)}$ = Densidad seca en el estado más suelto, es decir cuando la relación de vacíos es máximo.

Todavía cabe señalar que “la densidad de un suelo granular está relacionado con la densidad relativa del suelo” Braja (2011), la cual puede variar desde un mínimo de 0% (cuando el suelo se encuentra en un estado muy suelto) hasta un 100% (cuando el suelo se encuentra en un estado muy denso). Para una descripción de los depósitos naturales de los suelos granulares los ingenieros de suelos lo realizan según su densidad relativa, así como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8.

Densidad de suelos granulares

Densidad Relativa, Dr (%)	Descripción
0 – 20	Muy suelto
20 – 40	Suelto
40 – 60	Medio
60 – 80	Denso
80 – 100	Muy denso

Nota: Tomada de Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja 2011.

En definitiva, la densidad relativa y los parámetros granulométricos son propiedades índice muy útiles para clasificar en el laboratorio los suelos granulares (arenas y gravas). También son útiles y ampliamente utilizados en el campo cuando es posible medir la relación de vacíos o densidad in situ, es decir en calicatas superficiales o en rellenos compactados.

Los métodos estándar más conocidos para determinar las densidades máximas y mínimas son:

2.3.5.3.1 Método estándar de ASTM (D 4253 y D 4254) y NTP (339.138 y 339.137)

En el método estándar de ASTM la densidad máxima es determinada usando una mesa vibratoria, que debe ser montada en un piso de concreto para no transmitir vibraciones a otras áreas de prueba. Moldes rígidos de forma cilíndrica son ensamblados a la mesa y estos contienen la muestra a la que se determinará la densidad máxima. La mesa debe ser capaz de vibrar verticalmente alcanzando amplitudes de desplazamientos de 0.33 ± 0.05 mm a una frecuencia de 60 Hz, o bien, 0.48 ± 0.05 mm a 50 Hz. Mayores detalles del procedimiento que se debe realizar para determinar la densidad máxima son entregados en la norma ASTM D-4253 y NTP 339.137.

Para el caso de la densidad mínima se utilizan también moldes rígidos donde se deposita la muestra a través de una boquilla con una altura de caída no mayor a 1" permitiendo un flujo continuo de partículas de suelo al molde. Mayores detalles del procedimiento pueden ser encontrados en la norma ASTM D-4254 y NTP 339.138.

2.3.5.3.2 Método de la I.N.V. E 136 – 07.

En el método del Instituto Nacional de Vías E 136 – 07 se muestra el procedimiento para determinar la densidad mínima y máxima de arenas secas, no cementadas, que pase en su totalidad por el tamiz de 4.75 mm (N°4) y que no contenga más de un 10% de material que pase por el tamiz 0.075 mm (N°200).

Para encontrar la densidad máxima se compacta la muestra en el molde con el collar de extensión en un número de cinco capas aproximadamente iguales, aplicando a cada una de las capas 50 golpes con el martillo de compactación. Durante la compactación de cada capa se deberá colocar la placa dentro del molde para producir un efecto vibrante, además se colocará el molde sobre una base sólida de concreto, de tal manera no pueda amortiguar los golpes.

Para el caso de la densidad mínima es determinada usando un molde donde se coloca la muestra a través de un embudo, manteniendo el embudo en el eje del molde, se elevará lentamente a medida que caiga libremente la arena, de modo que la altura de caída sea la menor posible y prácticamente constante. Cuando se haya formado un cono de arena de base

en la boca del molde, se separa el embudo con rapidez y se enrasa la arena con la boca del molde y finalmente se determina la masa del molde lleno.

2.3.6 Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.

2.3.6.1 Generalidades.

Pari (2012) indica que “cuando se somete una masa de suelo a un incremento de presiones producida por algún tipo de estructura o una obra de ingeniería, se generan en el suelo en cuestión, esfuerzos que tratan de mantener el equilibrio existente antes de aplicada la sollicitación externa”.

Cuando la carga externa aplicada tiene una magnitud tal que supera a la resultante de los esfuerzos interiores de la masa de suelo, se romperá el equilibrio existente y se producirá lo que denominamos planos de falla o deslizamientos que no son otra que planos en los cuales una masa de suelo tuvo un movimiento relativo respecto de otra. Es decir, que en estos planos de falla, los esfuerzos internos originados por una sollicitación externa sobrepasaron los límites máximos de los esfuerzos (resistencia cortante) que podría generar el suelo en las condiciones en que se encuentra.

Por otro lado Braja (2001) expresa que “la resistencia cortante de una masa de suelo es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a largo de cualquier plano dentro de él”. Es muy importante entender la naturaleza de la resistencia cortante para analizar los problemas de la estabilidad del suelo, tales como capacidad de carga, estabilidad de taludes y presión lateral sobre estructuras de retención de tierras.

Así mismo Berry y Reid (1996) recomiendan que “para resolver problemas de ingeniería, es necesario entender como evaluar los esfuerzos que actúan en un punto de la masa de suelo debido a su propio peso y así mismo el cambio de esfuerzos que se induce en el suelo debido a la acción de carga (o descarga) externa producto de la construcción de obras de ingeniería.

2.3.6.2 Esfuerzos en una masa de suelo.

Para explicar el comportamiento ingenieril de los suelos es necesario entender el concepto de esfuerzo en una masa de suelo y, en particular, la manera cómo es que el esfuerzo actúa sobre el suelo como un todo se relaciona con los esfuerzos que se desarrollan dentro del esquema del suelo y del fluido intersticial.

Lambe y Whitman (2004) mencionan que “en un suelo real, evidentemente, es imposible estudiar las fuerzas existentes en cada punto de contacto”. Más bien es necesario entender que los esfuerzos que existen en una masa de suelo son debido al peso propio y por efecto de las fuerzas aplicadas.

En todos los casos las sollicitaciones internas que se pueden generar son tres:

- Esfuerzos normales, los que pueden ser de compresión o de tracción y actúan siempre en forma normal al plano que estamos considerando.
- Esfuerzos tangenciales, se ubican siempre en forma paralela y coinciden con el plano considerado.
- Esfuerzos neutros, se debe al incremento o decremento de presión que se produce en el agua de los poros del suelo, cuando el plano que consideramos se encuentra sumergido y como es una presión hidrostática actúa en todas direcciones.

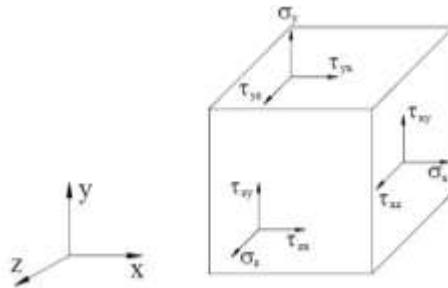


Figura 7. Elemento sujeto al caso general de esfuerzos.

También es útil considerar la diferencia existente entre los esfuerzos normales y los esfuerzos principales, como sabemos los dos actúan en forma normal al plano considerado, con la diferencia que los esfuerzos principales son esfuerzos normales a planos en los cuales los esfuerzos tangenciales son nulos.

2.3.6.3 Fricción en los suelos.

José (s.f) en su informe resistencia al corte afirma lo siguiente:

La resistencia que ofrece una masa de suelo frente al deslizamiento sobre otra de iguales características, tiene que ver con las fuerzas friccionales que se desarrollan entre los granos que la componen, así como se muestra en la figura 8. Se entiende también, en este aspecto que cuanto más granos entren en contacto entre sí por unidad de superficie, mayor será el esfuerzo para que ocurra el deslizamiento (interviene aquí la compacidad del suelo, o la relación de vacíos).

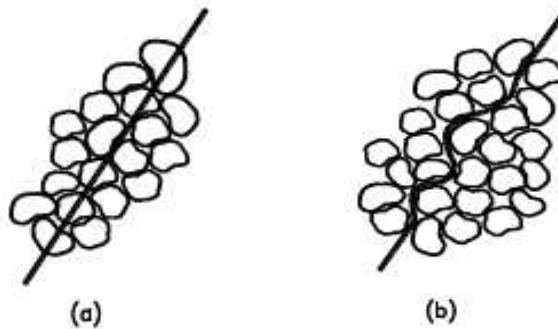


Figura 8. Formación del plano de falla. Tomada del capítulo 3: Resistencia al corte, José (s.f)

En este mismo sentido, se deduce fácilmente que cuanto más angulosos y trabados se encuentren los granos y cuanto mayor sea el coeficiente friccional del material que lo compone, mayores serán las fuerzas friccionantes que se desarrollara.

Cabe mencionar también que la resistencia friccional en suelos granulares (gravas y arenas) es algo más compleja a comparación de otros materiales, ya que es la suma de una resistencia friccional entre sus granos y de otra fricción debida al rodamiento de los mismos unos sobre otros en el plano de falla. En las arenas limpias y gravas donde no hay adhesión u otra forma de unión entre sus granos, el término de fricción es sinónimo de resistencia al corte.

La fricción interna de un suelo, está definido por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento a lo largo de un plano, y la fuerza normal aplicada a dicho plano. Los valores del ángulo de fricción varían desde 0° para arcillas plásticas, cuya

consistencia este próximo su límite líquido, hasta 45° o más para suelos granulares, así como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 9.
Valores de φ para suelos granulares

Tipo de suelo	φ (grados)	
	Suelto	Denso
Limo	27- 30	30 – 34
Arena Limosa	27 – 33	30 – 35
Arena Uniforme	28	34
Arena bien graduada	33	45
Grava arenosa	35	50

Nota: φ =ángulo de fricción. Tomada de Mecánica de Suelos, Berry y Reid 1996.

2.3.6.4 Cohesión.

José (s.f) en su informe resistencia al corte menciona los siguientes aspectos:

Los suelos finos además de los esfuerzos friccionales, contribuyen con otros factores que se suman al momento de evaluar la resistencia final al esfuerzo de corte. En caso particular si se tiene una arcilla que haya soportado, a través de su vida geológica, sobrecargas tales como estratos que luego fueron erosionados, glaciares, estructuras, etc. Podemos decir que se encuentra preconsolidada es decir que tuvo a lo largo del tiempo, una carga superior a la que soporta actualmente. Cuando extraemos una muestra de este material preconsolidado, y la protegemos convenientemente de las pérdidas o de los incrementos de humedad, observaremos que una parte importante de las presiones intergranulares a las que fue sometida en su proceso de consolidación, es retenida por efecto de la acción capilar sobre la superficie de la muestra.

Es decir que por acción del fenómeno de capilaridad, actúa sobre los granos de la muestra un esfuerzo superficial, que provoca una resistencia adicional al esfuerzo cortante, a la que se le denomina como “cohesión aparente”. Este nombre deriva por la circunstancia de que es un valor relativo y no permanente ya que depende del contenido de agua que tenga la muestra de suelo.

Suponiendo un ejemplo de que se intenta pegar un grano de arena fina con otro grano de arena del mismo tamaño, si los dos granos están secos, de ninguna manera se unirán así como se muestra en la figura 9a. Pero, si hay una pequeña capa de agua sobre los mismos, es posible que se unan de tal manera que el esfuerzo superficial que desarrolla el menisco que se forma en la unión de los dos granos, soporte el peso del grano y que el mismo se pegue al otro como se muestra en la figura 9b.

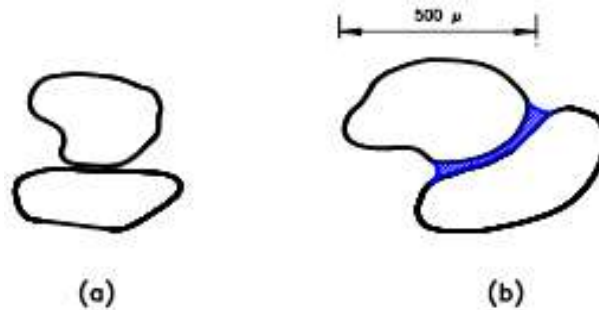


Figura 9. Capilares entre dos granos de arena. Tomada del capítulo 3: Resistencia al corte, José (s.f)

Esta unión entre granos en una arena fina con tamaño de granos del orden de los $0,5 \text{ mm}$ (500μ) es muy débil, ya que los esfuerzos de gravedad (peso del grano) son muy importantes comparándolos con los esfuerzos de atracción que genera la tensión superficial del menisco que se genera. Este fenómeno sin embargo es de potencial importancia entre las partículas de arcillas que son 500 veces más pequeñas que el grano de arena fina y donde la forma de las mismas dejan de ser redondeadas para pasar a ser laminares.

Este fenómeno de atracción entre partículas en los suelos finos, (limos y arcillas) se conoce con el nombre de cohesión aparente.

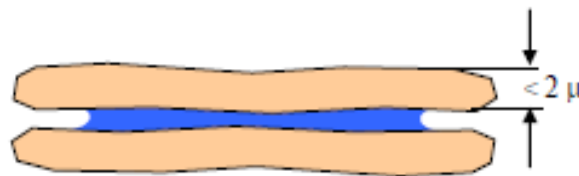


Figura 10. Capilares entre dos láminas de arcilla. Tomada del capítulo 3: Resistencia al corte, Jose (s.f.)

En muchas arcillas esta atracción entre partículas como consecuencia de la tensión superficial, se pierde rápidamente si la muestra se sumerge en agua, ya que la muestra absorbe agua, los meniscos aumentan de radio con lo cual los esfuerzos que mantienen unidas

a las partículas disminuyen, las partículas se separan y la muestra se desgrana totalmente o en trozos perdiendo de esta forma la cohesión aparente debida a la tensión superficial. En otros tipos de arcilla esta pérdida de cohesión no se manifiesta cuando son sumergidas en agua. Evidentemente en estos casos las partículas son retenidas por fuerzas de otro tipo, que no alcanzan a ser destruidas, por la inmersión de la muestra en agua. Estas fuerzas pueden ser de carácter electrostático, que son generadas por la película de agua absorbida que se forma sobre cada partícula. O derivar de agentes cementantes, naturales o no, como es el caso del cemento Portland cuando lo mezclamos con suelos para hacer suelo-cemento.

La cohesión se identifica en la Mecánica de Suelos con la letra “c” y es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación. La cohesión se mide en kg/cm², los suelos arcillosos tienen una cohesión alta de 0.25kg/cm² a 1.5kg/cm² o más. En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a cero y a estos suelos se les denomina como suelos no cohesivos.

2.3.6.5 Esfuerzos Internos.

El deslizamiento que se produce en la rotura de una masa de suelos, no está restringido a un plano específicamente determinado, debemos conocer las relaciones que existen entre los distintos esfuerzos actuantes sobre los diferentes planos que pasan por un punto dado. Por lo general actúan esfuerzos normales (σ) y esfuerzos de corte (τ). La primera corresponde a la componente de la resultante de las fuerzas actuantes normal al plano considerado, por unidad de área del plano. La segunda es la componente de las fuerzas tangenciales al plano, por unidad de área del mismo plano. (José, s.f.)

Se denomina plano principal a aquellos sobre los cuales solo actúan esfuerzos normales, es decir donde los esfuerzos de corte son nulos; los esfuerzos normales que actúan sobre los planos principales se denominan esfuerzos principales. Para que en un plano actúen únicamente esfuerzos normales y sean nulas los esfuerzos de corte, evidentemente debe ser nulo el ángulo de oblicuidad.

Otros de los principios fundamentales que debemos tener en cuenta es que, por un punto pasan tres planos principales, los que se cortan a 90° . Los mismos se clasifican según la magnitud decreciente de los esfuerzos normales que actúan en planos principales máximo, intermedios y mínimos (σ_1, σ_2 y σ_3).

Si analizamos el equilibrio existente dentro de una masa de suelo sometida a un estado tridimensional de esfuerzos o a una compresión triaxial, es decir una probeta comprimida según tres ejes, los esfuerzos principales que actúan se identifican como σ_1, σ_2 y σ_3 donde además decimos que $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$.

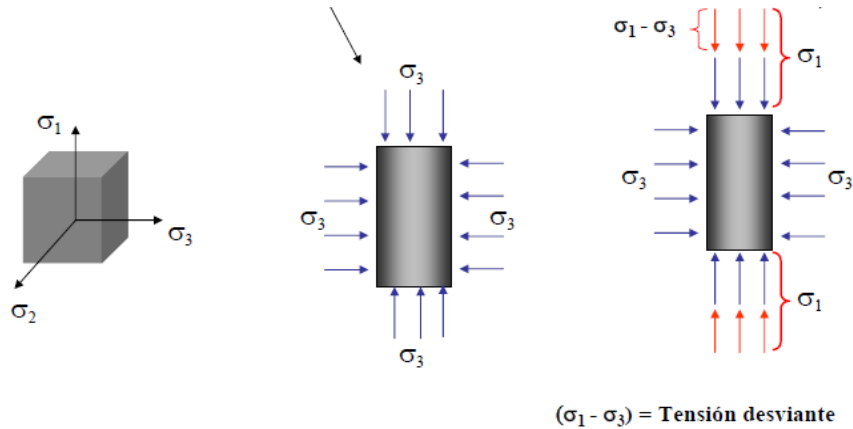


Figura 11. Estado triaxial de tensiones en una probeta de suelo. Tomada del capítulo 3: Resistencia al corte de José (s.f)

2.3.7 Teoría de falla de MOHR.

Braja (2015) hace mención que “Mohr en 1900 presento una teoría sobre la ruptura de los materiales. Esta teoría afirma que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no solo por la presencia de un esfuerzo máximo normal o bien de un esfuerzo máximo cortante”. Así entonces, la relación funcional entre un esfuerzo normal y un esfuerzo cortante sobre un plano de falla se expresa en la forma siguiente:

$$\tau_f = f(\sigma) \tag{6}$$

Donde:

τ_f = Esfuerzo cortante sobre un plano de falla.

σ = Esfuerzo normal sobre un plano de falla.

La envolvente de falla definida por la ecuación 6 es una curva, como muestra la figura 12. Para la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente aproximar el esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal. Esta relación se describe como:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \quad (7)$$

Donde:

c = Cohesión.

φ = Angulo de fricción

La ecuación 7 presentada se llama criterio de falla de Mohr Coulomb

En un suelo saturado, el esfuerzo normal total en un punto es la suma del esfuerzo efectivo y la presión del agua intersticial:

$$\sigma = \sigma' + u \quad (8)$$

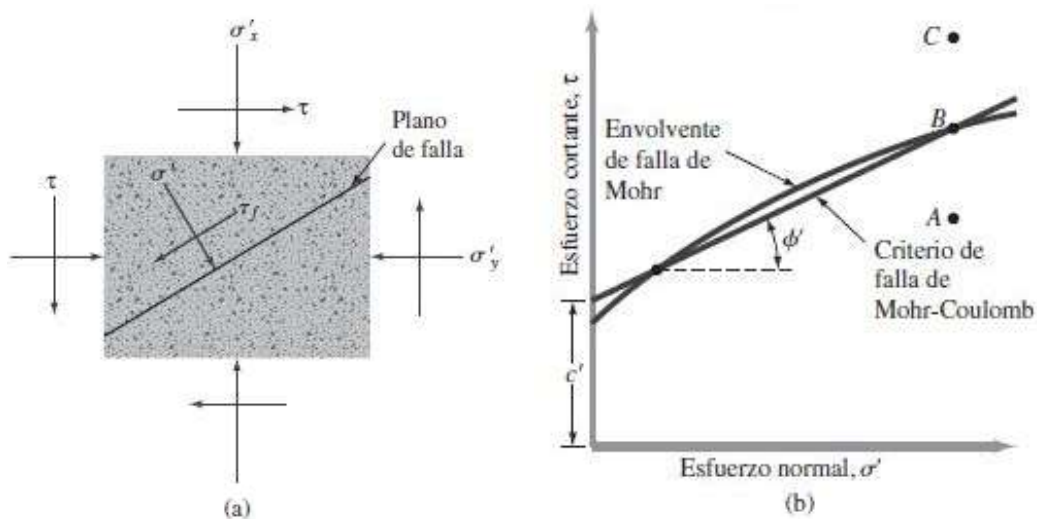


Figura 12. Envolvente de falla de Mohr y los criterios de falla de Mohr Coulomb. Tomada de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja 2015.

El significado de la envolvente de falla se explica como sigue: Si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano en una masa de suelo (figura 12a) son tales que son representados por el punto A en la figura 12b, entonces no ocurrirá una falla cortante a lo largo de ese plano. Si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano son representados por el punto B (que se encuentra sobre la envolvente de falla), entonces ocurrirá una falla cortante a lo largo de ese plano. Un estado de esfuerzo sobre un plano representado por el punto C no existe porque este queda por arriba de la envolvente de falla y la falla cortante ya habría ocurrido en el suelo.

2.3.8 Comportamiento de los suelos granulares.

2.3.8.1 Generalidades.

Los suelos son materiales complejos que exhiben un rango amplio de comportamientos mecánicos que dependen de la composición y estructura del suelo, del historial de esfuerzos, de la densidad y de las características de la fuerza aplicada. Esta variedad de comportamientos del suelo hace clasificar a los suelos en dos grupos: Cohesivos y no cohesivos (o granulares). Donde los suelos granulares se definen como aquellos en los cuales las fuerzas inter granulares o atractivas tienen un efecto despreciable en el comportamiento mecánico. Esta categoría engloba a rocas, gravas y arenas. Basados en el estado de esfuerzos y en la estructura del suelo, normalmente definidos en función de la densidad relativa, el índice de vacíos o la porosidad, los suelos granulares además se clasifican en materiales densos o sueltos.

Por otro lado una masa de suelo se entiende como un sistema particulado en el cual se encuentra la interacción de tres fases: sólido, líquido y gas. A tal efecto, su comportamiento mecánico se determina considerando individualmente su constitución y sus interacciones, donde la resistencia al corte depende del estado tensional al cual se encuentra sometido el suelo en terreno.

Dependiendo de la forma en que una masa de suelo responde a las fuerzas externas, el comportamiento del suelo puede ser drenado (acomodo de partículas y un cambio volumétrico en la estructura de suelo) o un comportamiento no drenado (sin cambio volumétrico y existencia de presiones de poros en el suelo). Este comportamiento dependerá de la forma en

la cual se manifiesten las fuerzas externas actuantes en el suelo (solicitaciones lentas o rápidas).

Además, un factor fundamental que diferencia a los materiales, es su capacidad de aumentar volumen debido a que las partículas pueden montarse en un arreglo granular denso dependiendo del nivel de confinamiento de la muestra.

De la Hoz (2007) nombra que “los suelos granulares densos durante la aplicación del corte tienden a expandirse aumentando su volumen (dilatancia), mientras que los suelos granulares sueltos tienden a contraerse (contracción) disminuyendo su volumen”.

Según Lambe y Whitman (2004) dan a conocer que “existen diversos factores que determinan el comportamiento (resistencia al esfuerzo cortante) de los suelos granulares tales como: La forma, dureza, tamaño de las partículas, granulometría y la presión de confinamiento”.

2.3.8.2 Factores que influyen el comportamiento de los suelos granulares.

2.3.8.2.1 Forma de las partículas.

Besio (2012) esboza que la forma de las partículas es una variable muy importante en la resistencia al corte de los suelos granulares, ya que solamente cambiando la forma general de las partículas se puede afectar la resistencia y compresibilidad del suelo. La forma de las partículas puede ser estimada de forma directa por inspección visual o por medio de microscopios electrónicos, entre otros medios. La clasificación de las formas de las partículas están basadas en la esfericidad de las partículas y en el grado de redondez de sus bordes las separan en distintas clases como angulosas, subangulosas, subredondeadas y redondeadas. Clasificaciones como esta ayudan a explicar las diferencias en resistencia que tienen las partículas dependiendo de su forma.

Las partículas angulosas tienden a romperse más fácilmente que las redondeadas, ya que la transmisión de las fuerzas se puede concentrar en sus cantos angulosos, generando grandes esfuerzos en esos puntos que puedan superar la resistencia del material que compone a la partícula, pudiendo producir una rotura. Esta hipótesis puede ser corroborada

con los resultados de las investigaciones realizadas de años atrás como es el caso de Lee y Farrhoomand quienes realizaron ensayos de triaxiales a suelos de similar granulometría, pero con distinta forma de partículas (angulares y subredondeadas) y obtuvieron que al fijar otras variables, como la presión de confinamiento y la razón entre los esfuerzos principales, el suelo con partículas angulares sufrió mayor rotura que el suelo con partículas subredondeada.

Dorador (2010) aclara que “la esfericidad, angulosidad y rugosidad de las partículas es uno de los factores más importantes del comportamiento esfuerzo deformación de un medio granular”.

A su vez, Chávez en 1996 concluye que “las formas angulosas, aplanadas y la rugosidad de las partículas incrementan la resistencia al esfuerzo de corte, sin embargo aumentan la deformabilidad en el medio granular”.

2.3.8.2.2 Dureza de las partículas.

Según Contreras (2011) “la resistencia de las partículas o dureza es caracterizada por la rotura de contactos o fragmentación de esta, existiendo además, una directa relación con la resistencia de granos producto de su composición mineralógica y tamaño”.

Tradicionalmente los suelos son modelados como una masa continua, dejando de lado el concepto de medio granular o particulado. Cuando la distribución de tamaños dentro de un medio granular cambia significativamente producto de los esfuerzos aplicados y teniendo además, efectos sobre el comportamiento mecánico del material granular, llamaremos a este fenómeno rotura de partículas, fenómeno ligado con las variables que condicionan el comportamiento granular.

Las partículas que componen el medio granular, independiente de su tamaño, están sometidas a esfuerzos que dependiendo de la magnitud y resistencia individual de la partícula, provocarán desgaste, fracturas de irregularidades o rotura de éstas, alterando las propiedades del medio granular en términos de sus propiedades físicas y mecánicas que se manifestará en la respuesta, en términos de, cambio de volumen, presión de poros, permeabilidad,

comportamiento esfuerzo-deformación, o simplemente en una redistribución de esfuerzos alrededor de las partículas, y por consiguiente la estructura o matriz que estas componen.

Dorador (2010) muestra que suelos con mayor concentración de partículas blandas desarrollan una menor resistencia que suelos conformados por partículas de similar dureza. Por lo tanto, recomienda analizar la dureza de las partículas para distintos tamaños de materiales.

2.3.8.2.3 Tamaño de partículas.

De acuerdo con Maureira (2012), a mayor tamaño de partículas, mayor es el fracturamiento de éstas, debido principalmente a la mayor existencia de defectos en una partícula dada, entendiéndose por defectos a micro fisuras, planos de debilidad u orientación preferente de los minerales que la componen. Además si los tamaños de partículas son mayores, entonces las áreas de contacto inter partículas serán menores, por lo que aumentarán los esfuerzos producidos y seguramente la rotura.

Es bastante complejo analizar esta variable ya que es difícil separar el efecto del tamaño de partículas con respecto a otras variables que influyen en la resistencia al corte de suelos granulares como la granulometría, forma, dureza de partículas y entre otros. Probablemente por esta razón es que diversos estudios sobre este tema llegan a diferentes conclusiones, diciendo algunos que con el aumento del tamaño de partículas aumenta la resistencia mientras que en otros se concluye que ésta disminuye. Por ejemplo Varadarajan 2003 obtiene que para un suelo con partículas redondeadas su ángulo de fricción máximo aumenta con el aumento del tamaño de partículas, mientras que para otro suelo con partículas angulosas su ángulo de fricción máximo disminuye. Una explicación posible a esto es que el aumento del tamaño de partículas produce 2 efectos, el primero es que, según Lambe y Whitman (1969), bajo una misma energía de compactación se obtienen menores índices de vacíos para suelos con mayor tamaño de partículas. Besio (2012) señala que “un menor índice de vacíos produce un mejor encaje entre partículas, lo que aumenta la resistencia del suelo. Sin embargo aumentar el tamaño de partículas significa también aumentar la rotura de éstas lo que podría disminuir la resistencia. Para cada suelo estos 2 efectos tienen magnitudes diferentes, por lo que el efecto del tamaño de partículas en la resistencia dependerá de cuál de estos dos efectos pese más”.

2.3.8.2.4 *Granulometría.*

Es sabido que la distribución granulométrica es uno de los factores más importantes en la resistencia al corte en suelos porque mientras exista una variedad de tamaños de partículas, los granos pequeños podrán usar los espacios dejados por las partículas grandes, logrando una mayor compacidad y por lo tanto, una mayor resistencia del suelo.

Dorador (2010) analiza e indica que en los suelos gruesos el coeficiente de uniformidad llega a tener valores sobre 50, por lo cual este parámetro es importante en la obtención de los parámetros de la resistencia al corte. Otros investigadores como Ghanbari 2008, llegó a la conclusión que los suelos pobremente graduados llegan a tener hasta 4° de ángulo de fricción menos que las muestras bien graduadas.

Por otro lado Terzaghi menciona que un suelo bien graduado sufre menor rotura de partículas que un suelo uniforme al ser cargado, ya que en el suelo bien graduado el número de contactos entre partículas es alto, lo cual disminuye los esfuerzos que tiene cada partícula (Besio, 2012).

Basados en la influencia que tiene el porcentaje de gravas y arenas en una muestra de suelo, Vallejos 2001 señala que al haber en promedio 70% de gravas, es esta la que controla la resistencia y al haber menos del 49%, la resistencia al corte es controlada por la arena.

2.3.8.2.5 *Presión de confinamiento.*

La influencia de la presión de confinamiento en el comportamiento de los suelos granulares se puede explicarse de dos formas:

En primer lugar, el suelo granular tiene fricción. La resistencia al deslizamiento en cada punto de contacto es proporcional a la fuerza normal en dicho contacto y por tanto la resistencia total aumenta con la presión de confinamiento.

En segundo lugar, el acomodo de las partículas también contribuye a la resistencia general. El encaje entre partículas disminuye al aumentar la presión de confinamiento, ya que las partículas se aplastan en los puntos de contacto, se rompen los bordes agudos y las

partículas se parten. Incluso aunque estos efectos den lugar a obtener una probeta más compacta, facilitan el que se produzcan deformaciones de corte.

Al aumentar la presión de confinamiento se produce una disminución en el ángulo de fricción, que podría ser atribuida en parte a la mayor rotura de partículas.

De la Hoz (2007) menciona que al producirse un aumento del esfuerzo de corte en una masa de suelo esto inducirá importantes cambios volumétricos. Esta deformación volumétrica es producto del reacomodo de partículas y proviene básicamente del cambio de volumen de los huecos del sistema particulado. Durante la aplicación del corte los suelos granulares densos tienden a expandirse aumentando su volumen (dilatancia), mientras que los suelos granulares sueltos tienden a contraerse (contracción) disminuyendo de volumen.

Por otro lado, una condición clave de los suelos es que su resistencia al corte último (resistencia a la falla) depende directamente del nivel de confinamiento que posean.

Casagrande estudio la dependencia del ángulo de fricción de las arenas con el índice de vacíos y su relación con el cambio volumétrico durante el corte. Casagrande definió que mientras las arenas densas dilatan durante el corte y presentan un alto valor de ángulo de fricción, las arenas sueltas se contraen durante el corte, y desarrollan un ángulo de fricción menor.

2.3.9 Métodos de evaluación de la resistencia al corte en suelos granulares.

Existen cinco métodos propuestos por diferentes investigadores, el método de corte, método de corte y reemplazo, el método de la matriz, método de las curvas homotéticas o gradación paralela y el método del escalamiento de curvas granulométricas.

2.3.9.1 Método de corte.

También conocida como Scalping technique consiste en extraer las partículas de diámetro mayor según el tamaño máximo deseado, y de esta manera tomar el nuevo valor de tamaño máximo como el 100% pasante; puede repetirse el procedimiento cuantas veces quiera y formar una serie de curvas granulométricas.

Por otra parte Dorador (2010) indica que el método de corte se basa en la idea de extraer el material de sobre tamaño de la muestra de tal forma que el material “cortado” pueda ser ensayado en equipos convencionales.

De la Hoz (2007) realizó una serie de ensayos triaxiales con materiales que tenían tamaño máximo de partícula de 1”, con una densidad relativa de 70% y fueron cortados en un tamaño de partículas de 3/8”. El suelo utilizado fue la grava del río Maipo, ubicada en la Región Metropolitana en Chile. Como resultado obtuvo que la muestra cortada posee menor ángulo de fricción que la muestra original, sin embargo el módulo de deformación es mayor en la muestra cortada.

Dorador (2010) también realizó ensayos triaxiales CID utilizando este método para una grava del río Aconcagua cortada bajo un tamaño de 4.75mm que corresponde a la malla N°4 obteniendo la misma conclusión que De la Hoz. Ambos autores recomiendan el uso del método de corte hasta un porcentaje de sobre tamaño del 20%.

2.3.9.2 Método de corte y reemplazo.

Este método se basa en la idea de remover las partículas de sobre tamaño que no pueden ser ensayadas en un equipo tradicional, son removidas y reemplazadas por un porcentaje igual en peso de partículas más pequeñas como se muestra en la figura 13. Es decir, este método utiliza un material menos graduado que el original pero considerando una misma densidad de suelo, por lo cual no es posible controlar variables como la granulometría, densidad relativa y número de contacto de partículas.

Principalmente este método al reproducir curvas granulométricas más uniformes debería conseguir resultados de resistencia al corte más bajos que la muestra de granulometría original. Sin embargo, el hecho de reemplazar bajo una misma cantidad en peso, el material grueso con material de menor tamaño implica que la densidad relativa de la muestra reemplazada es mayor que la muestra original, lo cual finalmente, se traduce en una mayor resistencia del suelo. Este último análisis complica el uso de este método debido a la dificultad de cuantificar principalmente la reducción del ángulo de fricción debido al corte del material de

sobre tamaño y de cuantificar el aumento del ángulo de fricción por un incremento de la densidad relativa.

Donaghe & Torrey (1979), De la hoz (2007) y Dorador (2010) en base a las investigaciones que realizaron, concluyen que el procedimiento de corte y reemplazo proporciona resultados un poco conservadores con respecto a la muestra original y tiene un mejor resultado para las granulometrías a escala que contienen más de un 40% de material granular grueso.

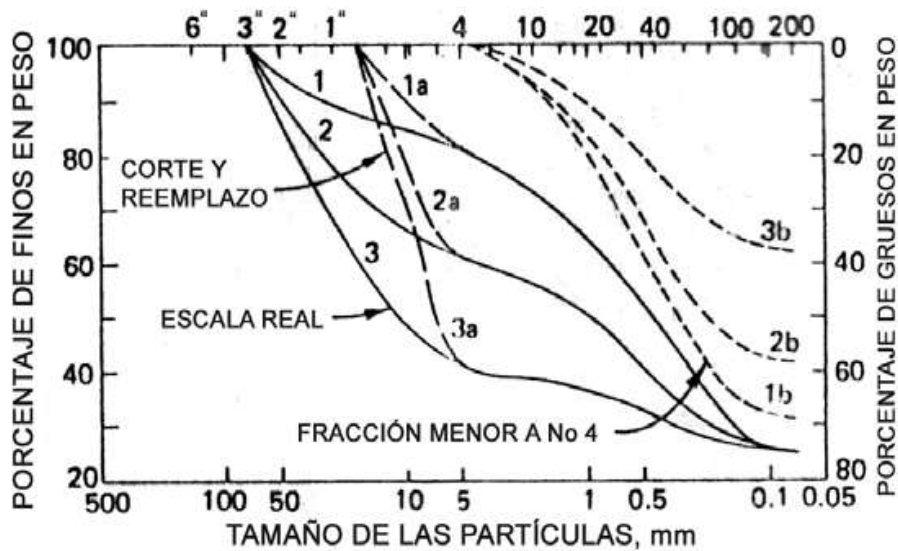


Figura 13. Distribución granulométrica del método de corte y reemplazo. Tomada de tesis de grado de magister: Estimación del parámetro de Resistencia al Corte en Suelos Granulares, De la Hoz 2007.

2.3.9.3 Método de la matriz.

Según Dorador (2010) da a conocer que el método de la matriz se basa en que las partículas de sobre tamaño al estar flotando en una matriz de suelo, es ésta última la que controla la resistencia al corte. Sin embargo, al aumentar el contenido de partículas de sobre tamaño, éstas tienden a conseguir contacto entre ellas y la condición de flotación de las partículas no se cumple. Esta razón ha sido la gran limitante de esta metodología de evaluación en suelos gruesos.

Esta metodología fue desarrollada por Fragaszy en 1992 quien asume que la resistencia al corte de un material con bajo porcentaje de gravas es controlada por la matriz del suelo, es decir, todo aquel material que es posible ensayar en equipos convencionales.

Para entender este modelo se debe definir como partículas de sobre tamaño, todas aquellas partículas que son muy grandes para ser incluidas en un ensayo tradicional. Además, se plantea que la matriz está compuesta por dos tipos de partículas: las partículas de campo cercano, que son aquellas que se encuentran en la vecindad de las partículas de sobre tamaño y las partículas de campo lejano, que son los granos de la matriz que se encuentran lejos de las partículas de sobre tamaño. La Figura 14 muestra dos situaciones posibles para suelos con partículas de sobre tamaño, caso (a) cuando las partículas de sobre tamaño se encuentran en contacto y la matriz llena los vacíos que se generan entre ellas, caso (b) cuando las partículas de sobre tamaño no tienen ningún contacto entre ellas y se encuentran “flotando” dentro de la matriz. (De la Hoz, 2007).

Por otro lado, De la Hoz (2007) indica que este método solo sirve para muestras remoldeadas en que las partículas de sobre tamaño se encuentran flotando dentro de la matriz. Esta condición depende de la granulometría y el porcentaje de sobre tamaño, en vista de que las partículas grandes tienden a tener contacto entre ellas y la condición de flotación de partículas deja de cumplirse.

Para concluir Dorador (2010) menciona que “si el porcentaje de partículas de sobre tamaño fuese menor al 20%, este método podría ser útil en la determinación de la resistencia al corte”.

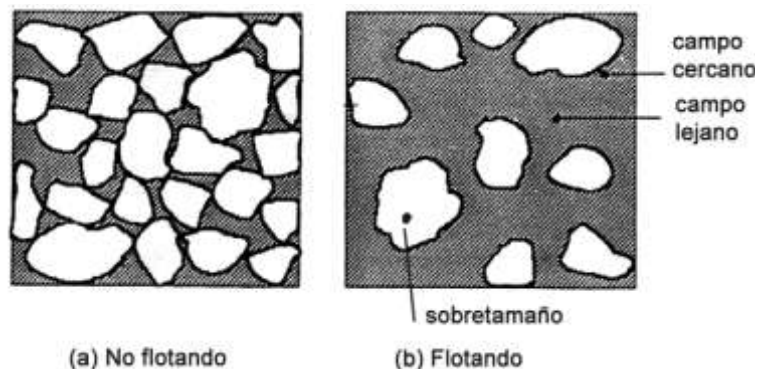


Figura 14. Esquema de suelo con partículas de sobre tamaño. Tomada de De la Hoz, 2007.

2.3.9.4 Método de gradaciones paralelas.

También conocido como el método de las curvas homotéticas, es uno de los métodos más utilizados, fue propuesto por Lowe en 1964. Consiste en construir granulometrías paralelas (ver figura 15) manteniendo el tamaño máximo de las partículas dentro de la proporción 1/5 a 1/6 del diámetro de la probeta a ensayar en los equipos de grandes dimensiones disponibles.

Diferentes autores han utilizado este procedimiento en investigaciones de diversa índole, entre ellos se encuentran Marachi 1972, Thiers y Donovan 1981, Lee 1986, Baladi 1988, Gesche 2002, Varadajan 2003, De la Hoz 2007, Dorador 2010 y Besio 2012.

Dentro de las ventajas de este método se puede mencionar la conservación de los índices granulométricos C_u y C_c , en las granulometrías homotéticas.

El método se ajusta muy bien cuando la curva granulométrica del material es bien graduada, es decir con un C_u alto, y el porcentaje de finos menor al 10% para todas las curvas homotéticas, y en general al construir curvas paralelas los resultados de ángulos de fricción que se obtienen son muy similares para todas las muestras ensayadas.

La principal limitación que presenta este método es que cuando el porcentaje de finos es mayor a un 10%, ya sea en la curva granulométrica original o en las curvas homotéticas, la metodología no funciona muy bien. Esto se atribuye a que la contribución a la resistencia al corte del material grueso disminuye, lo que conlleva a una disminución del ángulo de fricción y así, el diseño geotécnico es conservador (De la Hoz, 2007). Además, debe considerarse que cuando se realiza un escalamiento muy grande de tamaño, es decir, la nueva granulometría es demasiado fina en comparación a la original, la forma y la resistencia de las partículas del material puede cambiar debido al efecto de escala con lo cual el material reducido que se está tratando de modelar en el estudio resulta muy distinto al original.

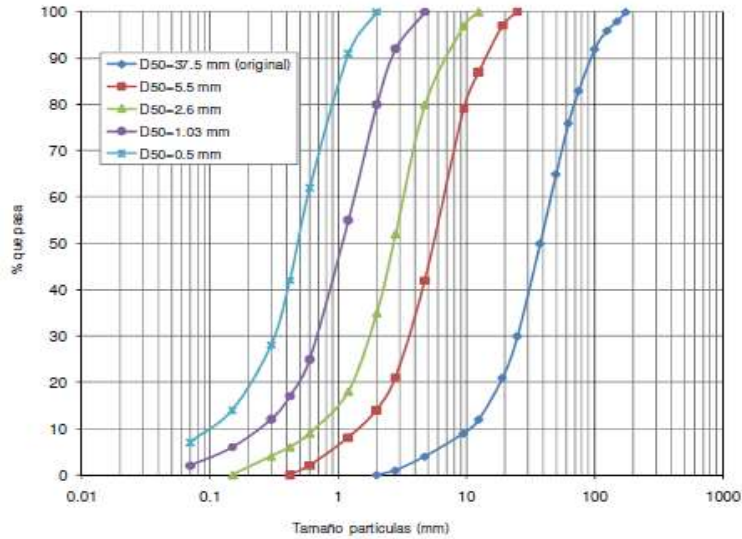


Figura 15. Granulometrías de las curvas homotéticas. Tomada de Dorador, 2010.

Diferentes investigaciones se han realizado respecto a esta metodología llegando a diversas conclusiones como son:

De la Hoz concluyo que la forma de las partículas es un factor muy importante en el método de las curvas homotéticas para confinamientos entre 0.5 y 3 kg/cm², y que si se controla bien de ésta se puede obtener comportamientos muy similares entre curvas homotéticas.

Dorador concluye que la dureza de las partículas es un factor importante a considerar al utilizar el método de curvas homotéticas y recomienda analizar si la resistencia individual de las partículas de la muestra original es la misma que la de las partículas de la muestra escalada mediante algún ensayo como el de carga puntual.

2.3.9.5 Método de escalamiento de curvas granulométricas.

El método de escalamiento de granulometrías es similar al de las curvas homotéticas, pero con algunas modificaciones como es el caso de la permanencia del porcentaje que pasa la malla N°200 de las tres granulometrías escaladas. Se requiere que la curva granulométrica original sea escalada a tamaños máximos de 38.1 mm (1 ½”), 19.1mm (3/4”) y 4.76 mm (N°4). Para realizar este escalamiento, se fija el tamaño mínimo (% que pasa N°200) de la granulometría original pero a su vez el tamaño máximo de partícula (dmax) se traslada en el eje de la abscisa hacia los tres tamaños máximos mencionados anteriormente y así los diferentes tamaños de las partículas de la granulometría original se reducen de manera proporcional al tamaño que estas poseen, tal como se observa en la figura 16. (Riquelme y Dorador, 2014)

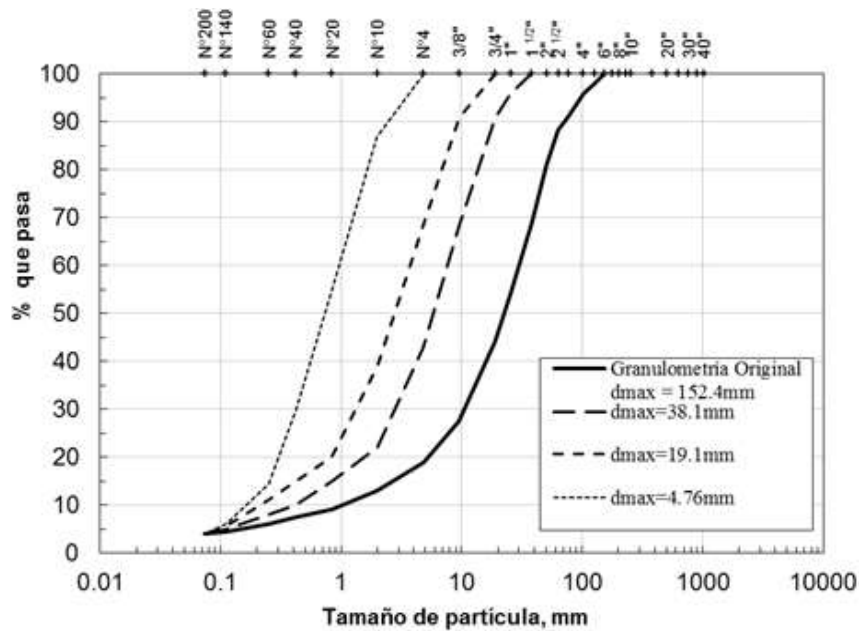


Figura 16. Escalamiento de curvas granulométricas. Tomada de Riquelme y Dorador, 2014.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Metodología y tipo de investigación

3.1.1 Metodología de investigación.

La investigación desarrollada pertenece al enfoque CUANTITATIVO.

Hernández, Fernández y Baptista (2010) mencionan que “el enfoque cuantitativo se caracteriza por plantear un problema, construir un marco teórico, y generar una hipótesis antes de recolectar y analizar los datos, fundamentados en la medición numérica y el análisis mediante métodos estadísticos, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías”.

Por otro lado, la investigación cuantitativa debe ser lo más objetiva posible. Los fenómenos que se observan y/o miden no deben ser afectados por el investigador y que tampoco sean alterados por las tendencias de otros.

3.1.2 Tipo de investigación.

El tipo de investigación que se considera es CORRELACIONAL – EXPLORATORIA.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) mencionan que los estudios correlacionales tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías, variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones solo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables.

La utilidad principal de los estudios correlacionales es saber cómo se puede comportar un concepto o una variable al conocer el comportamiento de otras variables vinculadas. Es decir, intentar predecir el valor aproximado que tendrá un grupo de individuos o casos en una

variable, a partir del valor que poseen en la o las variables relacionadas. (Hernández et al., 2010).

Por otra parte, los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tiene muchas dudas o no se han abordado antes, sirven para familiarizarnos con fenómenos relativamente desconocidos y establecer prioridades para investigaciones futuras, o sugerir afirmaciones y postulados. Hay que mencionar también que este tipo de investigaciones implican un mayor riesgo y requieren gran paciencia, serenidad, y receptividad por parte del investigador.

3.2 Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación es EXPERIMENTAL.

Los diseños de investigación sirven para someterlas a prueba las hipótesis. Dentro del diseño de la investigación cuantitativa es posible adoptar investigaciones experimentales y no experimentales. Es necesario recalcar que ningún tipo de diseño es intrínsecamente mejor que la otra, sino que cada uno posee sus características, y la decisión sobre qué clase de investigación y diseño específico a seleccionar o desarrollar depende del planteamiento del problema, los alcances de la investigación y la formulación de las hipótesis. (Hernández et al., 2014).

El tipo de diseño experimental se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes.

En la siguiente figura se muestra esquemáticamente el proceso de investigación seguido en la presente tesis:

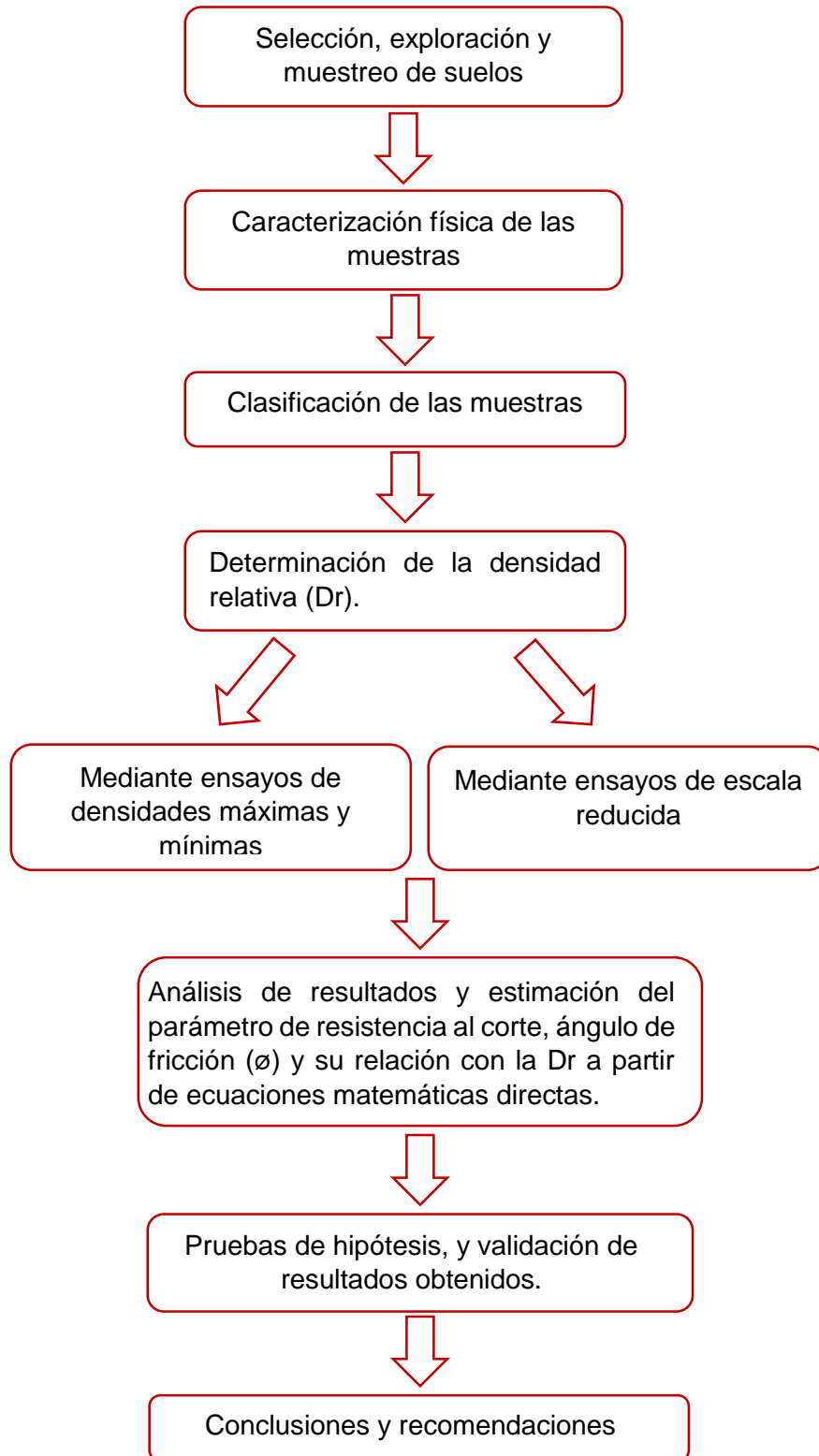


Figura 17. Esquema seguido para la ejecución de la presente tesis.

3.3 Formulación de hipótesis

3.3.1 Hipótesis general.

Mediante los ensayos de escala reducida es factible obtener el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción y su relación con la densidad relativa en suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa.

3.3.2 Hipótesis específicas.

3.3.2.1 Hipótesis específica N° 01.

El parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa es posible obtener a partir de su densidad relativa mediante la ecuación matemática directa propuesta por Gonzáles de Celis.

3.3.2.2 Hipótesis específica N°02.

Los resultados a obtener de las densidades relativas mediante los ensayos de escala reducida y las densidades máximas y mínimas que presentan los suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa son similares.

3.4 Variables de estudio

“Los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominamos variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control”. Hernández et al. (2014)

Las variables de la presente investigación se presentan mediante la siguiente ecuación:

$$y = f(x)$$

3.4.1 Variables dependientes (y).

- Angulo de fricción (θ)
- Densidad relativa (Dr)

3.4.2 Variables independientes (x).

- Coeficiente de uniformidad (Cu)
- Gravedad específica (Gs)
- Densidad de campo (γ_d)

3.5 Datos generales de la zona de estudio

En esta sección se realiza una descripción y reconocimiento de las zonas de estudio, sobre la cual se ha realizado el desarrollo de la presente investigación. Donde se ubica geográficamente estas zonas, así como también se realiza una descripción de sus características como: extensión superficial, topografía, geomorfología y clima.

Esta información será de mucha utilidad ya que permitirá conocer las condiciones sobre las cuales se está llevando a cabo los trabajos de la presente investigación.

Las zonas de estudio básicamente fueron cinco, y en todos los casos los suelos cumplen con las condiciones del estudio llevado a cabo.

3.5.1 Ubicación geográfica.

Como se ha indicado anteriormente las zonas de estudio han sido cinco, todas ubicadas dentro del distrito de Santa Lucia situada al sur oeste de la provincia de Lampa del departamento de Puno; a $15^{\circ}41'39''$ de Latitud sur y $70^{\circ}36'24''$ de Longitud Oeste y a una altitud de 4030 msnm.

En la figura 18 se muestra la ubicación política del distrito de Santa Lucia y en las figuras 19, 20, 21, 22 y 23 se aprecian la ubicación de cada una de las exploraciones realizadas dentro de las cinco zonas de estudio.

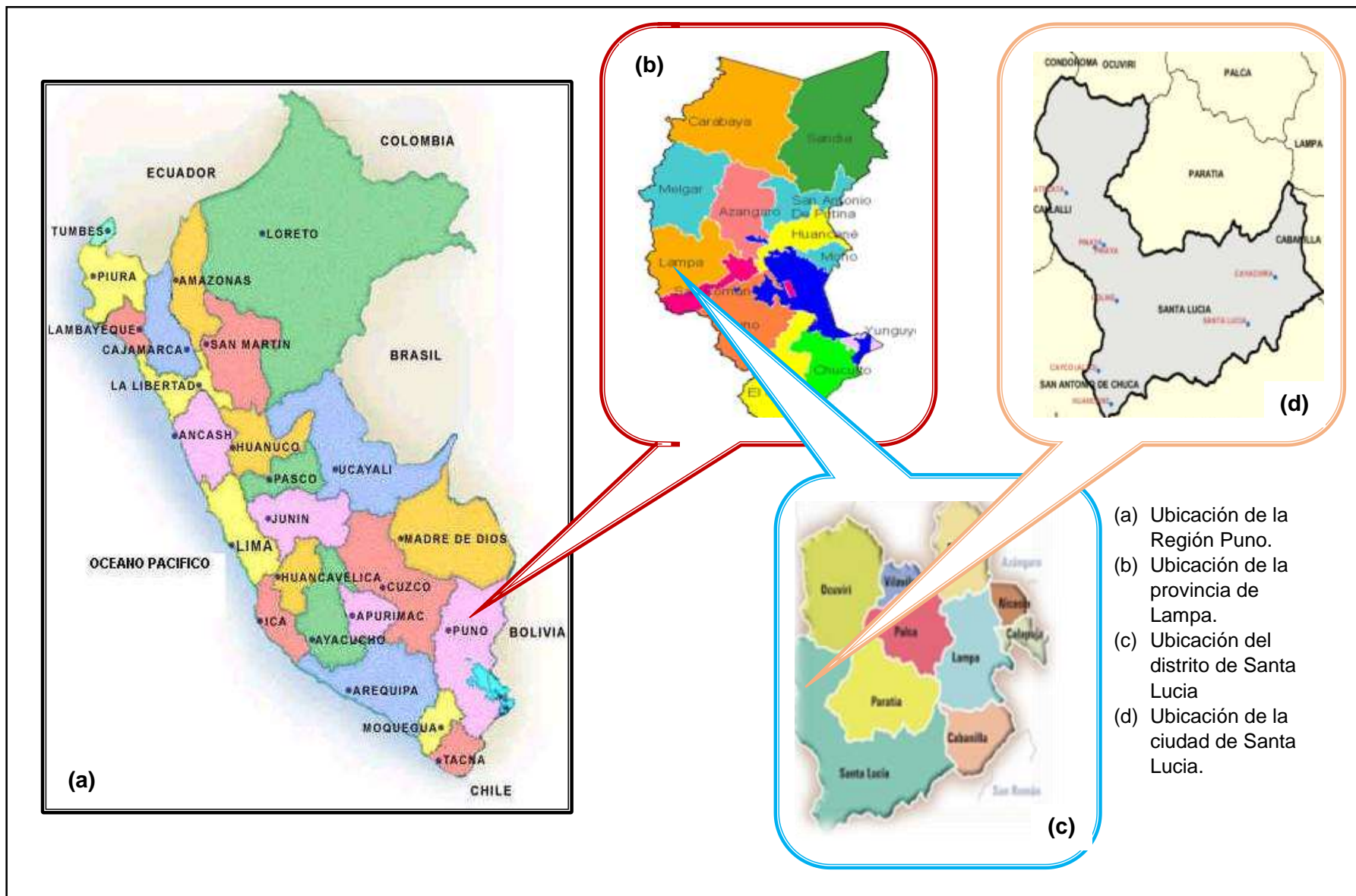


Figura 18. Ubicación de la zona de estudio.

➤ **Sector 01: Barrio San Martín.**

Ubicada hacia el sur del centro de la ciudad de Santa Lucía, sector donde se efectuó 03 exploraciones a cielo abierto C-01 a C-03.



Figura 19. Fotografía satelital del sector 01, con la ubicación de las exploraciones realizadas.

➤ **Sector 02: Barrio 25 de Junio.**

Ubicada hacia el este del centro de la ciudad de Santa Lucía, sector donde se efectuó 02 exploraciones a cielo abierto C-04 y C-05.



Figura 20. Fotografía satelital del sector 02, con la ubicación de las exploraciones realizadas.

➤ **Sector 03: Barrio Central.**

Ubicada hacia el noroeste del centro de la ciudad de Santa Lucia, sector donde se efectuó 01 exploración a cielo abierto C-06.



Figura 21. Fotografía satelital del sector 03, con la ubicación de la exploración realizada.

➤ **Sector 04: Barrio 08 de Octubre**

Ubicada hacia el norte del centro de la ciudad de Santa Lucia, sector donde se efectuaron 04 exploración a cielo abierto C-07 a C-10.



Figura 22. Fotografía satelital del sector 04, con la ubicación de las exploraciones realizadas.

➤ **Sector 05: Barrio Belén**

Ubicada hacia el oeste del centro de la ciudad de Santa Lucía, sector donde se efectuó 02 exploraciones a cielo abierto C-11 y C-12.



Figura 23. Fotografía satelital del sector 05, con la ubicación de las exploraciones realizadas.

Por otro lado la zona de estudio abarca los siguientes barrios:

- Sector 01 : Barrio San Martín – conformado por 8 Hectáreas
- Sector 02 : Barrio 25 de Junio – conformado por 2 Hectáreas
- Sector 03 : Barrio Central – conformado por 1 Hectáreas
- Sector 04 : Barrio 08 de Octubre – conformado por 10 Hectáreas
- Sector 05 : Barrio Belén – conformado por 3 Hectáreas

3.5.2 Descripción de las zonas de estudio.

3.5.2.1 Extensión superficial.

La zona de estudio comprende una extensión superficial total de 24 hectáreas acumuladas.

3.5.2.2 Topografía.

El relieve topográfico de todas las zonas de estudio es plana (constituido por pampas con ligeras ondulaciones que forma la mayor extensión de la superficie) de fácil acceso para todos los casos. La altitud promedio es de 4030 msnm aproximadamente.

3.5.2.3 Geomorfología.

Las características geomorfológicas locales de la zona de estudio están enfocados netamente a un modelamiento en la superficie donde se desarrollaron los procesos exógenos de degradación y gradación o acumulación, cuya secuencia de conformación estaría dada a partir de la presencia del material sedimentario, la zona de estudio se caracteriza por presentar una superficie predominante plana con cerros de mediana altitud, colindando a su alrededor con colinas altas medias y bajas.

Así mismo las áreas seleccionadas en estudio están compuestas por suelos granulares así como GW, GP y GW-GM según la clasificación SUCS, también se observa la presencia de suelos finos en algunos casos a profundidades menores, así como se observa en la figura 24.

La formación de estos suelos es básicamente de origen transportado debido a la presencia de variedades de estratos.

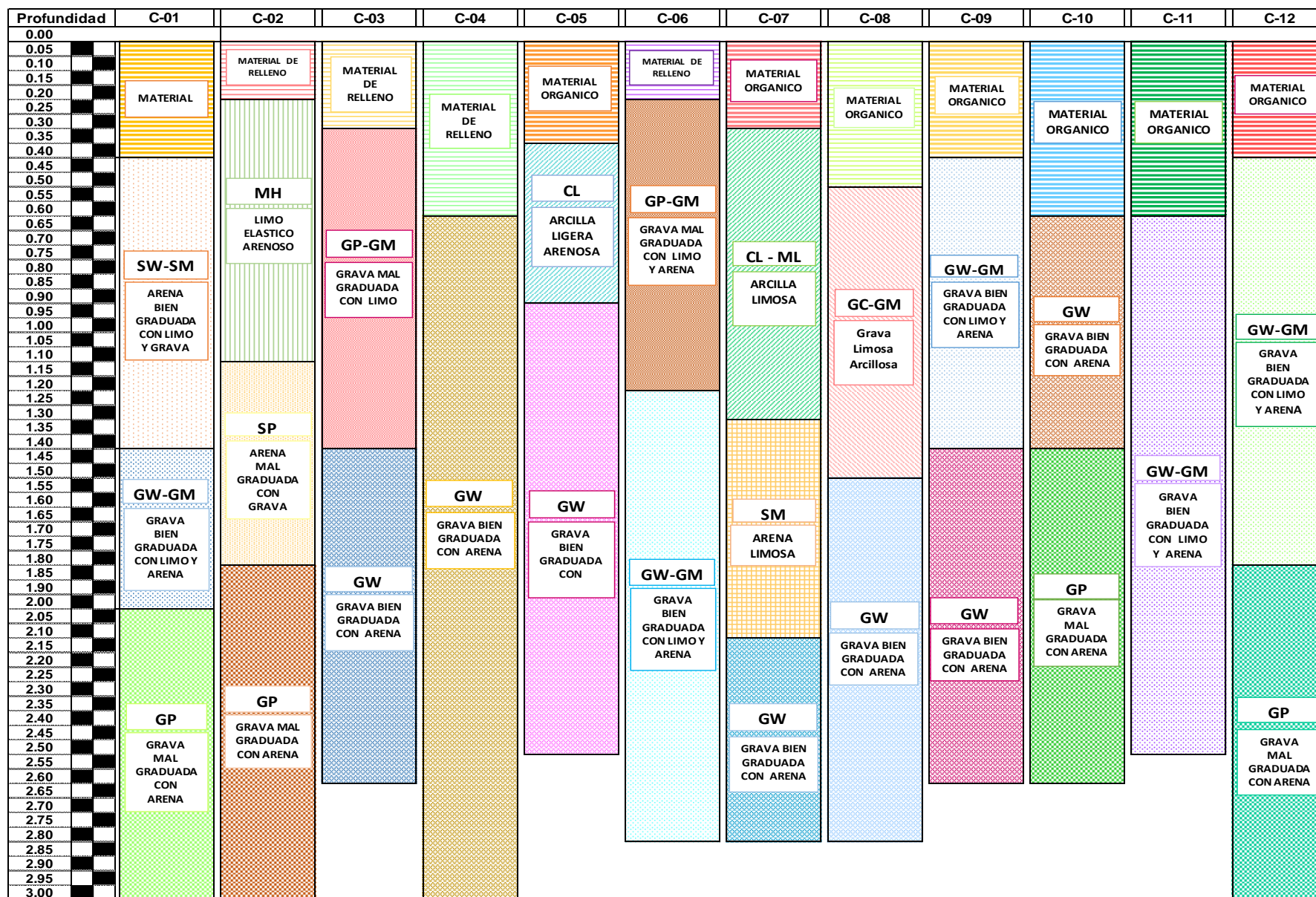


Figura 24. Estratigrafía de las zonas de estudio.

3.5.2.4 Clima.

La zona de estudio presenta un clima frígido principalmente por la noche en los meses de abril a noviembre, con descensos de temperaturas muy fuertes que llegan hasta -10°C en forma normal, por lo que se da el fenómeno común de las heladas; en el día es soleado y tibio, pero los vientos son intensos y provienen del sur, las precipitaciones son muy esporádicas. De diciembre a marzo con fuertes precipitaciones pluviales, acompañado de tempestad, nevadas y granizo, temperaturas medias de 03 a 12°C . (PDU - MDSL /2010-2018).

3.6 Identificación de la población y tamaño de muestra

3.6.1 Población.

Guillermo y Moreno (1997) aluden que la población es la totalidad de individuos o elementos en las cuales puede presentarse determinadas características susceptibles a ser estudiadas. Además, la población puede ser finita o infinita. Es población finita cuando está constituido por un número limitado de unidades, o cuando se conoce la cantidad de unidades que contiene. Es infinita, cuando está formado por una cantidad ilimitada de elementos, o cuando no se conoce la cantidad de unidades que la conforman.

En la presente investigación se tiene una población finita, en vista de que se tiene el número de elementos que la integran.

Por otra parte, de acuerdo al mapa geológico el distrito de Santa Lucía pertenece al cuadrante 32-U (Lagunillas) dado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET) donde nos muestra que el suelo predominante en la zona de estudio es:

Qh-al2 que corresponde a depósitos restringidos a los lechos de los ríos constituidos por **bloques de roca y gravas con una matriz arenosa** y limoarcillitas lenticulares, así como se muestra en la figura 25.

Tabla 10.

Tipo de edificación según el RNE

CLASE DE ESTRUCTURA	DISTANCIA MAYOR ENTRE APOYOS* (m)	NUMERO DE PISOS (incluidos los sótanos)			
		≤ 3	4 a 8	9 a 12	> 12
Aportada de acero	< 12	C	C	C	B
Pórticos y/o muros de concreto	< 10	C	C	B	A
Muros portantes de albañilería	< 12	B	A	--	--
Bases de máquinas y similares	Cualquiera	A	--	--	--
Estructuras especiales	Cualquiera	A	A	A	A
Otras estructuras	Cualquiera	B	A	A	A
* Cuando la distancia sobrepasa la indicada, se clasificará en el tipo de edificación inmediato superior					
Tanques elevados y similares		≤ 9m de altura		> 9m de altura	
		B		A	

Nota: Tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E-050 "Suelos y cimentaciones"

Así mismo el reglamento menciona que un programa de investigación mínimo de campo y laboratorio se define mediante:

- Condiciones de frontera
- Número de puntos a investigar
- Profundidad a alcanzar en cada punto
- Distribución de los puntos en la superficie del terreno
- Número y tipo de muestras a extraer y ensayos a realizar in situ y en el laboratorio.

De acuerdo a la ubicación del área de estudio, los tipos de estructuras que están presentes son pórticos de concreto y muros portantes de albañilería, con una distancia entre apoyos menor a 10 metros, con un número de pisos menor a 3 en el caso de muros portantes de albañilería y menor a 8 pisos para el caso de pórticos de concreto. Por lo que el tipo de edificaciones ubicadas en las zonas de estudio son clasificadas como B y C.

Por lo cual “el número de puntos de investigación se determina de la tabla N°6 del RNE en función del tipo de edificación y del área de la superficie a ocupar por este”

Tabla 11.

Número de puntos de investigación según el RNE

Tipo de edificación	Número de puntos de investigación (n)
A	1 cada 225 m ²
B	1 cada 450 m ²
C	1 cada 800 m ²

Urbanizaciones para viviendas 3 cada hectárea de terreno habilitado, unifamiliares de hasta 3 pisos

Nota: Tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E-050

De acuerdo al tipo de edificación definido anteriormente, resulta que el número de puntos de investigación es de 1 a cada 800 m².

El área total que es objeto de la presente investigación corresponde a 24 hectáreas aproximadamente (240000 m²). Entonces la población a investigar viene dada por la siguiente expresión:

$$POBLACION = \frac{\text{Area total de estudio}}{\text{Frecuencia de estudio}} \quad (1)$$

$$POBLACION = \frac{240000 \text{ m}^2}{800 \text{ m}^2}$$

$$POBLACION = 300 \text{ puntos de investigacion}$$

3.6.2 Tamaño de muestra.

Borja (2012) sostiene que “para una investigación cuantitativa, la muestra de estudio es un subgrupo representativo de la población, sobre la cual se recolectaran los datos. Donde el investigador se deberá interesar que los resultados encontrados en la muestra logren generalizarse o extrapolarse a la población o universo. La muestra debe ser estadísticamente representativa”.

Así mismo la muestra se puede definir como una parte de un conjunto o población (dando a entender que el tamaño de la población es superior respecto al tamaño de la muestra) debidamente elegida, que se somete a observación científica en representación del conjunto, con el propósito de obtener resultados válidos.

En este sentido, la muestra para la presente investigación viene dada por suelos granulares específicamente gravas inmersas en una matriz arenosa con un porcentaje de finos menores al 10% es decir suelos de clasificación GW, GM y GW-GM según el SUCS, donde se busca determinar el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en función de su densidad relativa a partir de los ensayos de escala reducida.

Moya y Saravia (2007) presentan las siguientes expresiones para determinar el tamaño de muestras en poblaciones finitas:

$$n_0 = \left[\frac{z}{e} \right]^2 * p * q \quad (2)$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad (3)$$

Donde:

n_0 : Tamaño de la muestra en la estimación de la proporción.

n : Tamaño real de la muestra a partir de la población seleccionada.

N : Número total de elementos que conforman la población.

z : Grado de confiabilidad, 1.96 para el 5% del nivel de significancia, es decir que el 95% de probabilidad de que el valor verdadero de lo que se está estudiando en la población, se encuentra en la muestra calculada.

Para calcular el valor de "z" primero se determina el valor de "x"

$$x = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

$$x = 1 - \frac{0.05}{2} = 0.975$$

Seguidamente se calcula el valor de "z" con la ayuda de tablas para la distribución normal estandarizada, que viene a ser 1.96

e : Error asumido en el cálculo, cuando no se tiene su valor suele utilizarse un valor que varía entre el 0.01 (1%) y 0.09 (9%). Para este caso asumiremos el máximo error permitido de 0.09, es decir el 9%.

p : Probabilidad de que la población presenta las características. (0.97 para 97%)

q : Probabilidad de que la población no presenta las características. (0.03 para 3%)

Reemplazando estos valores en las ecuaciones 9 y 10 se tiene:

$$n_0 = \left[\frac{1.96}{0.09} \right]^2 * 0.97 * 0.03 = 12.81$$

$$n = \frac{12.81}{1 + \frac{12.81}{300}}$$

$$n = 12.28 \cong 12$$

De acuerdo al cálculo desarrollado se tiene que el número de la muestra es de **12 calicatas** conformados por materiales granulares de clasificación GW, GP y GW-GM, de las cuales se busca determinar el ángulo de fricción, adicionalmente se ha realizado la clasificación de suelos de los estratos encontrados de cada una de las calicatas estudiadas.

3.7 Exploración y muestreo de suelos

La exploración y muestreo de suelos se ha realizado con la finalidad de recolectar datos cuantitativos, puesto que la presente investigación pertenece a un enfoque cuantitativo la cual se realiza mediante instrumentos de medición que deben representar verdaderamente variables de la investigación, así mismo cabe mencionar que el diseño de la investigación es experimental donde se busca obtener valores o datos a partir de pruebas campo y laboratorio.

Los instrumentos de medición vienen a ser los equipos y herramientas que se utilizaron en la presente investigación las cuales pertenecen al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca. Puesto que mediante ello se ha determinado el ángulo de fricción a partir de su densidad relativa mediante densidades máximas y mínimas y propiedades índice de los suelos granulares.

Con la finalidad de identificar y realizar la evaluación geotécnica del suelo, se llevó a cabo un programa de exploración de campo mediante la excavación de calicatas y extracción de muestras para ser ensayadas en el laboratorio. Las cuales han sido desarrolladas procurando cumplir con los requerimientos necesarios para lograr un buen estudio de suelos, las mismas que se indican en las normativas correspondientes.

3.7.1 Exploración de suelos.

Braja (2011) indica que “la exploración de suelos, corresponde al proceso de identificar los estratos de depósitos que subyacen bajo una estructura propuesta y sus características físicas”. Se debe agregar también que la exploración consiste en realizar una investigación del sub suelo.

Para poder llevar a cabo dicho proceso se tiene una variedad de métodos dentro de la mecánica de suelos y de las cuales se puede mencionar, excavación de pozos a cielo abierto, perforaciones manuales o mecánicas, métodos de SPT, DPL y entre otros. La elección de uno u otro método se definirán a partir de la información que se requiera conocer, así como la profundidad de exploración y el nivel de exigencia del estudio. El método de exploración que proporciona información de mayor confiabilidad es el de la excavación de pozos a cielo abierto, ya que permite observar de manera directa al sub suelo y poder determinar además sus características físicas. La desventaja que presenta este método es que no se puede alcanzar profundidades mayores. Las exploraciones de pozos a cielo abierto se deben de desarrollar de acuerdo a la NTP 339.162 y ASTM D 420.

3.7.1.1 Profundidad de exploración.

La profundidad de exploración es dependiendo del tipo de estructura que se pretende proyectar; para el caso de cimentaciones superficiales en edificaciones sin sótano según el Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma E-050 la profundidad mínima a alcanzar en cada punto de investigación está dada por la siguiente formula:

$$p = D_f + z \quad (4)$$

Donde:

p : Profundidad.

D_f : Distancia vertical desde la superficie del terreno hasta el fondo de la cimentación.

z : $1.5*B$, siendo B el ancho de la cimentación.

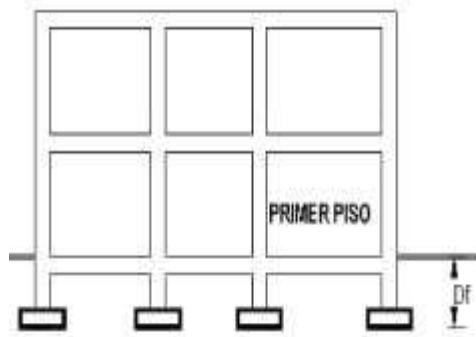


Figura 26. Profundidad de cimentación en zapatas superficiales. Tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E-050.

La norma E-050 indica que la profundidad mínima de cimentación es de 0.80m por lo que esto nos lleva a la conclusión de que para anchos de cimentación que van desde 0.60m a 1.20m que es lo que a menudo corresponde a edificaciones livianas. La profundidad de exploración a obtenerse será como se muestra a continuación:

Ahora, para $B = 0.60$ m

$$\text{profundidad de exploracion} = 0.80 + 1.50 * 0.60$$

$$\text{profundidad de exploracion} = 1.70 \text{ metros}$$

Ahora, para $B = 1.00$ m

$$\text{profundidad de exploracion} = 0.80 + 1.50 * 1.00$$

$$\text{profundidad de exploracion} = 2.30 \text{ metros}$$

Ahora, para $B = 1.20 \text{ m}$

$$\text{profundidad de exploracion} = 0.80 + 1.50 * 1.20$$

$$\text{profundidad de exploracion} = 2.60 \text{ metros}$$

Para estas profundidades es posible llevar a cabo una exploración de suelos haciendo uso del método de excavación de pozo a cielo abierto (calicatas), siempre que el suelo en estudio se trate de un suelo estable.

Además, el RNE hace mención que “en el caso de ser ubicado dentro de la profundidad activa de cimentación el estrato resistente típico de la zona, que normalmente se utiliza como plano de apoyo de la cimentación, a juicio y bajo responsabilidad del profesional responsable (PR), se podrá adoptar una profundidad z menor a **1.5B**. En este caso la profundidad mínima de investigación será la profundidad del estrato resistente más una profundidad de verificación no menor a 1m”.

Teóricamente la profundidad de exploración debe abarcar la zona donde el incremento de esfuerzos es considerable, ya que esta zona es el responsable de asegurar la estabilidad de la edificación.

3.7.1.2 Esfuerzos debajo de un área rectangular.

Los suelos están compuestos por sistemas de fase múltiple. En un volumen de suelo, las partículas de sólidos están distribuidas al azar con espacios vacíos entre ellas. Donde los espacios vacíos son continuos y están ocupados por agua, aire o ambos. Para analizar la capacidad de carga de cimentaciones, es necesario conocer la naturaleza de la distribución de los esfuerzos a lo largo de una sección transversal dada del perfil del suelo, es decir que fracción del esfuerzo normal a una profundidad dada en una masa de suelo es tomada por el agua en los espacios vacíos y cual es tomada por el esqueleto del suelo en los puntos de contacto de las partículas del suelo. A esto se denomina esfuerzo efectivo.

Cuando se construye una cimentación, tienen lugar cambios en el suelo bajo la cimentación. El esfuerzo neto usualmente se incrementa. Este aumento del esfuerzo neto en

el suelo depende de la carga por área unitaria a la que la cimentación está sometida, de la profundidad debajo de la cimentación en la que se hace la estimación del esfuerzo, entre otros factores. Es necesario estimar el incremento neto del esfuerzo vertical en el suelo, que ocurre como resultado de la construcción de una cimentación, para así calcular los asentamientos.

Braja (2001) indica que el esfuerzo vertical debajo del centro de una superficie rectangular es de gran importancia y se da por la siguiente ecuación.

$$\Delta\sigma = q_0 I_c \quad (5)$$

En el que:

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left[\frac{m_1 n_1}{\sqrt{1 + m_1^2 + n_1^2}} * \frac{1 + m_1^2 + n_1^2}{(1 + n_1^2)(m_1^2 + n_1^2)} + \sin^{-1} \left(\frac{m_1}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2} \sqrt{1 + n_1^2}} \right) \right] \quad (6)$$

$$m_1 = \frac{L}{B} \quad (7)$$

$$n_1 = \frac{z}{\left(\frac{B}{2}\right)} \quad (8)$$

Donde:

$\Delta\sigma$: Incremento total de esfuerzos causado por un área rectangular.

q_0 : Carga por unidad de área sobre la superficie rectangular.

B : Ancho de la cimentación.

L : Largo de la cimentación.

Z : Profundidad a la cual se estima el incremento de esfuerzos.

Para el caso en particular, donde la carga por unidad de área es de 5 kg/cm² (presión admisible para gravas sueltas según Alva 1993), la profundidad de cimentación es de 0.80m, el ancho de la cimentación es de 1.00m y el largo es de 1.20m. El incremento total de esfuerzos causado por la cimentación es como sigue:

Datos:

$$D_f = 0.80 \text{ m}$$

$$B = 1.00 \text{ m}$$

$$L = 1.20 \text{ m}$$

$$q_0 = 5 \text{ kg/cm}^2$$

De las ecuaciones 14 y 15, para una profundidad de $z = 0.10\text{m}$.

$$m_1 = \frac{1.20 \text{ m}}{1.00 \text{ m}} = 1.20 \quad n_1 = \frac{0.10 \text{ m}}{\left(\frac{1.00 \text{ m}}{2}\right)} = 0.20$$

Reemplazando en la ecuación 13.

$$I_c = \frac{2}{\pi} \left[\frac{1.20 * 0.20}{\sqrt{1 + 1.20^2 + 0.20^2}} * \frac{1 + 1.20^2 + 0.20^2}{(1 + 0.20^2)(1.20^2 + 0.20^2)} + \sin^{-1} \left(\frac{1.20}{\sqrt{1.20^2 + 0.20^2} \sqrt{1 + 0.20^2}} \right) \right]$$

$$I_c = 0.9946$$

Entonces el incremento de esfuerzo para una profundidad de 0.10m es:

$$\Delta\sigma = 5.00 * 0.9946$$

$$\Delta\sigma = \mathbf{4.973 \text{ kg/cm}^2}$$

De la misma forma se calcula el incremento de presión debido al área rectangular para diferentes profundidades, así como se muestra en la figura 27, en la cual se observa que a una profundidad de 0.80 m con un ancho de cimentación 1.00m, el incremento de presiones se ha reducido a 2.389 kg/cm² que representa el 47.78% respecto a la que se aplica en la superficie de contacto de la cimentación. Ahora para una profundidad 1.20m con un ancho de cimentación 1.00m, el incremento de presiones se ha reducido a un 29.97%, entonces se observa que cuando la profundidad se va incrementando el incremento de presiones tiende a disminuir.

De aquí se deduce que la exploración a una profundidad de $1.5B$ que indica la norma E-050 del RNE, es válido ya que a esta profundidad el incremento de presiones se ha disipado hasta un 85%. Entonces para este caso en particular la profundidad de exploración es de:

$$\text{Profundidad de exploracion} = D_f + 1.5 B = 0.80 + 1.50 * 1.20$$

$$\text{Profundidad de exploracion} = 2.60 \text{ m}$$

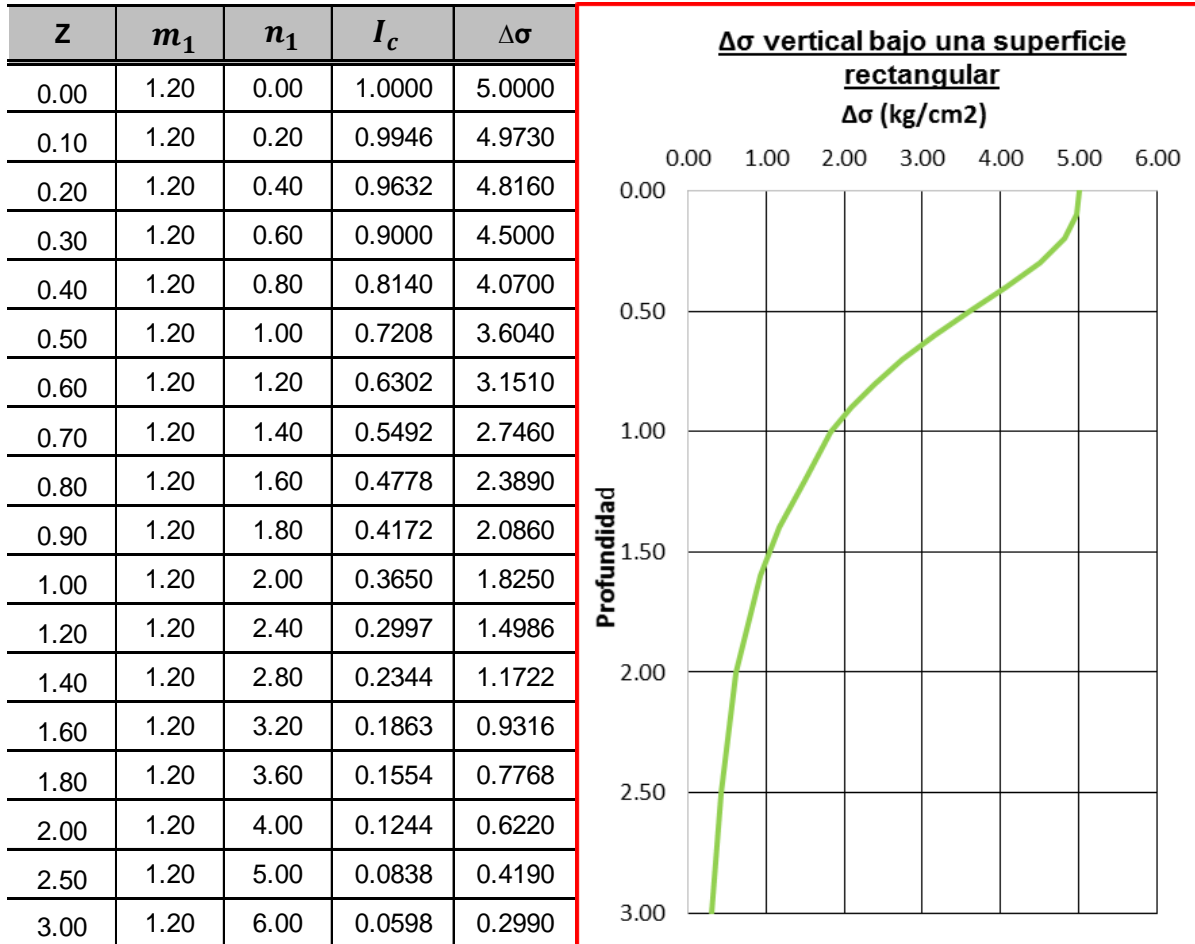


Figura 27. Grafico del incremento de presiones en un área rectangular.

3.7.1.3 Selección de los puntos de exploración.

Para la presente investigación se ha realizado un total de 12 exploraciones mediante el método de excavaciones de pozos a cielo abierto (calicatas) los que se denominaron C-01, C-02, C-03, C-04, C-05, C-06, C-07, C-08, C-09, C-10, C-11 y C-12, estos puntos fueron

distribuidos estratégicamente dentro de los cinco sectores de la zona de estudio, las cuales se muestran en el anexo C “plano de ubicación de las calicatas exploradas”.

Así mismo se ha tomado en consideración los antecedentes de estudios de mecánica de suelos desarrollados para proyectos de dicha zona de estudio.

Los puntos seleccionados fueron aquellas que conforman materiales granulares, además que presenten las siguientes características: El tamaño máximo de las gravas de 3” a más y el porcentaje de finos que no exceda en un 10%.

Por otro lado las exploraciones se realizaron en cinco sectores del distrito de Santa Lucia, el sector 01 conformado por el Barrio San Martin donde se realizaron 03 calicatas, el sector 02 conformado por el barrio 25 de junio donde se realizaron 02 calicatas, el sector 03 conformado por el barrio 08 de octubre donde se realizaron 04 calicatas, el sector 04 conformado por el barrio central donde se realizó 01 calicata y finalmente el sector 05 conformado por el barrio Belén donde se realizó 02 calicatas.

En el caso de la profundidad de exploración se ha realizado a una profundidad máxima de 3.00m y una profundidad mínima de 2.50m por debajo del nivel de terreno natural así como se muestra en la figura 28; estas variaciones se debe en función al material que se ha venido buscando suelos granulares específicamente gravas inmersas en una matriz arenosa de clasificación GW, GP y GW-GM, el cual es el tema de estudio de la presente investigación.

Además, de las calicatas realizadas de cada una de ellas se registró el perfil estratigráfico del suelo, clasificando visualmente los materiales, cuando se detectó la presencia de cambios de las características de los materiales encontrados en la excavación, se tomó una muestra representativa para la evaluación e identificación correspondiente.

Sobre la base de la clasificación visual de los suelos, se elaboró un perfil estratigráfico preliminar de cada una de las calicatas exploradas. Con los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio, se determinó el perfil estratigráfico el cual describe la ubicación de las calicatas efectuadas así como la descripción del material encontrado en cada una de ellas. (Ver anexo B: “Certificados de laboratorio”)



Figura 28: Excavaciones a base de pozos a cielo abierto.

3.7.2 Muestreo de suelos.

Para determinar las propiedades de un suelo en laboratorio y obtener unos resultados razonablemente dignos de crédito es preciso contar con muestras representativas. Básicamente las muestras pueden obtenerse de dos maneras que corresponden a muestras alteradas y muestras inalteradas.

Aparte de ello en el RNE la norma E-050 Suelos y Cimentaciones en el Art. 10 ítem 10.4 indica que se tienen cuatro tipos de muestras las que se describen en la tabla 12, las cuales se aplicarán en campo en función de las exigencias que deberán atenderse en cada caso, respecto al terreno que representan.

Tabla 12.

Tipos de muestras de suelos para su estudio

TIPO DE MUESTRA	NORMA APLICABLE	FORMAS DE OBTENER Y TRANSPORTAR	ESTADO DE LA MUESTRA	CARACTERISTICAS
Muestra inalterada en bloque (Mib)	NTP 339.151 ASTM D4220	Bloques	Inalterada	Debe mantenerse inalteradas las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su estado natural al momento del muestreo (Aplicable solamente a suelos cohesivos, rocas blandas o suelos granulares finos suficientemente cementados para permitir su obtención)
Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mit)	NTP 339.169 ASTM D1587	Tubo de pared delgada		
Muestra alterada en bolsa de plástico (Mab)	NTP 339.151 ASTM D4220	Con bolsas de Plástico	Alterada	Debe mantener inalterada la granulometría del suelo en su estado natural al momento del muestreo.
Muestra alterada para humedad en lata sellada (Mah)	NTP 339.151 ASTM D4220	En lata sellada	Alterada	Debe mantener inalterado el contenido de agua

Nota: NTP=Norma Técnica Peruana, tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones norma E-050.

El estado de la muestra que sea necesario obtener dependerá del tipo de estudio que será necesario llevar a cabo. Por lo que a continuación se resalta puntos importantes respecto al estado de las muestras.

3.7.2.1 Muestras inalteradas.

Las muestras inalteradas son aquellas en las que no se altera significativamente la estructura del suelo, es decir cuando se conserva las mismas condiciones en el lugar donde se obtenga la muestra, en efecto su uso es para obtener parámetros de resistencia.

Dicho de otra manera, las muestras inalteradas son las que procuran conservar su estructura interna y textura al momento de su extracción y posterior traslado a un laboratorio, por supuesto que en cierta forma sufrirán algún tipo de alteración principalmente debido al cambio de presiones a los que se verá sometido, pero gran parte de sus propiedades físicas y mecánicas se conservan. Estas muestras pueden ser obtenidas a partir del tallado de cubos

de suelo in situ de un pozo a cielo abierto y protegiéndose adecuadamente una vez extraída. Además al obtener este tipo de muestras debe indicarse claramente la posición o sentido de la muestra.

3.7.2.2 Muestras alteradas.

Pari (2012) indica que las muestras alteradas son aquellas en las cuales su estructura interna y textura del suelo, han sido visiblemente distorsionadas. Conservando solo su distribución de tamaño de partículas. Estas muestras pueden ser obtenidas, a partir de excavaciones manuales extrayendo las muestras de forma directa con la ayuda de un pico y una pala y almacenándose adecuadamente, y también pueden ser obtenidas a partir de perforaciones manuales con la ayuda de herramientas especiales para este fin (barrenos, tubos muestreadores, etc.) Este tipo de muestreo generalmente se obtiene cuando solo se requiere conocer las propiedades físicas y en menor grado sus propiedades mecánicas, o cuando la profundidad de exploración hace que sea la única forma de conocer el suelo.

En el presente estudio de cada estrato de suelo identificado se extrajeron muestras representativas por separado en un estado alterado, de las calicatas C-01 al C-12, las que convenientemente fueron identificados, las cuales fueron empaquetadas en bolsas de polietileno correctamente identificadas mediante una tarjeta que acompañó a la muestra durante todo su estudio y en seguida fueron trasladadas a las instalaciones del laboratorio para efectuar ensayos y determinar sus características físicas (índice de plasticidad, distribución granulométrica y gravedad específica), cuyos resultados se utilizaron para su respectiva clasificación según el sistema unificado de clasificación de suelos.

De los últimos estratos, es decir de los materiales granulares se extrajeron muestras en mayor cantidad en vista de que es el material que se viene estudiando, por cuanto se busca determinar el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción mediante el escalamiento de curvas granulométricas, así mismo de esos materiales se desarrollaron ensayos de densidades máximas y mínimas mediante compactado.

Las muestras fueron obtenidas de las paredes de los pozos a cielo abierto a diferentes profundidades dependiendo de la cantidad de estratos y la uniformidad del material.

En la figura 29 se observa la extracción de muestras en un estado alterado y en la figura 30 se observa las muestras representativas en bolsas de polietileno de cada uno de los estratos después de su extracción.



Figura 29. Extracción de muestra en un estado alterado en las calicatas a cielo abierto.



Figura 30: Muestras representativas de cada estrato empacadas en bolsas de polietileno.

En la tabla 13 se muestra las distintas profundidades de los estratos sobre los cuales fueron tomadas las muestras en su estado alterado, para cada una de las calicatas exploradas.

Tabla 13.

Profundidades de toma de muestras alteradas

N° calicata	Estrato	N° muestra	Profundidad
			De - a
C-01 (Barrio San Martin)	E-01	M - 1	0.00 - 0.40m
	E-02	M - 1	0.40 - 1.40m
	E-03	M - 1	1.40 - 2.00m
	E-04	M - 1	2.00 - 3.00m
C-02 (Barrio San Martin)	E-01	M - 1	0.00 - 0.20m
	E-02	M - 1	0.20 - 1.10m
	E-03	M - 1	1.10 - 1.80m
	E-04	M - 1	1.80 - 3.00m
C-03 (Barrio San Martin)	E-01	M - 1	0.00 - 0.30m
	E-02	M - 1	0.30 - 1.40m
	E-03	M - 1	1.40 - 2.60m
C-04 (Barrio 25 de Junio)	E-01	M - 1	0.00 - 0.60m
	E-02	M - 1	0.60 - 3.00m
C-05 (Barrio 25 de Junio)	E-01	M - 1	0.00 - 0.35m
	E-02	M - 1	0.35 - 0.90m
	E-03	M - 1	0.90 - 2.50m
C-06 (Barrio Central)	E-01	M - 1	0.00 - 0.20m
	E-02	M - 1	0.20 - 1.20m
	E-03	M - 1	1.20 - 2.80m
C-07 (Barrio 08 de Octubre)	E-01	M - 1	0.00 - 0.30m
	E-02	M - 1	0.30 - 1.30m
	E-03	M - 1	1.30 - 2.10m
	E-04	M - 1	2.10 - 2.80m
C-08 (Barrio 08 de Octubre)	E-01	M - 1	0.00 - 0.50m
	E-02	M - 1	0.50 - 1.50m
	E-03	M - 1	1.50 - 2.80m
C-09 (Barrio 08 de Octubre)	E-01	M - 1	0.00 - 0.40m
	E-02	M - 1	0.40 - 1.40m
	E-03	M - 1	1.40 - 2.60m
C-10 (Barrio 08 de Octubre)	E-01	M - 1	0.00 - 0.60m
	E-02	M - 1	0.60 - 1.40m
	E-03	M - 1	1.40 - 2.60m
C-11 (Barrio Belén)	E-01	M - 1	0.00 - 0.60m
	E-02	M - 1	0.60 - 2.50m
C-12 (Barrio Belén)	E-01	M - 1	0.00 - 0.40m
	E-02	M - 1	0.40 - 1.80m
	E-03	M - 1	1.80 - 3.00m

Nota: E=estrato, M=muestra, fuente: elaboración propia.

3.8 Caracterización de los suelos

Crespo (2004) menciona que el conocimiento de las principales características físicas de los suelos es de fundamental importancia en el estudio de la mecánica de suelos, pues mediante su atinada interpretación se puede predecir el futuro comportamiento de un terreno bajo cargas cuando dicho terreno presenta diferentes contenidos de humedad. Estas características son determinadas in situ y en laboratorio las cuales se presentan en la tabla 14 con su respectiva normativa, además estos procedimientos son realizados con el fin de clasificar el suelo. La caracterización de los suelos se ha realizado para cada una de las muestras; obtenidas en estado alterado de las calicatas denominadas C-01 al C-12.

Tabla 14.

Ensayos realizados para la caracterización de suelos

NOMBRE DEL ENSAYO	USO	NORMATIVA			PROPOSITO DEL ENSAYO
		ASTM	NTP	MTC	
Análisis granulométrico por tamizado	Clasificación	D-422	NTP 339.128	E-107	Determinar la distribución del tamaño de partículas de suelo.
Contenido de humedad	Clasificación	D-2216	NTP 339.127	E-108	Determinar el contenido de agua del suelo natural.
Limite liquido	Clasificación	D-4318	NTP 339.129	E-110	Hallar el contenido de agua entre los estados líquido y plástico.
Limite plástico	Clasificación	D-4318	NTP 339.129	E-111	Hallar el contenido de agua entre los estados plástico y semisólido.
Densidad de campo	Densidad relativa	D-1556	NTP 339.143	E-117	Determinar la densidad natural del suelo

Nota: MTC=Ministerio de transportes y comunicaciones, fuente elaboración propia.

3.8.1 Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D 422).

La granulometría representa la distribución del tamaño de partículas, se determina mediante el tamizado o el paso del material seco por mallas de distintas aberturas hasta el tamiz N°200 (0.074mm de diámetro), para conocer la distribución granulométrica por debajo de ese tamiz se realiza el análisis hidrométrico.

El análisis granulométrico deriva en una curva granulométrica, donde se grafica el diámetro del tamiz versus el porcentaje que pasa.

Para llevar a cabo la presente investigación, una vez que las muestras fueron extraídas de las calicatas en estudio, llevadas al laboratorio y secadas se ha realizado el análisis granulométrico mediante el lavado y tamizado de cada uno de los estratos (ver figura 31), cuyos resultados se presentan en el anexo B, en la tabla 15 se presenta los resultados del análisis granulométrico como son: Porcentajes de gravas, arenas y finos de los estratos involucrados en el tema de estudio, de los cuales se realizó el escalamiento de curvas granulométricas para la determinación de la densidad relativa y posteriormente el ángulo de fricción.



(a) Secado de muestras



(b) Lavado de muestras



(c) Tamizado de muestras



(d) Selección del material por diferentes tamaños

Figura 31. Análisis granulométrico desarrollado en laboratorio.

Tabla 15.

Resultados del análisis granulométrico

N° calicata	Estrato	Profundidad	CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS							
		De - a	% GRAVAS	% ARENAS	% FINOS	D10	D30	D60	Cu	Cc
C-01	E-04	2.00 - 3.00m	50.62	45.34	4.04	0.41	1.41	9.03	21.93	0.54
C-02	E-04	1.80 - 3.00m	78.02	18.99	2.99	0.85	11.66	39.62	46.64	4.04
C-03	E-03	1.40 - 2.60m	60.13	36.55	3.32	0.46	2.51	14.43	31.42	1.0
C-04	E-02	0.60 - 3.00m	64.97	31.09	3.94	0.48	3.47	18.87	39.17	1.32
C-05	E-03	0.90 - 2.50m	35.77	33.25	2.52	0.45	3.64	16.73	37.16	1.76
C-06	E-03	1.20 - 2.80m	39.55	33.58	5.97	0.29	2.73	12.53	43.53	2.06
C-07	E-04	2.10 - 2.80m	71.58	27.01	1.41	0.59	7.65	48.15	81.32	2.05
C-08	E-03	1.50 - 2.80m	75.78	21.97	2.25	1.25	6.12	30.61	24.57	1.0
C-09	E-03	1.40 - 2.60m	78.77	17.94	3.29	1.31	7.65	42.43	32.40	1.05
C-10	E-03	1.40 - 2.60m	75.58	20.82	3.60	0.51	6.77	20.79	40.85	4.33
C-11	E-02	0.60 - 2.50m	59.92	31.01	9.07	0.15	1.70	20.43	137.6	0.95
C-12	E-03	1.80 - 3.00m	75.17	21.00	3.83	0.44	7.46	25.68	58.34	4.92

Nota: Fuente, elaboración propia

3.8.2 Determinación del contenido de humedad.

El contenido de humedad consiste en determinar la cantidad de agua que presenta un suelo.

Por otro lado, el contenido de humedad es la relación que existe entre peso del agua y el peso del suelo seco en términos de porcentaje. En cierto modo este valor es relativo, porque depende de las condiciones atmosféricas que pueden ser variables.

De las calicatas C-01 a C-12 se han extraído muestras representativas en un estado alterado de cada uno de los estratos, las cuales fueron empacadas en bolsas y embaladas con cinta para evitar pérdidas de humedad, a continuación se presenta en la tabla 16 los resultados obtenidos en laboratorio de los contenidos de humedad de los estratos que están involucrados en el tema específico de la investigación es decir de cuyo estrato se determina el ángulo de fricción en función a su densidad relativa, así mismo en el anexo B se aprecian los resultados de forma detallada.

Tabla 16.

Resultados de contenido de humedad

N° calicata	Estrato	N° de muestra	Profundidad	Humedad
			De - a	w (%)
C-01 (Barrio San Martin)	E-04	M – 1	2.00 - 3.00m	6.05%
C-02 (Barrio San Martin)	E-04	M – 1	1.80 - 3.00m	6.44%
C-03 (Barrio San Martin)	E-03	M – 1	1.40 - 2.60m	5.68%
C-04 (Barrio 25 de Junio)	E-02	M – 1	0.60 - 3.00m	8.66%
C-05 (Barrio 25 de Junio)	E-03	M – 1	0.90 - 2.50m	3.64%
C-06 (Barrio Central)	E-03	M – 1	1.20 - 2.80m	10.06%
C-07 (Barrio 08 de Octubre)	E-04	M – 1	2.10 - 2.80m	3.85%
C-08 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	M – 1	1.50 - 2.80m	8.91%
C-09 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	M – 1	1.40 - 2.60m	7.68%
C-10 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	M – 1	1.40 - 2.60m	9.73%
C-11 (Barrio Belén)	E-02	M – 1	0.60 – 2.50m	7.20%
C-12 (Barrio Belén)	E-03	M – 1	1.80 - 3.00m	5.67 %

Nota: Fuente, elaboración propia

3.8.3 Determinación de la plasticidad de los suelos.

Existen suelos que al ser moldeados, cambiando su contenido de agua si es necesario, adoptan una consistencia característica, estos suelos son llamados arcillas. (Juárez y Rico, 2005).

Así mismo Berry y Reid (1996) indican que la magnitud de plasticidad que presenta una arcilla natural depende de su composición mineralógica y contenido de humedad, desde un estado sólido en condición seca, pasando por un estado semisólido para bajos contenidos de humedad en el que el suelo se desmorona y no presenta plasticidad, pasando también por un estado plástico para altos contenidos de humedad, hasta llegar finalmente a un estado esencialmente líquido para contenidos de humedad muy altos. El contenido de humedad para el cual la consistencia cambia de un estado a otro varía de una arcilla a otra dependiendo de la cantidad y del tipo de mineral de arcilla presente.

Como el cambio de un estado de consistencia a otro es gradual, para satisfacer los requerimientos de un sistema de clasificación estándar fue necesario establecer límites arbitrarios entre los diferentes estados, estos se denominan como límites de Atterberg.

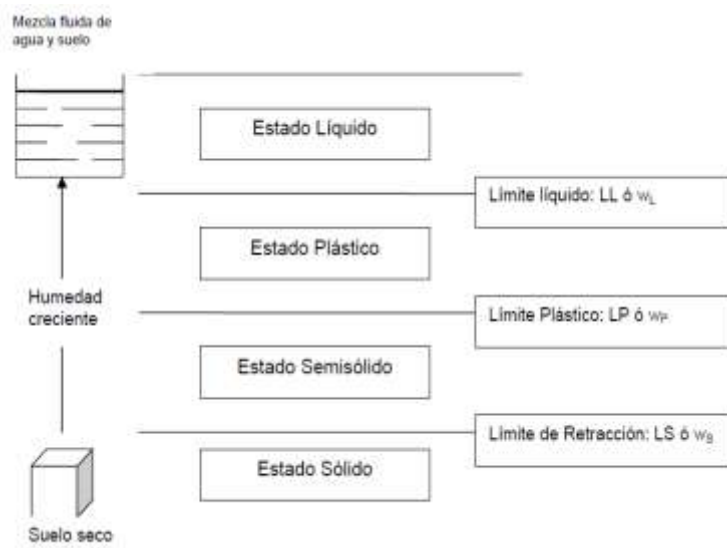


Figura 32. Estados de los límites de Atterberg, tomada de Mecánica de Suelos, Lambe y Whitman 2004

3.8.3.1 Limite líquido (ASTM D 4318).

Según Crespo (2004) dice que “el límite líquido (LL) se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico”. De acuerdo con esta definición los suelos tienen una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida, según Atterberg es de 25gr/cm² y la cohesión de un suelo en el límite líquido es nula.

En la investigación desarrollada de los materiales granulares (gravas y arenas) correspondientes a los estratos inferiores y los materiales finos (limos y arcillas) correspondientes a los estratos superiores se han saturado las muestras (material pasante de la malla N°40) de la cual se realizó la prueba del límite líquido el cual consistió en colocar una porción de pasta en la copa de Casagrande correspondiente al de Atterberg, en seguida se cortó una ranura en el centro de la pasta de suelo. Luego, con la manivela, se levantó la copa y se dejó caer desde una altura de 10mm. El contenido de agua, en porcentaje requerido para cerrar una distancia de 12.7mm a lo largo del fondo de la ranura. Es así que el límite líquido se determinó conociendo 3 o 4 contenidos de humedad con sus correspondientes números de golpes y en seguida se realizó la gráfica contenido de humedad versus número de golpes en un papel semi-logarítmico, de donde se determinó el límite líquido cuando el contenido de agua en la curva de fluidez correspondió a los 25 golpes.

3.8.3.2 Límite plástico (ASTM D 4318).

El límite Plástico (LP) se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada en el horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. Para determinar el límite plástico, generalmente se hace uso del material que se ha venido utilizando en el límite líquido, mezclando con agua, hasta tener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable.

Juárez y Rico (2005) definen que la prueba para la determinación del límite líquido, tal como Atterberg la definió, no especifica el diámetro a que debe llegarse al formar el cilindro de suelo requerido. En consecuencia Terzaghi agregó la condición de que el diámetro sea de 3mm.

Para la determinación del límite plástico se ha trabajado con la misma muestra utilizada para el ensayo de límite líquido; el ensayo consistió en realizar sobre un vidrio esmerilado rollitos con diámetros de 3mm en la cual ocurrió el desmoronamiento y agrietamiento; en tal momento se determinó rápidamente su contenido de agua correspondiente al límite plástico.

3.8.3.3 Índice de plasticidad.

Según Crespo (2004) denomina el índice de plasticidad (IP) a la diferencia numérica que existe entre el LL y LP, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos; y se expresa de la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP \quad (9)$$

El IP indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo, un IP alto corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, si el valor es bajo es característico de un suelo poco arcilloso. En tal sentido, el suelo en relación a su IP puede clasificarse según la Tabla 17.

Tabla 17.

Clasificación de suelos según el índice de plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP > 7 ≤ 20	Media	Suelos arcillosos
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos
IP = 0	No plástica (NP)	Suelos exentos de arcillas

Nota: Tomada del Manual de Carreteras; suelos, geología, geotecnia y pavimentos.

Para llevar adelante la presente investigación se ha determinado el índice de plasticidad para cada uno de los estratos de las calicatas C-01 al C-12, cuyos resultados se muestran en el anexo B, en la tabla 18 se presenta los resultados obtenidos en laboratorio del límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad de los estratos inferiores que están involucrados en el tema específico de la investigación, es decir de los suelos granulares inmersos en una matriz arenosa de las cuales se ha determinado el ángulo de fricción. A comparación de los estratos superiores estos materiales no presentan plasticidad puesto que están conformados por gravas y arenas donde el porcentaje de finos es mínimo.

Tabla 18.

Resultados de la determinación de los índices de plasticidad

N° calicata	Estrato	Profundidad De - a	LL	LP	IP
C-01 (barrio San Martín)	E-04	2.00 - 3.00m	NP	NP	NP
C-02 (barrio San Martín)	E-04	1.80 - 3.00m	NP	NP	NP
C-03 (barrio San Martín)	E-03	1.40 - 2.60m	NP	NP	NP
C-04 (barrio 25 de junio)	E-02	0.60 - 3.00m	NP	NP	NP
C-05 (barrio 25 de junio)	E-03	0.90 - 2.50m	NP	NP	NP
C-06 (barrio central)	E-03	1.20 - 2.80m	NP	NP	NP
C-07 (barrio 08 de octubre)	E-04	2.10 - 2.80m	NP	NP	NP
C-08 (barrio 08 de octubre)	E-03	1.50 - 2.80m	NP	NP	NP
C-09 (barrio 08 de octubre)	E-03	1.40 - 2.60m	NP	NP	NP
C-10 (barrio 08 de octubre)	E-03	1.40 - 2.60m	NP	NP	NP
C-11 (barrio belén)	E-02	0.60 - 2.50m	NP	NP	NP
C-12 (barrio belén)	E-03	1.80 - 3.00m	NP	NP	NP

Nota: LL=Límite líquido; LP=Límite plástico; IP=Índice de plasticidad. Fuente, elaboración Propia

3.8.4 Clasificación de suelos.

Con los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de las propiedades físicas de los suelos correspondientes a la granulometría y el índice de plasticidad (límite líquido y límite plástico) ha sido posible identificar su clasificación de cada uno de ellos, en el anexo B “certificados de laboratorio” se muestra la clasificación SUCS de cada uno de los estratos de las 12 exploraciones efectuadas; en la tabla 19 se presenta la “clasificación de suelos según SUCS” correspondientes a los estratos inferiores o materiales que se están evaluando en el presente estudio, así mismo se hace mención el porcentaje de bolones que presentan, es decir que porcentaje de materiales se tiene con tamaños de partículas superiores a las 3”. Mediante el análisis granulométrico se han obtenido partículas con tamaños máximos de 4” como son en las calicatas C-07, C-08 y C-09 las cuales pertenecen a una misma zona (barrio 08 de octubre).

Tabla 19.

Clasificación de los suelos en estudio según SUCS

N° calicata	Estrato	Profundidad	Símbolo de grupo	Nombre del grupo
		De - a		
C-01 (Barrio San Martin)	E-04	2.00 - 3.00m	GP	Grava mal graduada con arena
C-02 (Barrio San Martin)	E-04	1.80 - 3.00m	GP	Grava mal graduada con arena
C-03 (Barrio San Martin)	E-03	1.40 - 2.60m	GW	Grava bien graduada con arena
C-04 (Barrio 25 de Junio)	E-02	0.60 - 3.00m	GW	Grava bien graduada con arena
C-05 (Barrio 25 de Junio)	E-03	0.90 - 2.50m	GW	Grava bien graduada con arena
C-06 (Barrio Central)	E-03	1.20 - 2.80m	GW-GM	Grava bien graduada con limo y arena
C-07 (Barrio 08 de Octubre)	E-04	2.10 - 2.80m	GW	Grava bien graduada con arena, con presencia de bolones en un 23.47%
C-08 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	1.50 - 2.80m	GW	Grava bien graduada con arena, con presencia de bolones en un 7.08%
C-09 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	1.40 - 2.60m	GW	Grava bien graduada con arena, con presencia de bolones de un 15.77%
C-10 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	1.40 - 2.60m	GP	Grava mal graduada con arena
C-11 (Barrio Belén)	E-02	0.60 – 2.50m	GW-GM	Grava bien graduada con limo y arena
C-12 (Barrio Belén)	E-03	1.80 - 3.00m	GP	Grava mal graduada con arena

Nota: Fuente, elaboración Propia.

3.8.5 Densidad de campo (ASTM 1556).

Siendo la densidad una de las propiedades físicas del suelo y como se debe de conducir su estudio no solamente involucrando métodos de razonamiento y de procedimiento con propósitos netamente mecánicos, sino el uso de un criterio amplio y práctico de su influencia en el comportamiento de los suelos.

La densidad de campo mediante el método del cono de arena, puede ser usada para determinar la densidad in situ de depósitos de suelos naturales. También puede utilizarse para determinar la densidad y el peso unitario de suelos inalterados, que contengan vacíos naturales o cuando los poros sean lo suficientemente pequeños. El suelo que esté sometido a prueba debe ser lo suficientemente firme para soportar la mínima presión ejercida al momento de cavar el orificio y colocar el equipo sobre él, de tal manera que no se causen deformaciones o desprendimientos.

Para determinar la densidad de campo se ha realizado la excavación manual del hoyo en el suelo que se va a ensayar, todo el material extraído del hoyo se ha depositado en un recipiente. En seguida se ha llenado el hoyo con arena (cono de arena) previamente calibrada y con una densidad conocida, la cual debe fluir libremente, y se determinó el volumen. En seguida se ha calculado la densidad del suelo húmedo, in situ, dividiendo la masa del material húmedo removido por el volumen del hoyo. Así mismo se determinó el contenido de humedad del material extraído del hoyo y se ha realizado el correspondiente cálculo para obtener la masa seca y la densidad seca de campo del suelo, usando la masa húmeda, la humedad y el volumen del hoyo.

En la presente investigación, para determinar la densidad de campo del material en estudio se ha empleado el aparato del cono de arena a profundidades mayores de 2.30 m del nivel de terreno natural en las calicatas C-01 al C-12 (ver figura 33), esto debido a que el material de estudio (suelos granulares, específicamente gravas inmersas en una matriz arenosa) no presenta una cohesión considerable motivo por los que no se ha podido extraer de campo muestras en un estado inalterado.



(a) y (b) Determinación de la densidad de la arena en laboratorio

(c) Determinación de la densidad de campo mediante el cono de arena a una profundidad de 2.50m en la calicata C-01

Figura 33. Ensayo de densidad de campo en una calicata.

En la tabla 20 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de densidad de campo, de los estratos que están involucrados en el tema específico de la investigación, así mismo en el anexo B “Certificados de laboratorio – Densidad de campo” se puede apreciar de manera detallada estos resultados.

Tabla 20.

Resultados de ensayos de densidad de campo

N° calicata	Estrato	Profundidad De - a	Densidad (gr/cm ³)	
			Húmeda	Seca
C-01 (Barrio San Martín)	E-04	2.00 - 3.00m	1.88 gr/cm ³	1.77 gr/cm ³
C-02 (Barrio San Martín)	E-04	1.80 - 3.00m	1.87 gr/cm ³	1.75 gr/cm ³
C-03 (Barrio San Martín)	E-03	1.40 - 2.60m	1.89 gr/cm ³	1.78 gr/cm ³
C-04 (Barrio 25 de Junio)	E-02	0.60 - 3.00m	1.96 gr/cm ³	1.80 gr/cm ³
C-05 (Barrio 25 de Junio)	E-03	0.90 - 2.50m	1.86 gr/cm ³	1.79 gr/cm ³
C-06 (Barrio Central)	E-03	1.20 - 2.80m	2.02 gr/cm ³	1.83 gr/cm ³
C-07 (Barrio 08 de Octubre)	E-04	2.10 - 2.80m	1.89 gr/cm ³	1.82 gr/cm ³
C-08 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	1.50 - 2.80m	1.97 gr/cm ³	1.81 gr/cm ³
C-09 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	1.40 - 2.60m	1.99 gr/cm ³	1.84 gr/cm ³
C-10 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	1.40 - 2.60m	1.95 gr/cm ³	1.77 gr/cm ³
C-11 (Barrio Belén)	E-02	0.60 - 2.50m	1.98 gr/cm ³	1.84 gr/cm ³
C-12 (Barrio Belén)	E-03	1.80 - 3.00m	1.86 gr/cm ³	1.76 gr/cm ³

Nota: Fuente, elaboración propia

3.8.6 Gravedad específica.

Para la determinación de la gravedad específica o peso específico relativo de los sólidos, las pruebas se realizan de distinta manera en la fracción del material retenido en el tamiz de 4.75mm (N°4) y en la porción que pasa dicho tamiz. La gravedad específica de los sólidos de suelo es usado para el cálculo de las relaciones de fase de suelos, tales como relación de vacíos y grado de saturación. Así mismo es usada para calcular la densidad de los sólidos de suelo. En la práctica para determinar la gravedad específica se utiliza el material que pasa el tamiz N°4 mediante un picnómetro de agua. En cambio cuando el suelo contiene partículas más grandes que la malla N° 4, el ensayo se realiza según la NTP 400.021 o MTC E 206.

En la presente investigación el ensayo se ha desarrollado de la siguiente manera: Primero se ha sumergido en agua por 24 horas aproximadamente la muestra de suelo retenido en la malla de 4.75mm esto con la finalidad de llenar los poros esencialmente. En seguida, las partículas se han retirado del agua para secarlos superficialmente y posteriormente se registró el peso. Luego la muestra fue pesada mientras es sumergida en agua. Finalmente, la muestra fue secada al horno y se tomó el peso por tercera vez. Usando los pesos obtenidos se ha determinado la gravedad específica. En la tabla 21 se muestra los resultados obtenidos de dicho ensayo de los estratos que están involucrados en el tema específico de la investigación.

Tabla 21.

Resultados de ensayos de gravedad específica.

N° calicata	Estrato	Profundidad	Gravedad específica
		De - a	
C-01 (Barrio San Martin)	E-04	2.00 - 3.00m	2.48
C-02 (Barrio San Martin)	E-04	1.80 - 3.00m	2.42
C-03 (Barrio San Martin)	E-03	1.40 - 2.60m	2.47
C-04 (Barrio 25 de Junio)	E-02	0.60 - 3.00m	2.45
C-05 (Barrio 25 de Junio)	E-03	0.90 - 2.50m	2.46
C-06 (Barrio Central)	E-03	1.20 - 2.80m	2.46
C-07 (Barrio 08 de Octubre)	E-04	2.10 - 2.80m	2.45
C-08 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	1.50 - 2.80m	2.47
C-09 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	1.40 - 2.60m	2.46
C-10 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	1.40 - 2.60m	2.43
C-11 (Barrio Belén)	E-02	0.60 - 2.50m	2.44
C-12 (Barrio Belén)	E-03	1.80 - 3.00m	2.40

Nota: Fuente, elaboración propia.

3.9 Determinación de la densidad relativa

En la presente investigación, así como se ha venido mencionando anteriormente se han realizado 12 exploraciones a cielo abierto a diferentes profundidades descritas en la tabla 13 del presente capítulo, de donde se extrajeron muestras alteradas para la determinación de algunas de sus propiedades físicas y su correspondiente clasificación. Los materiales en estudio son específicamente suelos granulares de los cuales se determinó el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en función a su densidad relativa. Para la determinación de la densidad relativa se ha desarrollado mediante dos procedimientos y/o métodos las cuales son: Mediante el “ensayo de densidades máximas y mínimas” y mediante los “ensayos de escala reducida” (escalamiento de curvas granulométricas), esto con la finalidad de validar los resultados obtenidos de la metodología propuesta (ensayos de escalareducida).

3.9.1 Determinación de la densidad relativa mediante ensayos de densidades máximas y mínimas.

3.9.1.1 Generalidades.

El ensayo de densidades máximas y mínimas, constituye un procedimiento de laboratorio que es muy usado para la determinación de la densidad relativa, principalmente en suelos granulares. Esta metodología cuenta con una normativa correspondiente (ASTM D 4254 para densidad mínima y ASTM D 4253 para densidad máxima).

La densidad mínima se define como aquella densidad que alcanza un suelo en el estado más suelto que se puede obtener, impidiendo completamente las vibraciones y para lo cual al momento de realizar el ensayo se debe de echar cuidadosamente el suelo dentro de un volumen conocido.

La densidad máxima se define como aquella que alcanza el suelo cuando se le compacta en estado seco y que está asociado al grado más denso.

3.9.1.2 Procedimiento en laboratorio para realizar el ensayo de densidad mínima.

El ensayo de densidad mínima cuenta con normativas (ASTM D 4254, NTP 339.138 y I.N.V. E 136) donde se establecen aspectos a considerarse para el procedimiento en laboratorio, por tanto para determinar la densidad mínima de los suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosas, el orden que se ha seguido es el siguiente:

- Antes de ser ensayada las muestras fueron secadas al horno y almacenadas de una manera adecuada, correctamente etiquetadas de modo que se ha evitado la contaminación con otros materiales, pérdida del suelo o pérdida de identificación.
- Se ha tomado 12.00 kg de muestra representativa es decir con una distribución homogénea del tamaño de partículas.
- En seguida se ha determinado el volumen del molde tomando el promedio de por lo menos tres diámetros internos así como tres mediciones de alturas, luego se registró su correspondiente masa.
- Después se ha colocado el molde en una superficie firme, plana y horizontal con la finalidad de llenar el suelo tan suelto como sea posible con la ayuda de un cucharón, sosteniendo el cucharón por encima de la superficie del suelo para que el material se deslice o caiga libremente a una altura constante; en este caso se han tenido gravas con tamaños de partículas grandes las cuales se mantuvieron con la mano evitando que caigan de la cuchara.
- Durante el proceso de llenado cuando se ha formado un cono de arena de base igual a la boca del molde, es ahí donde el proceso de llenado se ha concluido. Posteriormente se ha enrasado con la finalidad de nivelar la superficie del suelo con la parte superior del molde mediante una pasada continua, en este caso fue necesario sujetar las partículas mayores con la mano para impedir que rueden afuera. Seguidamente se pesó el molde con el suelo, para determinar y registrar la masa seca del suelo que llena el molde.
- Estos procedimientos se repitieron con otra porción de muestra previamente separada, hasta obtener tres o más resultados consistentes y finalmente calcular la densidad mínima.

3.9.1.3 Procedimiento en laboratorio para realizar el ensayo de densidad máxima.

Para el desarrollo del ensayo de la densidad máxima en la presente investigación se utilizó un método alternativo basado en la compactación por medio de un martillo, para lo cual se ha tomado como referencia la NCh 1726 y I.N.V. E136.

Esta metodología se justifica por ser un procedimiento menos complejo y económico comparándolo con la mesa vibradora; más rápido y manuable, lo que facilita su uso, especialmente en cualquier laboratorio de mecánica de suelo. Donde la masa del pisón al caer, no entra en contacto directo con el suelo a compactar, sino con una placa circular, lo que ejerce un efecto vibrante en el suelo. Por tanto el procedimiento que se ha seguido para determinar la densidad máxima de los suelos en estudio (suelos granulares inmersos en una matriz arenosa) es el siguiente:

- Se utilizó el mismo molde para la determinación de la densidad mínima y máxima.
- La muestra tomada anteriormente de 12.00 kg se dividió en cinco porciones aproximadamente iguales.
- En seguida se ha colocado el molde sobre una superficie firme, plana, horizontal y sólida para el correspondiente llenado de la primera porción de suelo.
- Se ha compactado la muestra en el molde en un número de capas de cinco aproximadamente iguales, aplicando a cada una de las capas 50 golpes con la ayuda del martillo. En las cinco capas antes del compactado se ha colocado una placa metálica circular de espesor considerable cuyo diámetro fue igual al diámetro interno del molde, sobre la que ha de golpear el pisón del martillo.
- Después de llenarlo y compactarlo el material en el molde, se ha enrasado cuidadosamente. Luego se determinó y registro la masa, del conjunto correspondiente al molde más el suelo compactado.
- Se ha repetido este procedimiento hasta obtener tres o más resultados consistentes, los ensayos para cada prueba se realizaron con otra porción de suelo preparada previamente. Finalmente se calculó la densidad máxima.

3.9.1.4 Resultados obtenidos de los ensayos de densidades máximas y mínimas.

Para determinar la densidad relativa que presenta un suelo se requiere de tres datos obtenidos de los ensayos de laboratorio y campo. Los cuales son la densidad mínima, densidad máxima y la densidad natural o de campo.

Las densidades mínimas y máximas se han obtenido de laboratorio siguiendo los procedimientos expuestos en el anterior ítem; con respecto a la densidad natural se ha obtenido mediante el ensayo de densidad de campo desarrollada con el equipo de cono de arena.

Reemplazando en la ecuación 5 del capítulo II ítem 2.3.5.3, se ha determinado la densidad relativa en términos de peso específico seco de los suelos en estudio. Los resultados de los ensayos obtenidos con su respectiva descripción del grado de compacidad se muestran en la tabla 22, así mismo en el anexo B “Certificados de Laboratorio – Densidades Máximas y Mínimas” se puede apreciar detalladamente estos resultados.

Tabla 22.

Resultados de la Dr mediante ensayo de densidades máximas y mínimas

N° calicata	Estrato	Profundidad De - a	Tipo de material	Densidad mínima	Densidad máxima	Dr	Densidad del suelo
C-01	E-04	2.00 - 3.00m	GP	1.64 gr/cm ³	2.06 gr/cm ³	37.46 %	Suelto
C-02	E-04	1.80 - 3.00m	GP	1.66 gr/cm ³	2.08 gr/cm ³	26.22 %	Suelto
C-03	E-03	1.40 - 2.60m	GW	1.69 gr/cm ³	2.03 gr/cm ³	31.97 %	Suelto
C-04	E-02	0.60 - 3.00m	GW	1.72 gr/cm ³	2.04 gr/cm ³	30.88 %	Suelto
C-05	E-03	0.90 - 2.50m	GW	1.70 gr/cm ³	2.03 gr/cm ³	32.69 %	Suelto
C-06	E-03	1.20 - 2.80m	GW-GM	1.66 gr/cm ³	2.08 gr/cm ³	46.94 %	Medio
C-07	E-04	2.10 - 2.80m	GW	1.72 gr/cm ³	2.08 gr/cm ³	34.09 %	Suelto
C-08	E-03	1.50 - 2.80m	GW	1.69 gr/cm ³	2.08 gr/cm ³	35.19 %	Suelto
C-09	E-03	1.40 - 2.60m	GW	1.71 gr/cm ³	2.10 gr/cm ³	40.19 %	Medio
C-10	E-03	1.40 - 2.60m	GP	1.69 gr/cm ³	2.07 gr/cm ³	26.26 %	Suelto
C-11	E-02	0.60 - 2.50m	GW-GM	1.69 gr/cm ³	2.08 gr/cm ³	45.18 %	Medio
C-12	E-03	1.80 - 3.00m	GP	1.67 gr/cm ³	2.06 gr/cm ³	29.03 %	Suelto

Nota: Fuente, elaboración propia

3.9.2 Determinación de las densidades relativas mediante ensayos de escala reducida.

3.9.2.1 Generalidades.

Determinar la densidad relativa de un material granular, a partir de correlaciones obtenidas de ensayos a menor escala es una de las alternativas que presenta muchas ventajas, cuyo proceso puede ser desarrollado en cualquier laboratorio de mecánica de suelos.

Inicialmente estudios previos han intentado establecer correlaciones entre el índice de vacíos máximo y el índice vacíos mínimo. Diferentes autores propusieron correlaciones lineales entre estos dos parámetros y un trabajo posterior permitió incluir una correlación similar aplicada en gravas. Además se ha podido identificar tendencias a partir de variaciones en el coeficiente de uniformidad. Para tal efecto estudios anteriores realizaron una búsqueda de estudios de ingeniería geotécnica que tengan datos de densidad máxima, densidad mínima, densidad de campo, peso específico, granulometría y todos los parámetros que podrían ser relevantes. Con toda esta información han generado una base de datos, la cual fue clasificada por tipo de material, tamaño máximo, origen del material, coeficiente de uniformidad, y forma de partículas. De donde se obtienen ecuaciones lineales que permiten determinar la relación de vacíos máximo y la relación de vacíos mínimo en función al coeficiente de uniformidad de las granulometrías escaladas.

3.9.2.2 Correlaciones de coeficiente de uniformidad – relación de vacíos mínimos.

Besio, Dorador y Riquelme mencionan que existe una estrecha relación entre el coeficiente de uniformidad y el índice de vacíos mínimos, quienes proponen correlaciones entre estos parámetros, obteniendo como resultado que el coeficiente de uniformidad (C_u) es inversamente proporcional a la relación de vacíos mínimo (e_{min}) lo que se traduce en que materiales con un alto C_u se asocian a mayores niveles de compactación.

En la figura 34 se presenta una correlación entre el C_u y e_{min} para materiales con una forma de partículas de subredondeadas a redondeadas (sr-r) y de subangulares a angulares (sa-a), donde el límite superior representa los valores asociados a materiales sub angulares a angulares y el límite inferior a materiales subredondeada a redondeadas. Además se observa

una tercera correlación la cual puede ser utilizada cuando no se tiene información disponible acerca de la forma de partícula que posee el material a analizar.

A continuación se presentan las correlaciones:

- Correlación para materiales con forma de partículas subangulares a angulares (sa-a).

$$e_{min} = 0.785 C_u^{-0.302} \quad (10)$$

- Correlación para materiales con forma de partículas subredondeadas a redondeadas (sr-r)

$$e_{min} = 0.563 C_u^{-0.294} \quad (11)$$

- Correlación para materiales que no se tienen la información con respecto a su forma de partículas.

$$e_{min} = 0.701 C_u^{-0.304} \quad (12)$$

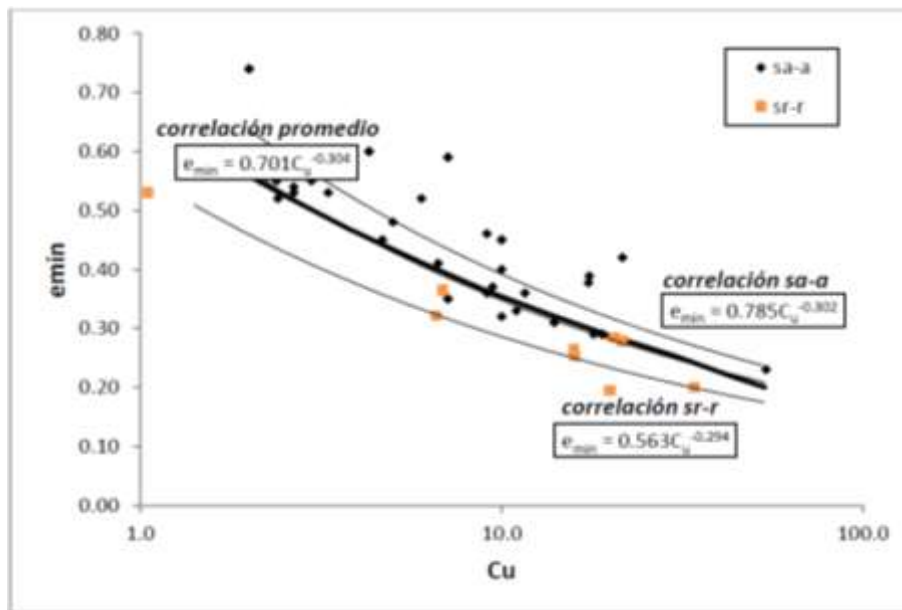


Figura 34. Correlaciones para $C_u - e_{min}$, tomada de Riquelme y Dorador, 2014.

3.9.2.3 Correlaciones de relación de vacíos mínimo - relación de vacíos máximo.

De la Hoz, Dorador y Besio en sus investigaciones desarrolladas utilizaron clasificaciones por tamaño máximo de partículas, de donde Riquelme y Dorador proponen las siguientes correlaciones para $e_{min} - e_{max}$ (ver figura 35) donde realiza un ajuste lineal, de acuerdo a la tendencia identificada por otros autores, y establece una banda donde el límite superior representa los valores asociados al tamaño máximo de partículas superiores a 38.1mm (1 1/2") y el límite inferior representa los valores asociados al tamaño máximo de partículas hasta 19.1mm (3/4").

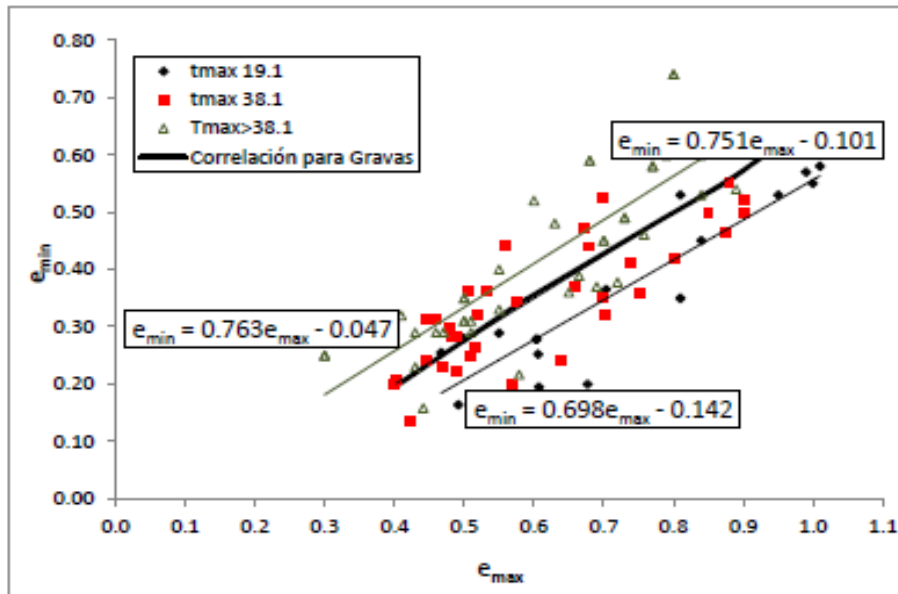


Figura 35. Correlaciones para $e_{min} - e_{max}$, tomada de Riquelme y Dorador, 2014.

A continuación se presentan las correlaciones:

- Correlación para un tamaño máximo de partículas de 19.1mm

$$e_{min} = 0.698 e_{max} - 0.142 \quad (13)$$

- Correlación para un tamaño máximo de partículas mayores que 38.1mm

$$e_{min} = 0.763 e_{max} - 0.047 \quad (14)$$

- Correlación promedio.

$$e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101 \quad (15)$$

3.9.3 Metodología para estimar la densidad relativa en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida.

A partir de las correlaciones mencionadas anteriormente, se propone una metodología para estimar la densidad relativa de los suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa, los cuales no pueden ser ensayados con aparatos convencionales según los métodos estándares, los pasos a seguir se presentan a continuación:

3.9.3.1 Paso 01: Clasificación de las muestras.

Este paso consiste en realizar una identificación de algunas de sus propiedades del material a estudiar, mediante el desarrollo de ensayos in situ (densidad de campo) y de laboratorio (granulometría y gravedad específica) en este caso del material original (material granular), las cuales fueron encontradas en las calicatas seleccionadas realizadas en el distrito de Santa Lucia a profundidades mayores. En la tabla 23 se presenta los resultados de las propiedades de los materiales ensayados.

Con respecto a la relación de vacíos o índice de vacíos se ha determinado haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$e = \frac{G_s * \gamma_w}{\gamma_d} - 1 \quad (16)$$

Donde:

G_s : Gravedad específica o peso específico.

γ_w : Peso específico del agua.

γ_d : Densidad seca de campo.

Reemplazando para el primer dato de la tabla 23 que corresponde a la muestra en estudio de la calicata 01 se obtiene la relación de vacíos de 0.40, con una gravedad específica de 2.48 y una densidad de campo de 1.77 gr/cm³, así como se muestra:

$$e = \frac{2.48 * 1}{1.77} - 1 = 0.401$$

Tabla 23.

Propiedades del material original

N° calicata	Estrato	Gravedad específica Gs)	Densidad de campo (γ_d)	Relación de vacíos (e)
C-01 (Barrio San Martín)	E-04	2.48	1.77 gr/cm ³	0.40
C-02 (Barrio San Martín)	E-04	2.42	1.75 gr/cm ³	0.38
C-03 (Barrio San Martín)	E-03	2.47	1.78 gr/cm ³	0.39
C-04 (Barrio 25 de Junio)	E-02	2.45	1.80 gr/cm ³	0.36
C-05 (Barrio 25 de Junio)	E-03	2.46	1.79 gr/cm ³	0.37
C-06 (Barrio Central)	E-03	2.46	1.83 gr/cm ³	0.34
C-07 (Barrio 08 de Octubre)	E-04	2.45	1.82 gr/cm ³	0.35
C-08 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	2.47	1.81 gr/cm ³	0.37
C-09 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	2.46	1.84 gr/cm ³	0.33
C-10 (Barrio 08 de Octubre)	E-03	2.43	1.77 gr/cm ³	0.37
C-11 (Barrio Belén)	E-02	2.44	1.84 gr/cm ³	0.32
C-12 (Barrio Belén)	E-03	2.40	1.76 gr/cm ³	0.36

Nota: Fuente, elaboración propia

3.9.3.2 Paso 02: Escalamiento de curvas granulométricas.

En este paso, se realiza el escalamiento de las curvas granulométricas, similar al de las curvas homotéticas, pero con algunas modificaciones.

Se requiere que la curva granulométrica original es decir la obtenida del ensayo de análisis granulométrico sea escalada a tamaños máximos de 38.1mm (1 ½”), 19.1mm (3/4”) y 4.76 mm (N°4), es decir se obtienen tres nuevas curvas granulométricas, esto sin incluir la curva granulométrica original.

Para realizar este escalamiento, se fija el tamaño mínimo de la granulometría original que es de 0.075 mm (N°200) para todas las curvas escaladas, a su vez el tamaño máximo (d_{max}) se traslada en el eje de la abscisa hacia los tres tamaños máximos mencionados anteriormente y así los diferentes tamaños de las partículas de la granulometría original se reducen de manera proporcional al tamaño que estas poseen, tal como se observa en la figura 36 cuya granulometría pertenece a la C-01. El resultado de este escalamiento son tres nuevas granulometrías con diferentes coeficientes de uniformidad cuyos resultados se muestra en la tabla 24, de las demás muestras las granulometrías escaladas se muestran en el anexo A.

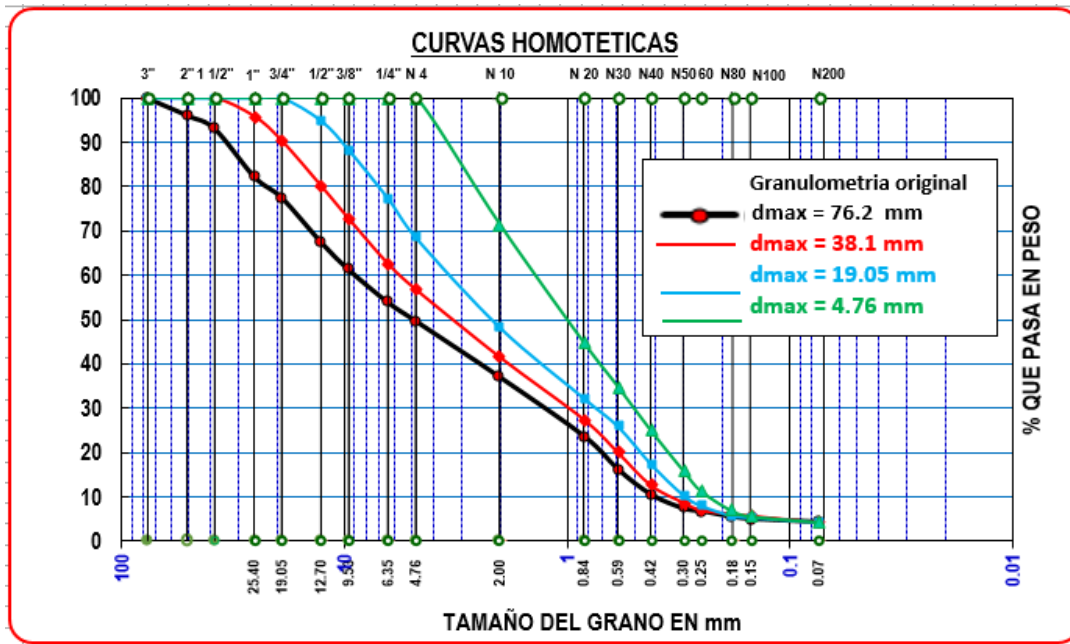


Figura 36. Escalamiento de curvas granulométricas.

Para determinar el coeficiente de uniformidad se requiere de los diámetros correspondientes al 10% y 60% de finos en las curvas granulométricas, la cual se determina reemplazando en la ecuación 3 presentada en el ítem 2.3.5.2 del capítulo II; a continuación se muestra el cálculo del D_{10} y D_{60} correspondiente a la C-01 con un tamaño máximo de partícula de 4.76mm, para el primer caso de la tabla 24.

$$D_{10} = 0.25 - \frac{(11.44-10)(0.25-0.18)}{11.44-6.85} = 0.23$$

$$D_{60} = 2.0 - \frac{(71.35-60)(2.0-0.84)}{71.35-44.85} = 1.50$$

Una vez obtenidas los resultados del D_{10} y D_{60} , reemplazando en la ecuación 1 presentada en el ítem 2.3.5.2 del capítulo II se obtiene el coeficiente de uniformidad de la siguiente manera:

$$Cu = \frac{1.50}{0.23} = 6.59$$

En la tabla 24 se presentan los resultados obtenidos de D_{10} , D_{60} y Cu para las tres curvas escaladas con diferentes tamaños máximos de las doce muestras en estudio.

Tabla 24.

Coefficiente de uniformidad de granulometrías escaladas

N° calicata	Estrato	Profundidad	Tipo de material	dmax (mm)	D10	D60	Cu
		De - a					
C-01	E-04	2.00 - 3.00m	GP	4.76	0.228	1.50	6.59
				19.1	0.278	3.55	12.77
				38.1	0.335	5.66	16.87
C-02	E-04	1.80 - 3.00m	GP	4.76	0.200	3.40	17.05
				19.1	0.391	9.98	25.50
				38.1	0.576	19.66	34.13
C-03	E-03	1.40 - 2.60m	GW	4.76	0.208	1.75	8.42
				19.1	0.298	4.90	16.45
				38.1	0.378	8.53	22.57
C-04	E-02	0.60 - 3.00m	GW	4.76	0.210	2.01	9.59
				19.1	0.302	6.09	20.19
				38.1	0.356	10.48	29.48
C-05	E-03	0.90 - 2.50m	GW	4.76	0.182	2.00	11.01
				19.1	0.254	5.06	19.95
				38.1	0.349	8.85	25.35
C-06	E-03	1.20 - 2.80m	GW-GM	4.76	0.146	1.99	13.59
				19.1	0.189	4.71	24.90
				38.1	0.235	7.62	32.37
C-07	E-04	2.10 - 2.80m	GW	4.76	0.224	5.78	25.84
				19.1	0.308	9.08	29.50
				38.1	0.397	17.14	43.21
C-08	E-03	1.50 - 2.80m	GW	4.76	0.422	2.55	6.04
				19.1	0.598	7.80	13.04
				38.1	0.766	14.78	19.30
C-09	E-03	1.40 - 2.60m	GW	4.76	0.172	2.86	16.61
				19.1	0.250	10.00	39.91
				38.1	0.541	17.98	33.22
C-10	E-03	1.40 - 2.60m	GP	4.76	0.232	2.34	10.12
				19.1	0.299	6.61	22.06
				38.1	0.363	11.57	31.86
C-11	E-02	0.60 - 2.50m	GW-GM	4.76	0.088	2.41	27.53
				19.1	0.162	6.39	39.35
				38.1	0.204	11.53	56.61
C-12	E-03	1.80 - 3.00m	GP	4.76	0.168	2.73	16.21
				19.1	0.252	7.44	29.57
				38.1	0.313	12.49	39.93

Nota: Fuente, elaboración propia

3.9.3.3 Paso 03: Uso de correlación coeficiente de uniformidad – relación de vacíos mínimo.

Con el coeficiente de uniformidad obtenido de cada curva escalada se ha determinado la relación de vacíos mínimo a través de la ecuación 12 presentada en el ítem 3.9.2.2 cuya correlación corresponde para materiales que no se tienen la información con respecto a su forma de partículas.

$$e_{min} = 0.701(6.59)^{-0.304} = 0.395$$

La relación de vacíos mínimo obtenido para la muestra de la C-01, para una curva escalada con un tamaño máximo de partícula de 4.76mm es de 0.395; con respecto a los resultados obtenidos de las demás muestras se presentan en la tabla 25 y de forma detallada se muestra en el anexo A “densidades relativas obtenidas mediante ensayos de escala reducida”.

3.9.3.4 Paso 04: Uso de correlación relación de vacíos mínimo – relación de vacíos máximo.

Usando el valor de la relación de vacíos mínimo obtenido anteriormente se ha determinado la relación de vacíos máximo, despejando la ecuación 15 presentada en el ítem 3.9.2.3, se tiene lo siguiente:

$$e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$$
$$e_{max} = \frac{e_{min} + 0.101}{0.751} \quad (17)$$

Reemplazando en la ecuación 17 para la C-01 para una curva escalada con un tamaño máximo de partícula de 4.76mm la relación de vacíos máximo obtenido es el siguiente dato.

$$e_{max} = \frac{0.395 + 0.101}{0.751} = 0.660$$

Con respecto a los resultados obtenidos de las relaciones de vacíos máximos para diferentes tamaños máximos de las doce muestras en estudio se presentan en la tabla 25 y en el anexo A “densidades relativas obtenidas mediante ensayos de escala reducida”.

Tabla 25.

Relación de vacíos máximos y mínimos de las granulometrías escaladas

N° calicata	Estrato	Profundidad	Tipo de material	dmax (mm)	e_{min}	e_{max}
		De - a				
C-01	E-04	2.00 - 3.00m	GP	4.76	0.395	0.660
				19.1	0.323	0.565
				38.1	0.297	0.530
C-02	E-04	1.80 - 3.00m	GP	4.76	0.296	0.529
				19.1	0.262	0.483
				38.1	0.240	0.454
C-03	E-03	1.40 - 2.60m	GW	4.76	0.367	0.623
				19.1	0.299	0.533
				38.1	0.272	0.496
C-04	E-02	0.60 - 3.00m	GW	4.76	0.352	0.604
				19.1	0.281	0.509
				38.1	0.251	0.468
C-05	E-03	0.90 - 2.50m	GW	4.76	0.338	0.585
				19.1	0.282	0.510
				38.1	0.262	0.484
C-06	E-03	1.20 - 2.80m	GW-GM	4.76	0.317	0.557
				19.1	0.264	0.486
				38.1	0.244	0.459
C-07	E-04	2.10 - 2.80m	GW	4.76	0.261	0.482
				19.1	0.251	0.468
				38.1	0.223	0.432
C-08	E-03	1.50 - 2.80m	GW	4.76	0.406	0.675
				19.1	0.321	0.562
				38.1	0.285	0.514
C-09	E-03	1.40 - 2.60m	GW	4.76	0.298	0.532
				19.1	0.228	0.439
				38.1	0.242	0.456
C-10	E-03	1.40 - 2.60m	GP	4.76	0.347	0.596
				19.1	0.274	0.499
				38.1	0.245	0.460
C-11	E-02	0.60 - 2.50m	GW-GM	4.76	0.256	0.475
				19.1	0.229	0.440
				38.1	0.205	0.408
C-12	E-03	1.80 - 3.00m	GP	4.76	0.301	0.535
				19.1	0.250	0.468
				38.1	0.229	0.439

Nota: Fuente, elaboración propia.

3.9.3.5 Paso 05: Construcción del gráfico tamaño máximo versus índice de vacíos.

Usando los valores de relaciones de vacíos mínimos y máximos determinados anteriormente se ha construido un gráfico de tamaño máximo (d_{max}) versus el índice de vacíos (e) en seguida se realizó un ajuste potencial para ambos casos, como se muestra en la figura 37, de donde se obtiene la relación e_{min} y e_{max} correspondiente al material original.

$$y = 0.7789 * x^{-0.107}$$

$$y = 0.4892 * x^{-0.138}$$

Donde:

y = representa la relación de vacíos máximo.

y = representa la relación de vacíos mínimo.

x = representa al tamaño máximo de partícula de la muestra de suelo en estudio.

Reemplazando datos para el caso particular de la muestra de la C-01 donde el tamaño máximo de la granulometría original es de 3" (76.2 mm) se tiene:

$$e_{max} = 0.7789 * 76.2^{-0.107} = 0.490$$

$$e_{min} = 0.4892 * 76.2^{-0.138} = 0.269$$

Los gráficos de las demás muestras en estudio se muestran en el anexo A.

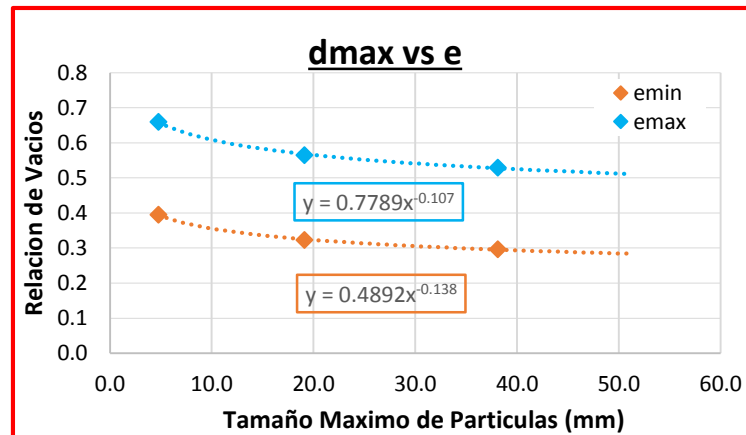


Figura 37. Gráfico d_{max} vs e

3.9.3.6 Paso 06: Extrapolación y obtención de la densidad relativa.

Con el ajuste realizado en el punto 3.9.3.5 y el tamaño máximo de partícula de la granulometría original se obtienen los valores de relaciones de vacíos máximos y mínimos buscados, los cuales se muestran en la tabla siguiente 26 y en el anexo A.

Tabla 26.

Relación de vacíos máximos y mínimos de la granulometría original

N° calicata	Estrato	Profundidad De - a	Tipo de material	dmax		e_{min}	e_{max}
				(mm)	(pulg.)		
C-01	E-04	2.00 - 3.00m	GP	76.2	3"	0.269	0.490
C-02	E-04	1.80 - 3.00m	GP	76.2	3"	0.226	0.438
C-03	E-03	1.40 - 2.60m	GW	76.2	3"	0.246	0.458
C-04	E-02	0.60 - 3.00m	GW	76.2	3"	0.224	0.429
C-05	E-03	0.90 - 2.50m	GW	76.2	3"	0.240	0.452
C-06	E-03	1.20 - 2.80m	GW-GM	76.2	3"	0.222	0.428
C-07	E-04	2.10 - 2.80m	GW	101.6	4"	0.215	0.420
C-08	E-03	1.50 - 2.80m	GW	101.6	4"	0.241	0.452
C-09	E-03	1.40 - 2.60m	GW	101.6	4"	0.205	0.405
C-10	E-03	1.40 - 2.60m	GP	76.2	3"	0.218	0.421
C-11	E-02	0.60 - 2.50m	GW-GM	76.2	3"	0.195	0.394
C-12	E-03	1.80 - 3.00m	GP	76.2	3"	0.208	0.411

Nota: Fuente, elaboración propia

Para determinar la densidad relativa se ha realizado en un rango de relaciones de vacíos, por lo tanto reemplazando valores en la ecuación 4 presentada en el ítem 2.3.5.3 se ha calculado el valor la densidad relativa (D_r), así como se muestra en seguida:

$$D_r (\%) = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} * 100\%$$

Reemplazando datos en la ecuación anterior para la muestra correspondiente a la C-01 (primer dato tabla 27) se tiene:

$$D_r (\%) = \frac{0.49 - 0.40}{0.49 - 0.27} * 100 = 40.50\%$$

En la tabla 27 se muestran los resultados obtenidos de las densidades relativas de los doce suelos en estudio con su respectiva descripción del grado de compacidad.

Tabla 27.

Resultados de la Dr mediante el método de escalamiento de curvas granulométricas

N° calicata	Estrato	Profundidad	Tipo de material	Dr	Densidad del suelo
		De - a			
C-01	E-04	2.00 - 3.00m	GP	40.50 %	Medio
C-02	E-04	1.80 - 3.00m	GP	26.54 %	Suelto
C-03	E-03	1.40 - 2.60m	GW	33.77 %	Suelto
C-04	E-02	0.60 - 3.00m	GW	36.64 %	Suelto
C-05	E-03	0.90 - 2.50m	GW	38.28 %	Suelto
C-06	E-03	1.20 - 2.80m	GW-GM	43.60 %	Medio
C-07	E-04	2.10 - 2.80m	GW	36.37 %	Suelto
C-08	E-03	1.50 - 2.80m	GW	38.60 %	Suelto
C-09	E-03	1.40 - 2.60m	GW	36.92 %	Suelto
C-10	E-03	1.40 - 2.60m	GP	26.59 %	Suelto
C-11	E-02	0.60 - 2.50m	GW-GM	37.02 %	Suelto
C-12	E-03	1.80 - 3.00m	GP	24.01 %	Suelto

Nota: Fuente, elaboración propia

3.10 Determinación del ángulo de fricción (ϕ)

Gonzales de Celis, De Barcia, Sulbaran y Ucar (2014) indican que el ángulo de fricción depende esencialmente de factores como la compacidad del material, de la forma de los granos y de su granulometría.

Por otro lado, conociendo el valor de la densidad relativa de los suelos granulares es posible conocer el valor del ángulo de fricción esto de acuerdo al estado de empaquetamiento.

Tabla 28.

Relación entre la Dr y el ángulo de fricción de suelos sin cohesión

Estado del empaquetamiento	Densidad relativa (%)	Ángulo de fricción (°)
Muy suelta	<20	< 30
Suelta	20-40	30-35
Compacto	40-60	35-40
Denso	60-80	40-45
Muy denso	>80	>45

Nota: Tomada de Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja 2011

Para determinar el ángulo de fricción a partir de su densidad relativa en los suelos granulares, en la actualidad se cuenta con una gran variedad de correlaciones; entre las que son más utilizadas en nuestro medio se muestran a continuación:

Tabla 29.

Correlaciones para determinar el ángulo de fricción en función a su densidad relativa

Correlaciones propuestas	Autor
$\phi = 25^\circ + 0.15 Dr (\%)$	Meyerhof (% que pasa N°200 > 5%) 1956
$\phi = 30^\circ + 0.15 Dr (\%)$	Meyerhof (% que pasa N°200 < 5%) 1956
$\phi = Arc \tan \left[0.575 + 0.361 * \left[\frac{Dr (\%)}{100} \right]^{0.866} \right]$	Giuliani Nicoll (1982)
$\phi = Arc \tan \left[\frac{0.38 * Dr\% + 62}{100} \right]$	Gonzales de Celis (2014) "mínimos cuadrados"

Nota: Dr=Densidad relativa; ϕ =Ángulo de fricción. Tomada de Crespo 2004, Gonzales de Celis y otros 2014.

Analizando cada una de las ecuaciones mencionadas anteriormente, la ecuación de Meyerhof tiene dos restricciones respecto a su contenido de finos (% que pasa N° 200) en el uso de sus ecuaciones. Una para porcentajes de finos mayores al 5% y otra para valores menores al 5%. Ahora la correlación propuesta por Giuliani corresponde para materiales que presentan un porcentaje de finos mayores del 5%, la cual no se ajusta a algunas de las muestras ensayadas del presente estudio.

Así mismo cabe señalar que, de años atrás se han venido realizando diferentes investigaciones respecto a la determinación del ángulo de fricción en función a su densidad relativa, como es el caso de Gonzales de Celis en el 2014 ha realizado un análisis respecto a ello, donde desarrolla ensayos de corte directo y ensayos de densidades máximas y mínimas para obtener el ángulo de fricción y comparar los resultados obtenidos, respecto a las correlaciones propuestas por Meyerhof y Giuliani. En base a ese análisis Gonzales de Celis presenta una nueva correlación (ver tabla 29) para la determinación del ángulo de fricción denominado como el método de "mínimos cuadrados".

Al haber desarrollado este análisis Gonzales de Celis ha llegado a la conclusión que los valores del ángulo de fricción obtenidos a partir de la correlación propuesta por el mismo

investigador (método de mínimos cuadrados), son similares a los obtenidos por el ensayo de corte directo. Del mismo modo se ha observado que dicha correlación propuesta presenta una diferencia mayor respecto a los valores de Meyerhof, siendo esta diferencia de 5° a 6° aproximadamente, la cual es una diferencia notoria de consideración; con respecto a la ecuación de Giuliani tiene una variación de 1° a 2° siendo esta una diferencia más aceptable. Además cabe mencionar que Gonzales de Celis realizó este análisis con suelos más integrales en cuanto a proporciones de gravas y arenas, las mismas que se tienen en el presente estudio.

En la tabla 30 se presenta un ejemplo en particular donde se obtienen el ángulo de fricción mediante diferentes correlaciones en función a sus densidades relativas, donde se puede apreciar o corroborar la diferencia significativa entre las diferentes correlaciones.

Tabla 30.

Cuadro comparativo de la obtención del ángulo de fricción a partir de ensayos en laboratorio y correlaciones propuestas por Gonzales de Celis, Meyerhof y Giuliani

Densidad Relativa Dr (%)	Angulo de fricción			
	$\phi_{\text{corte directo}}$	ϕ_{Gonzales}	ϕ_{Meyerhof}	ϕ_{Giuliani}
95.28	45°	44°	39	43°
79.72	43°	43°	37	41°
69.56	41°	41°	35	40°
18.95	35°	35°	28	33°

Nota: Tomada de Artículo de Investigación: Determinación del Angulo de fricción y su relación con la densidad relativa y relación de vacíos, Gonzales de Celis et. al 2014.

Después de realizar el análisis de las correlaciones propuestas por diferentes investigadores, en la presente investigación para determinar el ángulo de fricción de las doce muestras en estudio de clasificaciones GW, GP y GW-GM se ha utilizado la correlación propuesta por Gonzales de Celis, en vista de que se tiene materiales granulares con un porcentaje de finos mínimo. Por ejemplo, para la muestra de la calicata 01 de clasificación GP que presenta una densidad relativa de 37.46% obtenida mediante los ensayos de escala reducida, el ángulo de fricción que presenta el material es:

$$\phi = \text{Arc tan} \left[\frac{0.38 * 40.50 \% + 62}{100} \right] = 37.74^\circ$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Generalidades

En este capítulo se desarrolla el análisis y discusión de los resultados obtenidos durante el proceso de la investigación. Considerándose una de las etapas más importantes y relevantes puesto que permitió validar o rechazar las hipótesis planteadas en la presente investigación.

Primeramente, se muestran los resultados obtenidos de las densidades relativas mediante ensayos de escala reducida y mediante el ensayo de densidades máximas y mínimas.

En seguida se detalla los resultados obtenidos del parámetro de resistencia al corte ángulo de fricción mediante su densidad relativa a través de una ecuación matemática directa seleccionada y evaluada.

Finalmente se realiza las pruebas de hipótesis, las cuales son aceptadas o rechazadas según los resultados que se obtuvieron al final de la prueba.

4.2 Resultados de los ensayos de laboratorio

4.2.1 Resultados de los ensayos de caracterización de suelos.

A continuación, en la tabla 31 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados de caracterización de suelos (C-01 a C-12) que corresponden a; análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Adicionalmente se adjunta en la tabla el contenido de humedad, la densidad seca de campo, gravedad específica y la clasificación de suelos según el SUCS.

Tabla 31.

Resumen de resultados de ensayos de laboratorio

N° Calicata	N° Estrato	Profundidad de Muestra	Características Granulométricas y de Plasticidad								Contenido de humedad (%)	Densidad de campo (gr/cm ³)	Peso específico	Clasificación SUCS	
			%Gravas	%Arenas	%Finos	Cu	Cc	LL	LP	IP				Símbolo	Nombre
C-01	E-04	2.00 - 3.00m	50.62%	45.34%	4.04%	21.9	0.54	NP	NP	NP	6.05	1.77	2.48	GP	Grava mal graduada con arena
C-02	E-04	1.80 - 3.00m	78.02%	18.99%	2.99%	46.64	4.04	NP	NP	NP	6.44	1.75	2.42	GP	Grava mal graduada con arena
C-03	E-03	1.40 - 2.60m	60.13%	36.55%	3.32%	31.42	1.00	NP	NP	NP	5.68	1.78	2.47	GW	Grava bien graduada con arena
C-04	E-02	0.60 - 3.00m	64.97%	31.09%	3.94%	39.17	1.32	NP	NP	NP	8.66	1.80	2.45	GW	Grava bien graduada con arena
C-05	E-03	0.90 - 2.50m	64.23%	33.25%	2.52%	37.16	1.76	NP	NP	NP	3.64	1.79	2.46	GW	Grava bien graduada con arena
C-06	E-03	1.20 - 2.80m	60.45%	33.58%	5.97%	43.53	2.06	NP	NP	NP	10.06	1.83	2.46	GW-GM	Grava bien graduada con limo y arena
C-07	E-04	2.10 - 2.80m	71.58%	27.01%	1.41%	81.32	2.05	NP	NP	NP	3.85	1.82	2.45	GW	Grava bien graduada con arena, con presencia de bolones en un 23.47%
C-08	E-03	1.50 - 2.80m	75.78%	21.97%	2.25%	24.57	1.0	NP	NP	NP	8.91	1.81	2.47	GW	Grava bien graduada con arena, con presencia de bolones en un 7.08%
C-09	E-03	1.40 - 2.60m	78.77%	17.94%	3.29%	32.40	1.05	NP	NP	NP	7.68	1.84	2.46	GW	Grava bien graduada con arena, con presencia de bolones en un 15.77%
C-10	E-03	1.40 - 2.60m	75.58%	20.82%	3.60%	40.85	4.33	NP	NP	NP	9.73	1.77	2.43	GP	Grava mal graduada con arena
C-11	E-02	0.60 - 2.50m	59.92%	31.01%	9.07%	137.6	1	NP	NP	NP	7.2	1.84	2.44	GW-GM	Grava bien graduada con limo y arena
C-12	E-03	1.80 - 3.00m	75.17%	21.00%	3.83%	58.34	4.92	NP	NP	NP	5.67	1.76	2.40	GP	Grava mal graduada con arena

Nota: Fuente, elaboración propia.

4.2.2 Resultados de la densidad relativa obtenido de los ensayos de escala reducida y las densidades máximas y mínimas.

De los ensayos de escala reducida y las densidades máximas y mínimas se han obtenido resultados de densidades relativas que presentan los suelos granulares en términos de relaciones de vacíos y densidades. Los mismos que han sido detallados en el capítulo anterior, obteniéndose en estados de suelto a medio. A continuación se presentan como resumen los resultados obtenidos.

Tabla 32.

Resultados obtenidos de laboratorio de los ensayos de escala reducida y densidades máximas y mínimas

N° DE CALICATA	ESTRATO	PROFUNDIDAD	TIPO DE MATERIAL	DENSIDAD RELATIVA	
		De - a		Ensayos de escala reducida	Densidades máximas y mínimas
C-01	E-04	2.00 - 3.00m	GP	40.50%	37.46%
C-02	E-04	1.80 - 3.00m	GP	26.54%	26.22%
C-03	E-03	1.40 - 2.60m	GW	33.77%	31.97%
C-04	E-02	0.60 - 3.00m	GW	34.64%	30.88%
C-05	E-03	0.90 - 2.50m	GW	38.28%	32.69%
C-06	E-03	1.20 - 2.80m	GW-GM	43.60%	46.94%
C-07	E-04	2.10 - 2.80m	GW	36.37%	34.09%
C-08	E-03	1.50 - 2.80m	GW	38.60%	35.19%
C-09	E-03	1.40 - 2.60m	GW	36.92%	40.19%
C-10	E-03	1.40 - 2.60m	GP	26.59%	26.26%
C-11	E-02	0.60 - 2.50m	GW-GM	37.02%	45.18%
C-12	E-03	1.80 - 3.00m	GP	24.01%	29.03%

Nota: Fuente, elaboración propia.

4.3 Resultados obtenidos del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del ángulo de fricción en función a su densidad relativa, a través de la ecuación de Gonzales de Celis (método de mínimos cuadrados).

Tabla 33.

Resultados de ángulos de fricción a partir de su densidad relativa de los suelos en estudio

N° calicata	ESTRATO	Profundidad	Tipo de material	Ángulo de fricción	
		De - a		Ensayos de escala reducida	Densidades máximas y mínimas
C-01	E-04	2.00 - 3.00m	GP	37.74°	37.32°
C-02	E-04	1.80 - 3.00m	GP	35.79°	35.74°
C-03	E-03	1.40 - 2.60m	GW	36.81°	36.56°
C-04	E-02	0.60 - 3.00m	GW	36.93°	36.40°
C-05	E-03	0.90 - 2.50m	GW	37.43°	36.66°
C-06	E-03	1.20 - 2.80m	GW-GM	38.16°	38.60°
C-07	E-04	2.10 - 2.80m	GW	37.17°	36.85°
C-08	E-03	1.50 - 2.80m	GW	37.48°	37.01°
C-09	E-03	1.40 - 2.60m	GW	37.25°	37.69°
C-10	E-03	1.40 - 2.60m	GP	35.79°	35.75°
C-11	E-02	0.60 - 2.50m	GW-GM	37.26°	38.37°
C-12	E-03	1.80 - 3.00m	GP	35.42°	36.14°

Nota: Fuente, elaboración propia.

4.4 Prueba de hipótesis

Hernández et. al (2014) puntualizan que "las hipótesis, en el enfoque cuantitativo, se someten a prueba en la realidad cuando se implementa un diseño de investigación, se recolectan datos con uno o varios instrumentos de medición, y se analizan e interpretan esos mismos datos".

Las hipótesis son proposiciones tentativas acerca de las relaciones entre dos o más variables, y se apoyan en conocimientos organizados y sistematizados.

Por otro lado, la prueba de hipótesis es un procedimiento basado en el análisis de la muestra de una población y la teoría de la probabilidad; su uso es determinante para la validación de una hipótesis.

Así mismo cabe señalar que una hipótesis estadística es una aseveración respecto a una o más variables aleatorias o poblaciones. La verdad o falsedad de una hipótesis estadística nunca se sabe con absoluta certeza, a menos que se examine toda la población,

lo cual, por supuesto sería poco práctico en la mayoría de las situaciones. En vez de eso se toma una muestra aleatoria de la población de interés y se utilizan los datos contenidos en ella para proporcionar evidencia que respalde o no a la hipótesis. La evidencia de la muestra que es inconsistente con la hipótesis planteada conduce al rechazo de la misma. (Walpole, Myers, Myers y Ye k., 2012)

Según Moya y Saravia (2007) indican que “la prueba de hipótesis estadística es quizás el área más importante de la teoría de decisión. Por lo mismo es una regla que cuando los valores experimentales son observados nos conducen a una decisión de no rechazar (aceptar) o rechazar la hipótesis bajo consideración.

Ante lo expuesto, para verificar si la afirmación dada es decir el planteamiento de las hipótesis en la presente investigación es correcta y razonable se hace uso de los datos obtenidos, con las cuales mediante un análisis estadístico se tomará la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis planteada.

Una prueba estadística de hipótesis está formada de cinco partes, el mismo que puede expresarse mediante el siguiente proceso:

- Paso 01: Plantear la hipótesis nula y la hipótesis alterna.
- Paso 02: Seleccionar el nivel de significancia.
- Paso 03: Identificar o seleccionar el estadístico de prueba.
- Paso 04: Formular la regla de decisión.
- Paso 05: Tomar una decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula.

En la presente investigación se adopta el mismo procedimiento para validar las hipótesis propuestas.

4.4.1 Paso 01: Plantear la hipótesis nula y la hipótesis alterna.

La estructura de la prueba de hipótesis se establece usando el término hipótesis nula, el cual se refiere a cualquier hipótesis que se desea probar y se denota con “ H_0 ”. El rechazo de una hipótesis nula conduce a la aceptación de una hipótesis alterna, que se denota con “ H_a ”.

La comprensión de las diferentes funciones que desempeñan la hipótesis nula y la hipótesis alterna es fundamental para entender los principios de las pruebas de hipótesis.

La hipótesis alterna se formula con menos precisión, por lo general representa la pregunta que se responderá o la teoría que se probará, por lo que su especificación es muy importante. La hipótesis nula generalmente es especificada en forma exacta; es decir la hipótesis nula *anula* o se *opone* a la hipótesis alterna y a menudo es el complemento lógico de la hipótesis alterna.

Moya y Saravia (2007) expresan que “en una terminología de prueba, hablamos de probar la hipótesis nula contra una hipótesis alterna en el supuesto tentativo que la hipótesis nula es cierta. Pero debemos comprender que realmente estamos tomando una decisión entre dos acciones una hipótesis nula y una hipótesis alterna”.

Hay dos tipos principales de pruebas, cada uno de los cuales es identificado por la forma en que se formulan la hipótesis nula y la hipótesis alterna, las cuales son las pruebas unilaterales y las pruebas bilaterales.

4.4.1.1 Pruebas unilateral o de una cola.

Estas pueden ser:

- **Prueba de una cola inferior o prueba del lado izquierdo:** Para la cual las hipótesis toman la siguiente forma:

$$H_0: u = u_0 \quad H_a: u < u_0$$

Este tipo de prueba se emplea cuando se tiene alguna evidencia que el parámetro no es igual al valor postulado, sino que debe ser menor.

- **Prueba de una cola superior o prueba del lado derecha:** En este caso las hipótesis suelen expresarse de la siguiente forma:

$$H_0: u = u_0 \quad H_a: u > u_0$$

Este tipo de prueba se emplea en problemas en que se tiene algún indicio que el parámetro no es igual al valor postulado, sino debe ser mayor que el postulado.

4.4.1.2 Pruebas bilaterales o de dos colas.

En este caso las hipótesis toman la siguiente forma:

$$H_0: u = u_0 \quad H_a: u \neq u_0$$

Este tipo de prueba se emplea, en el caso que el valor que se prueba no sea verdadera; entonces todos los demás valores son posibles.

4.4.2 Paso 02: Seleccionar el nivel de significancia.

Hernández et. al (2010) mencionan que “el nivel de significancia también denominado como nivel alfa (α), representa un nivel de la probabilidad de equivocarse” es decir es un valor de certeza que el investigador fija a priori, respecto a no equivocarse.

Existen dos niveles de significancia más utilizados por los investigadores, los cuales se muestran a continuación:

El nivel de significancia de 0.05, el cual implica que el investigador tiene un 95% de seguridad para generalizar sin equivocarse y sólo 5% en contra. En términos de probabilidad, 0.95 y 0.05, respectivamente; ambos suman la unidad.

El nivel de significancia de 0.01, el cual implica que el investigador tiene 99% en su favor y 1% en contra (0.99 y 0.01 = 1.00) para generalizar sin temor.

A veces el nivel de significancia o significación puede ser todavía más riguroso, por ejemplo, 0.001, 0.00001, 0.00000001 (Liao, 2003), pero al menos debe ser de 0.05. No se acepta un nivel de 0.06 (94% a favor de la generalización confiable), porque se busca hacer ciencia la más exacta posible.

4.4.2.1 Tipos de errores.

Cualquiera sea la decisión tomada a partir de una prueba de hipótesis, ya sea de aceptar la hipótesis nula o aceptar la hipótesis alterna, se puede incurrirse en un error.

Hernández et. al (2014) indica que “nunca estaremos completamente seguros de nuestra estimación. Trabajamos con altos niveles de confianza o seguridad, pero, aunque el riesgo es mínimo, podría cometerse un error”. Los resultados posibles al probar la hipótesis son:

- Aceptar una hipótesis verdadera (decisión correcta).
- Rechazar una hipótesis falsa (decisión correcta).
- Aceptar una hipótesis falsa (conocido como error del tipo II o error beta).
- Rechazar una hipótesis verdadera (conocido como error del tipo I o error alfa).

Ambos tipos de error son indeseables; sin embargo, puede reducirse sustancialmente la posibilidad de que se presenten mediante:

- Muestras probabilistas representativas.
- Inspección cuidadosa de los datos.
- Selección de las pruebas estadísticas apropiadas.
- Mayor conocimiento de la población.

En la tabla 34 se muestran las posibilidades incorrectas junto con las posibilidades de decisiones correctas, al probar una hipótesis estadística.

Tabla 34.

Tabla de decisión

Decisión	Hipótesis nula	
	Verdadera	Falsa
Rechazar, H_0	Error de tipo I	Decisión correcta
Aceptar, H_0	Decisión correcta	Error de tipo II

Nota: H_0 =Hipótesis nula, tomada de Interaprendizaje de estadística básica, Suarez y Tapia 2012.

4.4.3 Paso 03: Calcular el valor del estadístico de prueba.

Hay dos tipos de pruebas estadísticas: Los análisis paramétricos y los no paramétricos. Cada tipo posee sus características y presuposiciones que lo sustentan; la elección de qué clase de análisis efectuar depende de los supuestos. De igual forma, cabe destacar que en una misma investigación es posible llevar a cabo análisis paramétricos para algunas hipótesis y variables, y análisis no paramétricos para otras. Asimismo, los análisis a realizar dependen del planteamiento, tipo de hipótesis y el nivel de medición de las variables que la conforman (Hernández et. al, 2014).

Por otro lado, para poder someter a prueba las hipótesis formuladas, es necesario usar alguna propiedad o estadístico de las muestras que esté relacionado con el parámetro objeto de la inferencia. Estas propiedades muestrales reciben el nombre genérico de estadístico de prueba.

Existen diversas pruebas estadísticas paramétricas, entre las más utilizadas son:

- Coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal.
- Prueba t.
- Prueba de contraste de la diferencia de proporciones.
- Análisis de varianza unidireccional (ANOVA en un sentido).
- Análisis de varianza factorial (ANOVA).
- Análisis de covarianza (ANCOVA).

Por otro lado, Moya y Saravia (2007) mencionan que para analizar entre las medias de dos poblaciones independientes, es decir que los resultados de la primera muestra son independientes de la segunda, se usa la prueba de hipótesis sobre la “diferencia entre medias poblacionales” a través de la distribución t.

4.4.4 Paso 04: Formular la regla de decisión.

Según Mendenhall, Beaver y Beaver (2010) indican que todo el conjunto de valores que pueda tomar el estadístico de prueba se divide en dos conjuntos o regiones. Un conjunto, formado de valores que apoyan la hipótesis alterna y llevan a rechazar la hipótesis nula a la

cual se denomina *región de rechazo*. El otro formado de valores que apoyan la hipótesis nula, recibe el nombre de *región de aceptación*; entonces se tiene las dos siguientes condiciones:

- Si el estadístico de prueba cae en la región de rechazo, entonces se rechaza la hipótesis nula.
- Si el estadístico de prueba cae en la región de aceptación, entonces la hipótesis nula se acepta.

El valor crítico es el punto de división que separa las regiones de rechazo y aceptación, esto debe ser establecido.



Figura 38. Región de rechazo, aceptación y valor crítico en las pruebas de hipótesis.

4.4.5 Paso 05: Tomar una decisión.

En este último paso de la prueba se realiza una comparación el estadístico de prueba con el valor crítico, y se toma la decisión de rechazar o aceptar (no rechazar) la hipótesis nula, solo se puede tomar una decisión.

4.5 Pruebas de hipótesis general de la investigación.

El planteamiento de la hipótesis general de la presente investigación es como sigue:

“Mediante los ensayos de escala reducida es factible obtener el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción y su relación con la densidad relativa en suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa”

Conforme a la hipótesis general, se quiere probar que es factible determinar el parámetro de resistencia corte, ángulo de fricción mediante los ensayos de escala reducida (escalamiento

de curvas granulométricas) las cuales puedan ser desarrolladas en cualquier laboratorio básico de mecánica de suelos, dentro de estos ensayos se tienen: análisis granulométrico, densidad de campo y gravedad específica. Y a través de estos resultados obtenidos, determinar la densidad relativa en un rango de relaciones de vacíos y posteriormente mediante la ecuación matemática directa propuesta por Gonzales de Celis determinar el ángulo de fricción. Finalmente validar y demostrar que los resultados obtenidos de las densidades relativas mediante los ensayos de escala reducida son similares respecto a las densidades relativas obtenidas mediante ensayos de densidades máximas y mínimas.

Por consiguiente, para realizar la prueba de hipótesis general se ha logrado mediante el desarrollo de la hipótesis específica 02. A continuación se muestran la prueba de hipótesis específica para la estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción.

4.6 Prueba de hipótesis específica de investigación.

El planteamiento de la hipótesis específica de la presente investigación es como sigue:

“Los resultados a obtener de las densidades relativas mediante los ensayos de escala reducida y las densidades máximas y mínimas que presentan los suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa son similares”.

Para validar la hipótesis específica 02 y demostrar la confiabilidad de los ensayos de escala reducida, se debe demostrar que la densidad relativa obtenida mediante los ensayos de escala reducida para suelos granulares no presenta diferencia significativa respecto a la densidad relativa obtenida mediante los ensayos de densidades máximas y mínimas.

Moya y Saravia (2007), enseñan que para analizar la prueba de dos muestras que no están relacionadas o sean independientes, se puede usar el estadístico de prueba de la DIFERENCIA ENTRE DOS MEDIAS POBLACIONALES. Esta prueba se aplica para decidir si existe o no una diferencia significativa entre las medias de dos poblaciones (dos grupos de datos obtenidos).

En la tabla 35 se presentan los grupos de datos obtenidos sobre la cual se va a realizar la prueba de diferencia entre dos medias poblacionales.

Donde la primera columna muestra cada uno de los suelos que han sido definidos como muestras y cuyo estudio se ha mencionado a lo largo de la presente tesis. En la segunda columna se muestran los resultados de las densidades relativas obtenidas de los ensayos de escala reducida que son los valores cuya confiabilidad quiere ser probada y finalmente en la tercera columna se muestran los resultados de las densidades relativas obtenidas en función a los ensayos de densidades máximas y mínimas, que serán los valores sobre los cuales se probara las diferencias significativas.

Tabla 35.

Densidad relativa sobre la cual se quiere probar la hipótesis específica 02

Muestra	Densidad relativa obtenida mediante ensayos de escala reducida. DR (%)	Densidad relativa obtenida mediante ensayos de densidades máximas y mínimas DR (%)
C-01	40.50%	37.46%
C-02	26.54%	26.22%
C-03	33.77%	31.97%
C-04	34.64%	30.88%
C-05	38.28%	32.69%
C-06	43.60%	46.94%
C-07	36.37%	34.09%
C-08	38.60%	35.19%
C-09	36.92%	40.19%
C-10	26.59%	26.26%
C-11	37.02%	45.18%
C-12	24.01%	29.03%

Nota: Fuente, elaboración propia

A lo largo del ítem 4.6 se denominará como variable “A” a las densidades relativas obtenidas mediante los ensayos de escala reducida y como variable “B” a las densidades relativas obtenidas mediante los ensayos de densidades máximas y mínimas.

Por lo tanto, la tabla anterior queda de la siguiente manera:

Tabla 36.

Variabes sobre las cuales se hará la prueba de hipótesis

Calicata	“A”	“B”
C-01	40.50%	37.46%
C-02	26.54%	26.22%
C-03	33.77%	31.97%
C-04	34.64%	30.88%
C-05	38.28%	32.69%
C-06	43.60%	46.94%
C-07	36.37%	34.09%
C-08	38.60%	35.19%
C-09	36.92%	40.19%
C-10	26.59%	26.26%
C-11	37.02%	45.18%
C-12	24.01%	29.03%

Nota: Fuente, elaboración propia

4.6.1 Paso 01: Hipótesis nula e hipótesis alterna.

Se quiere demostrar la confiabilidad, para determinar la densidad relativa de los suelos granulares mediante los ensayos de escala reducida respecto a la densidad relativa obtenida de los ensayos de densidades máximas y mínimas. Si la confiabilidad fuera en un 100% se tendrá que la densidad relativa obtenida mediante los dos métodos es la misma para un determinado grupo de suelos, a la vez nos indica que la diferencia de las medias poblacionales de ambos métodos será nula o cercana a cero.

Por tanto la hipótesis nula (H_0) se plantea de la siguiente manera: “La diferencia de las dos medias poblacionales de las densidades relativas obtenidos entre los ensayos de escala reducida (u_1) y los ensayos de densidades máximas y mínimas (u_2) es cercana a cero”.

Así mismo la hipótesis nula puede ser planteada de la siguiente forma: “No hay diferencia alguna entre las dos muestras relacionadas”.

Con respecto a la hipótesis alterna se tiene: “La diferencia de las dos medias poblacionales es diferente de cero” dicho de otra manera se tiene que “si existe diferencia significativa entre las dos muestras relacionadas”. Esto nos da a entender que la densidad

relativa obtenida mediante los ensayos de escala reducida no es confiable, por arrojar resultados totalmente distintos.

Por lo tanto, se tiene que:

$$H_0 : u_d = u_1 - u_2 = 0$$

$$H_a : u_d = u_1 - u_2 \neq 0$$

4.6.2 Paso 02: Selección del nivel de significancia.

El nivel de significancia asumido queda establecido en 0.05 (5%), para la prueba de hipótesis de diferencia de medias poblacionales para la densidad relativa.

4.6.3 Paso 03: Calcular el valor del estadístico de prueba.

A partir de la información muestral se determinó este valor, la cual se utilizó para aceptar o rechazar la hipótesis nula.

Para el estadístico de prueba de la diferencia entre dos medias poblacionales, con varianzas poblacionales desconocidas y tamaños de muestras pequeñas. Según Segnini (capítulo 6) señala que es necesario considerar adicionalmente si las dos varianzas poblacionales, aunque desconocidas, son iguales o diferentes. Para esto se realiza la comparación de varianzas aplicando la siguiente ecuación:

$$RV = \frac{S_2^2}{S_1^2} \quad (1)$$

Nota: Si RV es menor a 2.5 se acepta que las dos varianzas poblacionales son iguales, caso contrario las varianzas poblacionales son diferentes.

En el caso que las dos varianzas poblacionales son iguales el estadístico de prueba está determinado por la siguiente ecuación (Quispe, 2001)

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (2)$$

Donde:

t = Valor estadístico de prueba

x_1 = Promedio muestral del grupo 1

x_2 = Promedio muestral del grupo 2

n_1 = Tamaño de la muestra del grupo 1

n_2 = Tamaño de la muestra del grupo 2

S_1^2 = Varianza de la muestra 1

S_2^2 = Varianza de la muestra 2

Para el cálculo del promedio muestral y la varianza muestral se tiene la ecuación siguiente: (Moya y Saravia, 2007)

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n} \quad (4)$$

En seguida realizamos el cálculo del estadístico de prueba para la densidad relativa, la cual es la variable de la hipótesis que se quiere probar. El cálculo del estadístico de prueba se realiza con la ayuda de la tabla siguiente.

Tabla 37.

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "A" de la Dr

Calicata	Variable "A"		
	x_i	$x - x_i$	$(x - x_i)^2$
C-01	40.50	-5.76	33.21
C-02	26.54	8.20	67.24
C-03	33.77	0.96	0.93
C-04	34.64	0.09	0.01
C-05	38.28	-3.54	12.55
C-06	43.60	-8.87	78.60
C-07	36.37	-1.63	2.66
C-08	38.60	-3.86	14.90
C-09	36.92	-2.18	4.76
C-10	26.59	8.14	66.32
C-11	37.02	-2.29	5.22
C-12	24.01	10.73	115.10
Σ			401.49
Promedio muestral (x_1) = 34.74			
Varianza muestral (S_1^2) = 33.46			

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 38.

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "B" de la Dr

Calicata	Variable "B"		
	x_i	$x - x_i$	$(x - x_i)^2$
C-01	37.46	-2.78	7.75
C-02	26.22	8.46	71.49
C-03	31.97	2.71	7.33
C-04	30.88	3.79	14.38
C-05	23.69	1.98	3.93
C-06	46.94	-12.26	150.4
C-07	34.09	0.58	0.34
C-08	35.19	-0.51	0.26
C-09	40.19	-5.52	30.44
C-10	26.26	8.41	70.79
C-11	45.18	-10.50	110.3
C-12	29.03	5.64	31.85
Σ			499.21
Promedio muestral (x_2) = 34.68			
Varianza muestral (S_2^2) = 41.60			

Nota: Fuente, elaboración propia.

Reemplazando en la ecuación 24:

$$RV = \frac{41.60}{33.46} = 1.24$$

La relación de varianzas obtenido es menor que 2.5 por tanto se acepta que las dos varianzas poblacionales son iguales, entonces el estadístico de prueba se determina en función a la ecuación 25, reemplazando datos se tiene:

$$t = \frac{34.74 - 34.68}{\sqrt{\frac{(12 - 1) * 33.46 + (12 - 1) * 41.60}{12 + 12 - 2} * \left(\frac{1}{12} + \frac{1}{12}\right)}} = 0.024$$

4.6.4 Paso 04: Formular la regla de decisión.

La regla de decisión se formula teniendo en cuenta que es una prueba de hipótesis bilateral o prueba de dos colas. Por tanto la hipótesis nula se rechaza cuando. (Moya y Saravia, 2007)

$$t < -t_{\alpha/2} \quad \text{o} \quad t > t_{\alpha/2} = t_{1-\alpha/2}$$

Para el caso que la población es menor que 30 con varianzas poblacionales desconocidas pero iguales se utiliza la distribución T, con $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad. En la tabla 39, se muestra un fragmento de la tabla t de student; donde d_f representa los grados de libertad.

Tabla 39.

Tabla de t de student

d_f	$t_{.100}$	$t_{.050}$	$t_{.025}$	$t_{.010}$	$t_{.005}$
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.92	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
.
.
.
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.32	1.714	2.069	2.50	2.807

Nota: Tomada de Probabilidad e Inferencia estadística, Moya y Saravia 2007.

El valor crítico, para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a la tabla de t de student, para un nivel de significancia de 0.05 y 22 grados de libertad queda definido de la siguiente forma:

$$t_{-\frac{\alpha}{2}} = t_{\frac{0.05}{2}} = t_{0.025} = -2.074$$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}} = t_{1-\frac{0.05}{2}} = t_{0.975} = 2.074$$

$$0.024 < -2.074 \quad \text{o} \quad 0.024 > 2.074$$

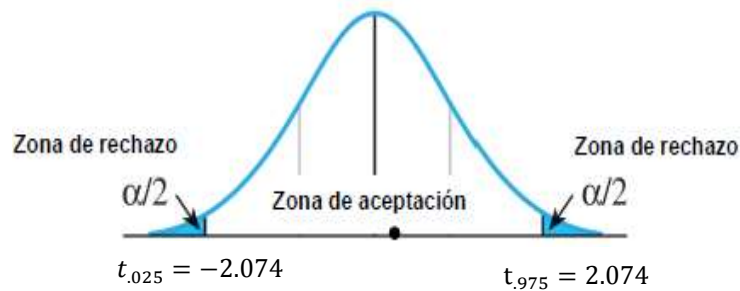


Figura 39. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis específica N° 02.

4.6.5 Paso 05: Toma de decisión.

En este último paso se toma la decisión, para nuestro caso en función a la figura 39 el valor del estadístico de prueba determinado es de $t = 0.024$ la cual no cae dentro de la región de rechazo, por tanto no se puede rechazar la hipótesis nula.

La decisión es que se acepta la hipótesis nula, al afirmar que “no hay diferencia significativa” entre la densidad relativa determinada mediante el ensayo de densidades máximas y mínimas y los ensayos de escala reducida.

En la figura 40 se presenta de forma gráfica lo que se acaba de probar, mediante un diagrama de barras se muestra la mínima diferencia que existe entre las densidades relativas obtenidas mediante el ensayo de densidades máximas y mínimas y las densidades relativas obtenidas mediante los ensayos de escala reducida.

DECISION RESPECTO A LA HIPOTESIS ESPECÍFICA N° 02

Se acepta la hipótesis específica N° 02, que afirma que los resultados obtenidos de la densidad relativa mediante los ensayos de escala reducida son similares y confiables respecto a la densidad relativa obtenida del ensayo de densidades máximas y mínimas en los suelos granulares con presencia de gravas inmersas en una matriz arenosa.

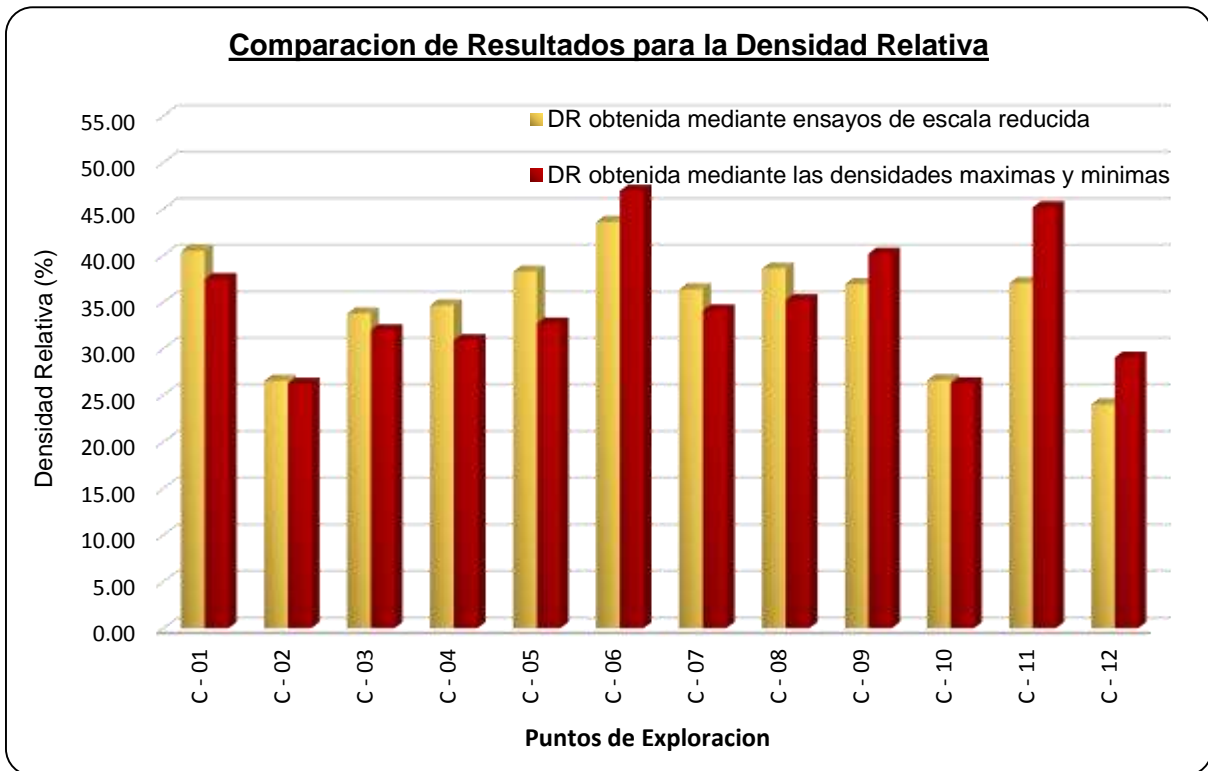


Figura 40. Comparación de resultados de la densidad relativa determinado por métodos distintos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De la investigación realizada, se puede mencionar las siguientes conclusiones:

De los doce puntos de exploración realizados a base de pozos a cielo abierto, que pertenecen al distrito de Santa Lucia se determinó las características y propiedades básicas de los suelos tales como densidad de campo, contenido de humedad, gravedad específica, granulometría, límite líquido, límite plástico y densidades máximas y mínimas; a profundidades no menores de 2.50m hasta una profundidad máxima de 3.00m. De donde se concluye que, a mayores profundidades los suelos estudiados corresponden a materiales granulares (gravas inmersas en una matriz arenosa con un porcentaje de finos no mayores al 10%) específicamente GW, GP y GW-GM de clasificación SUCS.

De los suelos granulares en estudio, se determinó el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en función a su densidad relativa en un rango de relaciones de vacíos mediante los ensayos de escala reducida (escalamiento de curvas granulométricas), obteniéndose valores de ángulo de fricción como mínimo de 35.42° correspondiente a la C-06 y un máximo de 38.16° correspondiente a la C-12 con densidades relativas de 24.01% y 43.60% las que presentan un grado de compacidad de suelto a medio.

El escalamiento de las curvas granulométricas se ha realizado a tamaños de partículas de 38.1mm, 19.1mm y 4.76mm respecto a la granulometría original, conservando el tamaño mínimo de partícula de 0.075mm para las tres curvas escaladas.

Para determinar los ángulos de fricción en función a su densidad relativa de los suelos granulares, en la actualidad se tienen una gran variedad de correlaciones matemáticas propuestas por diferentes investigadores; entre las que son más utilizadas en nuestro medio son las de Meyerhof y Giuliani, sin embargo, estas presentan ciertas limitaciones como es el caso del contenido de finos. Para la presente investigación, se ha utilizado la correlación

propuesta por Gonzales de Celis la cual fue propuesta en el 2014 (ver tabla 29 del capítulo 3) siendo la más actual, además esta correlación es aplicable para materiales granulares o suelos más integrales en cuanto a proporciones de gravas y arenas.

Los resultados obtenidos de la presente investigación será una fuente de información que permitirán que los estudios geotécnicos sean más accesibles para la construcción de edificaciones menores específicamente sobre suelos granulares, puesto que el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción es una determinante para el cálculo de la capacidad de carga ultima de un suelo, a fin de evitar que las cimentaciones sobre esfuerquen al suelo, y provoquen la falla, ocasionando daños de importancia.

Para la determinación de los parámetros de resistencia al corte de los suelos granulares, específicamente el ángulo de fricción es dificultosa y de alto costo por el tamaño que requieren las muestras a ser ensayadas, motivos por los que en la práctica hay una escasez de equipos capaces de ensayar estos suelos granulares con tamaños de partículas mayores a 1", por tal motivo existen cuatro métodos para la evaluación de la resistencia al corte en suelos granulares los cuales son: Método de la matriz, método de corte, método de corte y reemplazo y el método de las curvas homotéticas, las que se basan en reducir el tamaño original a tamaños de partículas menores las cuales puedan ser evaluadas mediante ensayos estandarizados. Sin embargo, adicionalmente se tiene una metodología más directa basada en la obtención de la densidad relativa, la cual se aplica en la presente investigación, la que es denominada como el método de "escalamiento de curvas granulométricas" (ensayos de escala reducida) la que se desarrolla a base de ensayos básicos de la mecánica de suelos tales como: Análisis granulométrico, la densidad de campo y la gravedad específica del material original; además esta metodología presenta ventajas en cuanto a complejidad, menor tiempo, bajo costo y accesibilidad.

No existe una propiedad índice única que sea apropiada para la clasificación de suelos, sino que se necesitan varias, y que pueden ser diferentes para suelos granulares y suelos finos. Las propiedades índice de los suelos granulares son la granulometría y la densidad relativa, puesto que al obtener estos datos podemos determinar el ángulo de fricción.

Pruebas de hipótesis mediante el “estadístico de prueba de diferencia de dos medias poblacionales”, han determinado que los resultados obtenidos de las densidades relativas mediante los ensayos de escala reducida, no presentan diferencia significativa con respecto al ensayo de densidades máximas y mínimas. Obteniéndose un estadístico de prueba de 0.024 la cual se encuentra dentro de la zona de aceptación de -2.074 a 2.074. Por lo que los resultados son confiables, demostrándose o valiéndose de esta manera la hipótesis la investigación.

5.2 Recomendaciones

De la investigación realizada, se puede plantear recomendaciones con el fin de validar con mayor peso algunos de los resultados obtenidos, y por otro lado ampliar esta investigación. Entre las sugerencias que se consideran como fundamentales se tiene:

La metodología desarrollada en el capítulo III para determinar la densidad relativa a través de los ensayos de escala reducida, se recomienda aplicarlos específicamente para suelos granulares con porcentajes de gravas considerables (con tamaños máximos de 2” a 4”) inmersos en una matriz arenosa y porcentajes de finos menores al 10%.

Se recomienda estudiar la forma de las partículas del material en estudio, de esta manera utilizar las correlaciones propuestas específicamente para tal característica. Así mismo se recomienda estudiar la influencia de la rugosidad, esfericidad y origen en la determinación de la densidad relativa, a través de ensayos de laboratorio con el fin de plantear nuevas correlaciones.

Se recomienda realizar el ensayo de densidades máximas y mínimas en moldes de volúmenes mayores, en función al tamaño máximo de partícula.

Se recomienda crear una normativa que estandarice la determinación de la densidad máxima mediante el compactado, en nuestro país, a fin de que este sea considerado en la norma técnica peruana y en el Reglamento Nacional de Edificaciones E-050.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva J. (2007). *Diseño de Cimentaciones*. 1° Edición. Lima, Perú: Editorial ICG.
- Alva J. (1998). "*Mecánica de Suelos Aplicada a Cimentaciones, Cimentaciones de Concreto Armado en Edificaciones*". (pp. 1- 42). Lima, Perú: Editorial ACI.
- Apaza S. (2014). *Determinación de la Capacidad de Soporte para los Tipos de Suelos de la Subrasante a partir de Ensayos PDC de Manera Económica y Confiable, Aplicado en el Campus de la Universidad Peruana Unión (UPeU) – Villa Chullunquiani*. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Peruana Unión, Juliaca Perú.
- Berry P. y Reid D. (1996). *Mecánica de Suelos*. México: Editorial McGRAW-HILL Companies.
- Besio G. (2012). *Uso del Método de Curva Homotéticas en la Representación de Ensayos Monotónico y Cíclicos en Suelos Gruesos* (tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú.
- Braja D. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. 4° Edición. México: Editorial Cengage Learning.
- Braja D. (2011). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. 7° Edición. México: Editorial Cengage Learning.
- Braja D. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Editorial Thomson Learning.
- Contreras L. (2011). *Comportamiento friccionante de materiales granulares gruesos*. (Tesis para optar al grado de magister en ciencia de la ingeniería mención ingeniería geotécnica). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Crespo C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. 5° Edición. México: Editorial Limusa.

Decreto supremo N°11-2006-VIVIENDA. Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E-050 Suelos y Cimentaciones. Lima, Perú.

Decreto supremo N°034-2008-MTC, Mayo del 2016. Manual de ensayos de materiales. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, Perú.

Decreto supremo N°034-2008-MTC, Febrero del 2013. Manual de carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, Perú.

De la Hoz K. (2007). *Estimación de los parámetros de resistencia al corte en suelos granulares gruesos*. (Tesis para optar al grado de magister en ciencia de la ingeniería mención ingeniería geotécnica). Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Dorador L. (2010). *Análisis Experimental de las Metodologías de las Curvas Homotéticas y Corte en la Evaluación de Propiedades Geotécnicas de Suelos Gruesos*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil y magister en ciencia de la ingeniería mención geotecnia). Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Gonzales de Celis G., De Barcia E., Sulbaran Y., Ucar N. (2014). Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción interna (ϕ) y su relación con los parámetros densidad relativa (D_r) y relación de vacíos (e) en suelos granulares. *Revista Ciencia e Ingeniería*. Vol. 35 (N°3), 12 p.

Guillermo G. y Moreno J. (1997). *Proceso de la Investigación Científica*. Lima: Editorial Fkri.

Hernández R, Fernández C, Baptista P. (2010). *Metodología de la investigación*. 5° Edición. México: Editorial McGRAW-HILL / INTERAMERICANA.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. 6ª edición. México: Editorial McGRAW-HILL / INTERAMERICANA.

Huaquisto S. (2012). *Guía de laboratorio de Mecánica de Suelos*. Puno: Perú.

- I.N.V. E 136. 2007. Determinación de la masa unitaria máxima y mínima para el cálculo de la densidad relativa. Recuperado de:
ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV07/Normas/Norma%20INV%20E-136-07.pdf
- José A. (s.f). *Parametrización de suelos*. Universidad Nacional de la Plata. Recuperado de:
http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Capitulo%203_Resistencia%20al%20corte.pdf
- Juárez E. y Rico A. (2005). *Mecánica de Suelos: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México: Editorial Limusa.
- Lambe W. y Whitman R. (2004). *Mecánica de Suelos*. México: Editorial Limusa.
- Martínez A. (1996) "Cimentaciones en suelos aluvionales". X Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos; Guadalajara – Jalisco México. Recuperado de:
<http://sigingenieros.com.pe/boletin/BOLETINMIG19.pdf>
- Maureira S. (2012). *Respuesta cíclica de arena de relaves en un amplio rango de presiones*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil y magister en ciencia de la ingeniería mención geotecnia). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Mendenhall W., Beaver R., Beaver B. (2010). *Introducción a la Probabilidad y Estadística*. 13° Edición. Mexico: Editorial Learning.
- Moya R., Saravia G. (2007). *Probabilidad e Inferencia Estadística*. 2° Edición. Lima Perú: Editorial. San Marcos.
- Pari H. (2012). *Estimación de los parámetros de resistencia al corte bajo condiciones no drenadas en Arcillas de Baja Plasticidad, Mediante el Ensayo de Penetración Dinámica de Cono*. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Nacional del Altiplano, Puno Perú.

Quiñones A. (2004). *Análisis granulométrico por tamizado*. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil. Laboratorio de Mecánica de Suelos. Recuperado de: http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/EXPOSICIONES/Granulometria_Tamizado_ATQ.pdf.

Quispe G. (2001). *Estadística Descriptiva e Inferencial*. Puno-Perú: Editorial Universitaria.

Resolución de Aprobación de Normas Técnicas Peruanas en el Marco del Plan de Actualización Periodo Indecopi N°056-2014/CNB-INDECOPI. NTP 339.137 (revisada el 2014) Método de ensayo estándar para la determinación del índice de densidad y peso unitario máximo de suelos. NTP 339.138 (revisada el 2014) Método de ensayo estándar para la determinación del índice de densidad y peso unitario mínimo de suelos.

Riquelme J. y Dorador L. (26 al 28 de noviembre del 2014). Metodología para determinar densidades máximas y mínimas en suelos granulares gruesos a partir de ensayos de laboratorio de escala reducida. VIII Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica. Chile.

Suarez M. y Tapia F. (2012). *Interaprendizaje de Estadística Básica*. Ecuador.

Shuan L. (2011). *Investigación de la Matriz en las Gravas del Perú Modelo Grava de Ventanilla*. (Tesis para optar el Grado de Maestro en Ciencias con Mención en Ingeniería Geotécnica). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.

Terzaghi, K. y Peck, R. (1973). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. (2.^a ed.). Barcelona, España: Editorial El Ateneo.

Walpole R., Myers R., Myers S., Ye K. (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencia*. 9° edición. México: Editorial Pearson.

Anexo A :

“Densidades relativas obtenidas mediante ensayos de escala reducida”.

Se presentan el escalamiento de las curvas granulométricas incluyendo los coeficientes de uniformidad, las relaciones de vacíos máximos, relaciones de vacíos mínimos y finalmente en función a estos resultados se determina la densidad relativa del material original para cada punto de estudio.

DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA - MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito Santa Lucía - Provincia de Lampa
Nº DE CALICATA	: C-01
PROF. DE MUESTRA	: 2.00 - 3.00m
CLASIFICACION SUCS	: GP (Grava mal graduada con arena)

CARACT. GRANULOMETRICAS	
W%	= 6.048 %
D10	= 0.412 mm
D30	= 1.413 mm
D60	= 9.030 mm
CU	= 21.93
CC	= 0.537

DATOS	
Gs	= 2.48
Yd	= 1.77 gr/cm3
Yw	= 1.00 gr/cm3
e	= 0.40
emin	= 0.27
emax	= 0.49

FORMULAS	
$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100\%$	
$e_{min} = 0.7008 (Cu)^{-0.3040}$	
$e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$	
$e = \frac{Gs * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$	

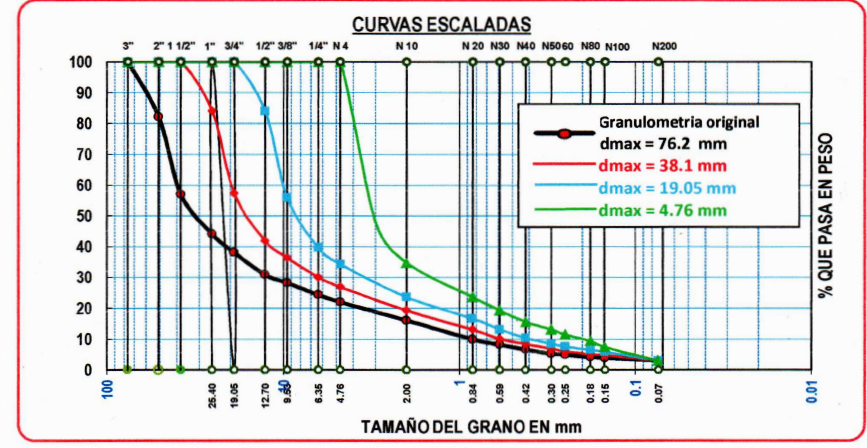
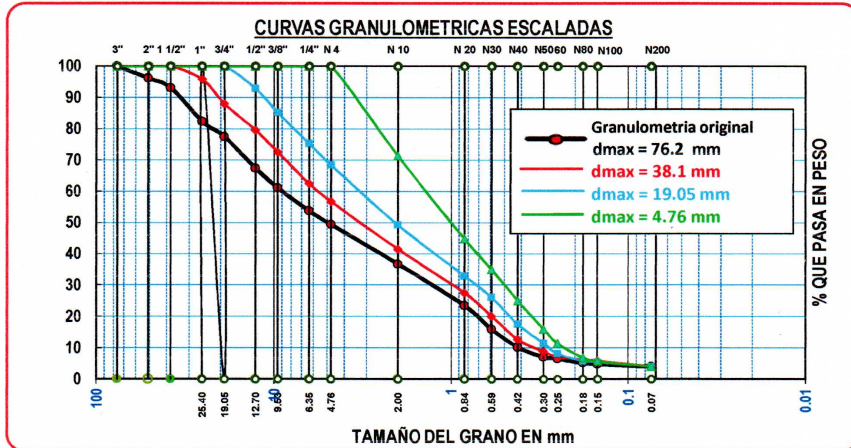
DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA - MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito Santa Lucía - Provincia de Lampa
Nº DE CALICATA	: C-02
PROF. DE MUESTRA	: 1.80 - 3.00m
CLASIFICACION SUCS	: GP (Grava mal graduada con arena)

CARACT. GRANULOMETRICAS	
W%	= 6.44 %
D10	= 0.850 mm
D30	= 11.662 mm
D60	= 39.624 mm
CU	= 46.64
CC	= 4.040

DATOS	
Gs	= 2.42
Yd	= 1.75 gr/cm3
Yw	= 1.00 gr/cm3
e	= 0.38
emin	= 0.23
emax	= 0.44

FORMULAS	
$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100\%$	
$e_{min} = 0.7008 (Cu)^{-0.3040}$	
$e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$	
$e = \frac{Gs * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$	

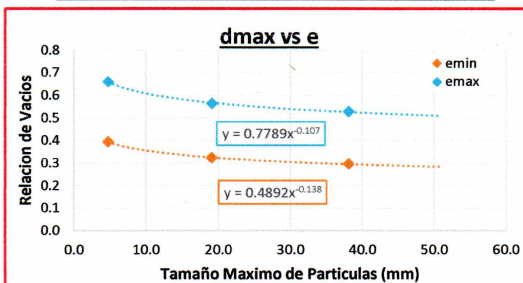


Cu de Granulometrias escaladas			
dmax (mm)	D10	D60	Cu
4.76	0.228	1.50	6.59
19.1	0.278	3.55	12.77
38.1	0.335	5.66	16.87

Relacion de vacios		
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
4.76	0.395	0.660
19.1	0.323	0.565
38.1	0.297	0.530

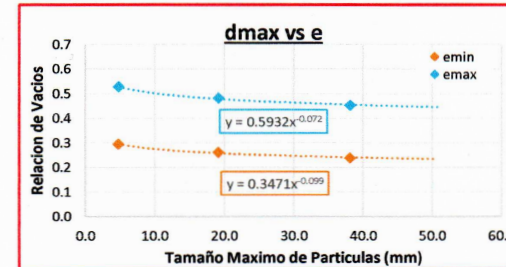
Cu de Granulometrias escaladas			
dmax (mm)	D10	D60	Cu
4.76	0.200	3.40	17.05
19.1	0.391	9.98	25.50
38.1	0.576	19.66	34.13

Relación de vacios		
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
4.76	0.296	0.529
19.1	0.262	0.483
38.1	0.240	0.454



e _{min} y e _{max} buscados		
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
76.2	0.269	0.490

Densidad Relativa	
$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100$	
Dr (%) =	40.50 %



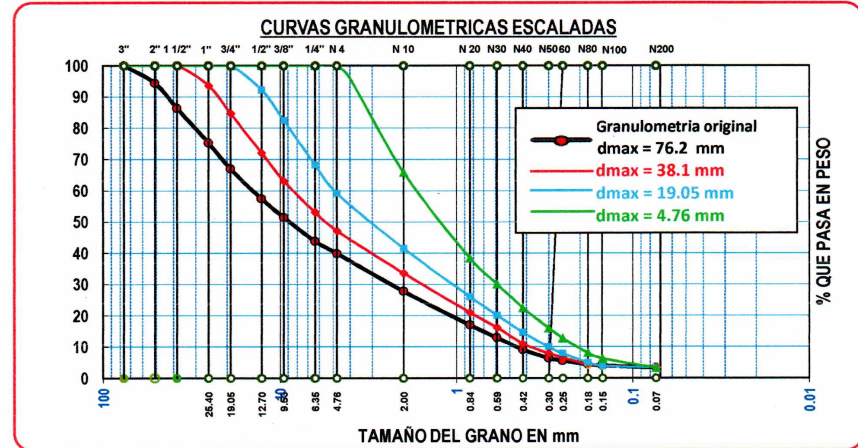
e _{min} y e _{max} buscados		
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
76.2	0.226	0.438

Densidad Relativa	
$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100$	
Dr (%) =	26.54 %

DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA - MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA

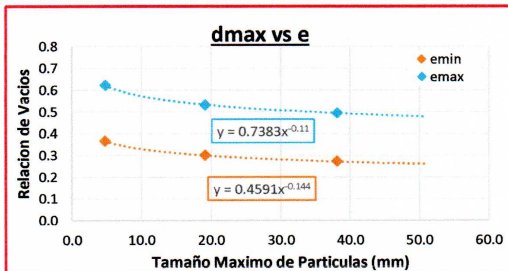
PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito Santa Lucia - Provincia de Lampa
N° DE CALICATA	: C-03
PROF. DE MUESTRA	: 1.40 - 2.60m
CLASIFICACION SUCS	: GW (Grava bien graduada con arena)

CARACT. GRANULOMETRICAS	DATOS	FORMULAS
W% = 5.68 %	Gs = 2.47	$DR(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100\%$ $e_{min} = 0.7008 (Cu)^{-0.3040}$ $e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$ $e = \frac{Gs * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$
D10 = 0.46 mm	Yd = 1.78 gr/cm3	
D30 = 2.51 mm	Yw = 1.00 gr/cm3	
D60 = 14.43 mm	e = 0.39	
CU = 31.42	emin = 0.25	
CC = 0.95	emax = 0.46	



dmax (mm)	D10	D60	Cu
4.76	0.208	1.75	8.42
19.1	0.298	4.90	16.45
38.1	0.378	8.53	22.57

dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
4.76	0.367	0.623
19.1	0.299	0.533
38.1	0.272	0.496



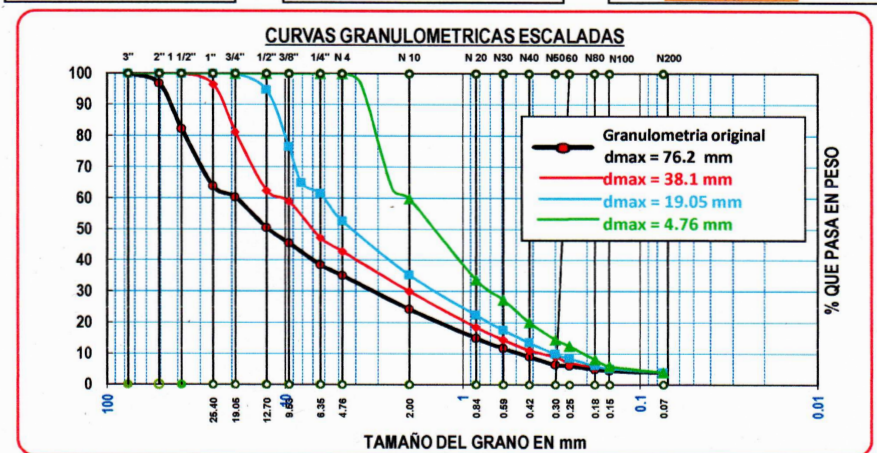
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
76.2	0.246	0.458

Dr (%) =	33.77 %
----------	----------------

DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA - MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA

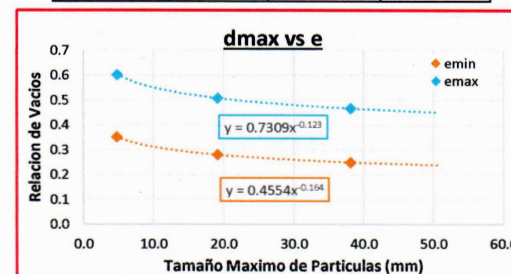
PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN	: Barrio 25 de junio - Distrito Santa Lucia - Provincia de Lampa
N° DE CALICATA	: C-04
PROF. DE MUESTRA	: 0.60 - 3.00m
CLASIFICACION SUCS	: GW (Grava bien graduada con arena)

CARACT. GRANULOMETRICAS	DATOS	FORMULAS
W% = 8.66 %	Gs = 2.45	$DR(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100\%$ $e_{min} = 0.7008 (Cu)^{-0.3040}$ $e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$ $e = \frac{Gs * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$
D10 = 0.48 mm	Yd = 1.80 gr/cm3	
D30 = 3.47 mm	Yw = 1.00 gr/cm3	
D60 = 18.87 mm	e = 0.358	
CU = 39.17	emin = 0.224	
CC = 1.32	emax = 0.429	



dmax (mm)	D10	D60	Cu
4.76	0.210	2.01	9.59
19.1	0.302	6.09	20.19
38.1	0.356	10.48	29.48

dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
4.76	0.352	0.604
19.1	0.281	0.509
38.1	0.251	0.468



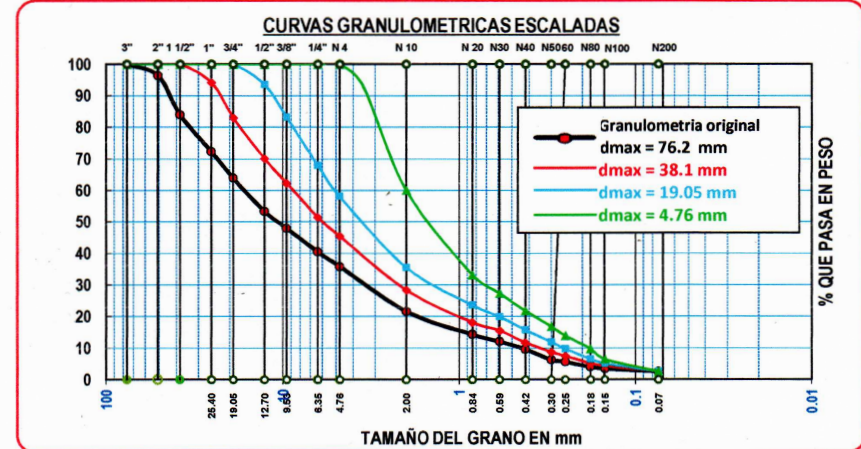
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
76.2	0.224	0.429

DR (%) =	34.64 %
----------	----------------

DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA - MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA

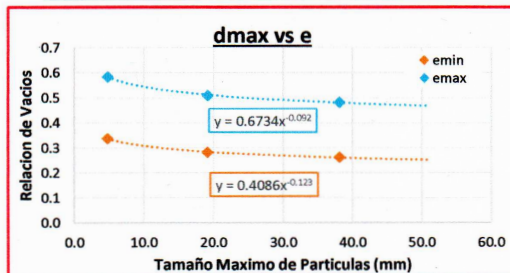
PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN	: Barrio 25 de junio - Distrito Santa Lucia - Provincia de Lampa
Nº DE CALICATA	: C-05
PROF. DE MUESTRA	: 0.90 - 2.50m
CLASIFICACION SUCS	: GW (Grava bien graduada con arena)

CARACT. GRANULOMETRICAS	DATOS	FORMULAS
W% = 3.64 %	Gs = 2.46	$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100\%$ $e_{min} = 0.7008 (Cu)^{-0.3040}$ $e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$ $e = \frac{G_s * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$
D10 = 0.45 mm	Yd = 1.79 gr/cm3	
D30 = 3.64 mm	Yw = 1.00 gr/cm3	
D60 = 16.73 mm	e = 0.37	
CU = 37.16	emin = 0.24	
CC = 1.76	emax = 0.45	



dmax (mm)	D10	D60	Cu
4.76	0.182	2.00	11.01
19.1	0.254	5.06	19.95
38.1	0.349	8.85	25.35

dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
4.76	0.338	0.585
19.1	0.282	0.510
38.1	0.262	0.484



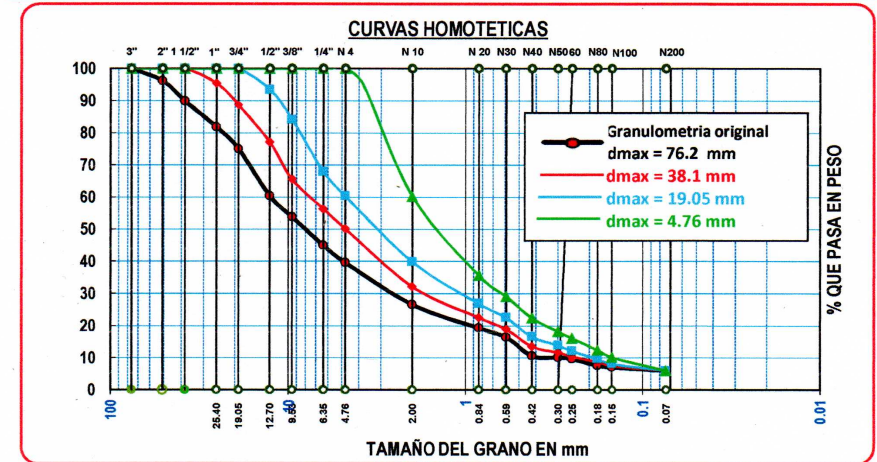
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
76.2	0.240	0.452

$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100$	
Dr (%) =	38.28 %

DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA - MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA

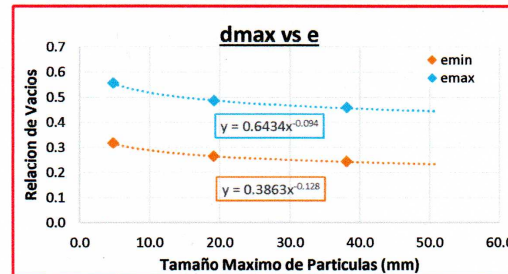
PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN	: Barrio central - Distrito Santa Lucia - Provincia de Lampa
Nº DE CALICATA	: C-06
PROF. DE MUESTRA	: 1.20 - 2.80m
CLASIFICACION SUCS	: GW-GM (Grava bien graduada con limo y arena)

CARACT. GRANULOMETRICAS	DATOS	FORMULAS
W% = 10.06 %	Gs = 2.46	$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100\%$ $e_{min} = 0.7008 (Cu)^{-0.3040}$ $e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$ $e = \frac{G_s * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$
D10 = 0.29 mm	Yd = 1.83 gr/cm3	
D30 = 2.73 mm	Yw = 1.00 gr/cm3	
D60 = 12.53 mm	e = 0.34	
CU = 43.53	emin = 0.22	
CC = 2.06	emax = 0.43	



dmax (mm)	D10	D60	Cu
4.76	0.146	1.99	13.59
19.1	0.189	4.71	24.90
38.1	0.235	7.62	32.37

dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
4.76	0.317	0.557
19.1	0.264	0.486
38.1	0.244	0.459



dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
76.2	0.222	0.428

$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100$	
Dr (%) =	43.60 %

DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA - MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA

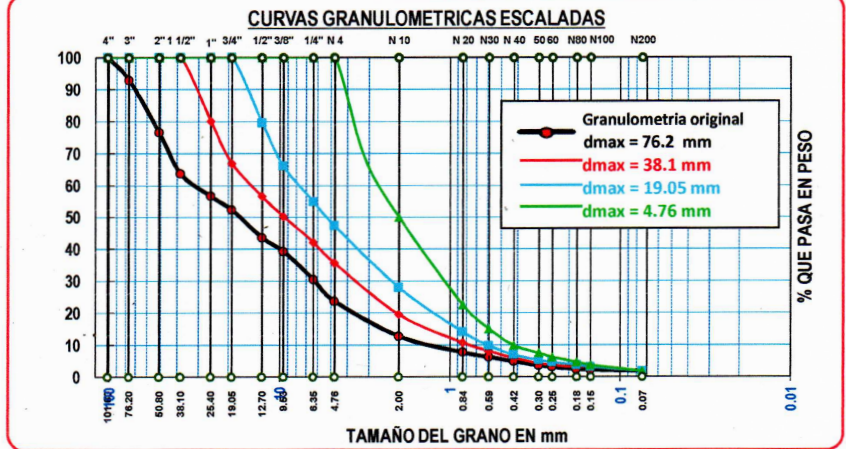
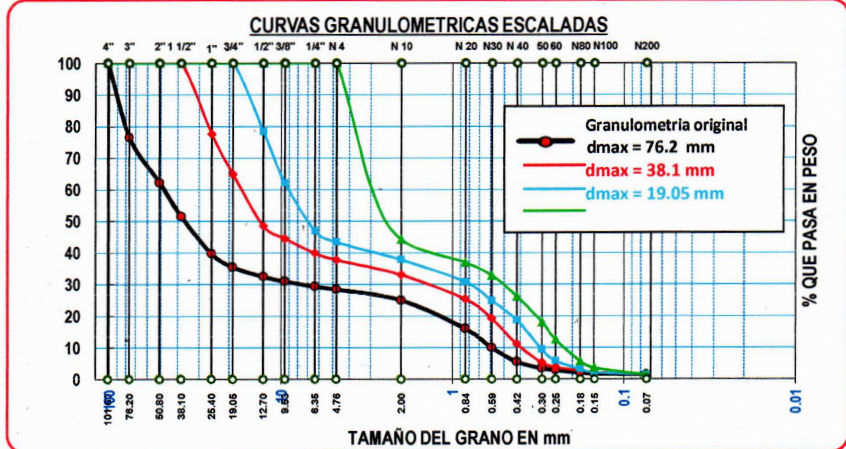
PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito Santa Lucia - Provincia de Lampa
Nº DE CALICATA	: C - 07
PROF. DE MUESTRA	: 2.10 - 2.80m
CLASIFICACION SUCS	: GW (Grava bien graduada con arena, con presencia de bolones en un 23.47%)

CARACT. GRANULOMETRICAS	DATOS	FORMULAS
W% = 3.85 %	Gs = 2.45	$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100\%$ $e_{min} = 0.7008 (Cu)^{-0.3040}$ $e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$ $e = \frac{Gs * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$
D10 = 0.59 mm	Yd = 1.82 gr/cm3	
D30 = 7.65 mm	Yw = 1.00 gr/cm3	
D60 = 48.15 mm	e = 0.35	
CU = 81.32	emin = 0.21	
CC = 2.05	emax = 0.42	

DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA - MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito Santa Lucia - Provincia de Lampa
Nº DE CALICATA	: C-08
PROF. DE MUESTRA	: 1.50 - 2.80m
CLASIFICACION SUCS	: GW (Grava bien graduada con arena, con presencia de bolones en un 7.08%)

CARACT. GRANULOMETRICAS	DATOS	FORMULAS
W% = 8.91 %	Gs = 2.47	$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100\%$ $e_{min} = 0.7008 (Cu)^{-0.3040}$ $e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$ $e = \frac{Gs * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$
D10 = 1.25 mm	Yd = 1.81 gr/cm3	
D30 = 6.12 mm	Yw = 1.00 gr/cm3	
D60 = 30.61 mm	e = 0.37	
CU = -24.57	emin = 0.24	
CC = 1.0	emax = 0.45	

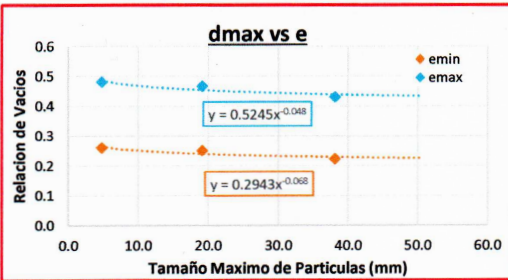


dmax (mm)	D10	D60	Cu
4.76	0.224	5.78	25.84
19.1	0.308	9.08	29.50
38.1	0.397	17.14	43.21

dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
4.76	0.261	0.482
19.1	0.251	0.468
38.1	0.223	0.432

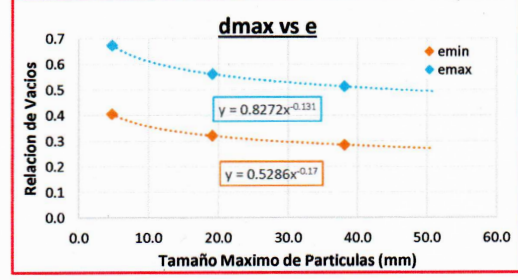
dmax (mm)	D10	D60	Cu
4.76	0.422	2.55	6.04
19.1	0.598	7.80	13.04
38.1	0.766	14.78	19.30

dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
4.76	0.406	0.675
19.1	0.321	0.562
38.1	0.285	0.514



dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
101.6	0.215	0.420

Dr (%) =	36.37 %
----------	---------



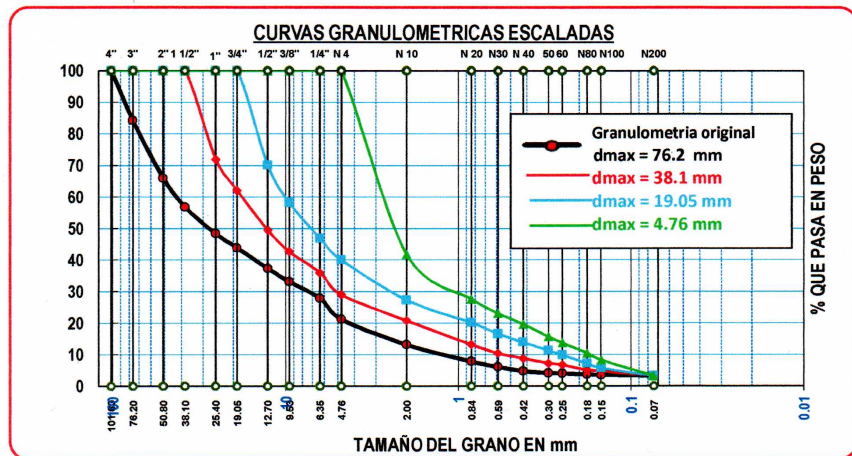
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
101.6	0.241	0.452

DR (%) =	38.60 %
----------	---------

DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA - MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA

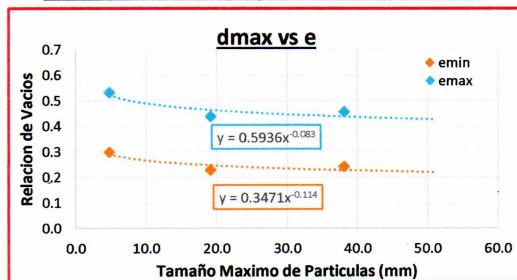
PROYECTO DE TESIS	:"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito Santa Lucia - Provincia de Lampa
N° DE CALICATA	: C - 09
PROF. DE MUESTRA	: 1.40 - 2.80m
CLASIFICACION SUCS	: GW (Grava bien graduada con arena, con presencia de bolones en un 15.77%)

CARACT. GRANULOMETRICAS	DATOS	FORMULAS
W% = 7.68 %	Gs = 2.46	$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100\%$ $e_{min} = 0.7008 (Cu)^{-0.3040}$ $e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$ $e = \frac{Gs * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$
D10 = 1.31 mm	Yd = 1.84 gr/cm3	
D30 = 7.65 mm	Yw = 1.00 gr/cm3	
D60 = 42.43 mm	e = 0.33	
CU = 32.40	emin = 0.20	
CC = 1.05	emax = 0.40	



dmax (mm)	D10	D60	Cu
4.76	0.172	2.86	16.61
19.1	0.250	10.00	39.91
38.1	0.541	17.98	33.22

dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
4.76	0.298	0.532
19.1	0.228	0.439
38.1	0.242	0.456



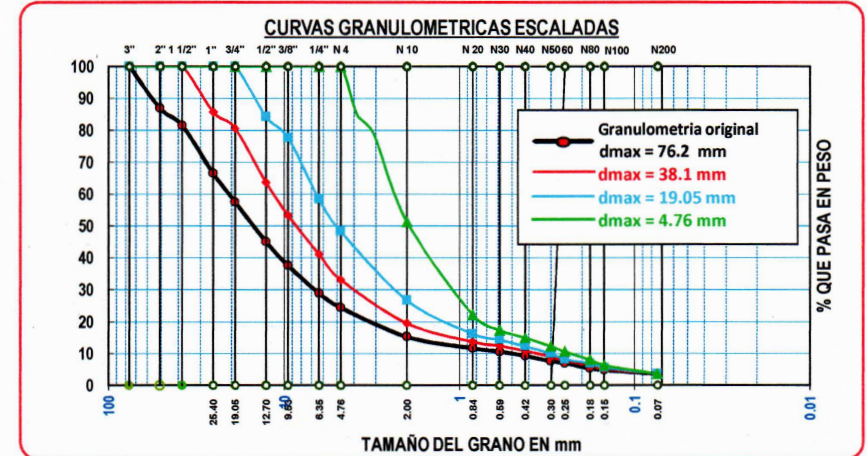
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
101.6	0.205	0.405

$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100$
Dr (%) = 36.92 %

DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA - MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA

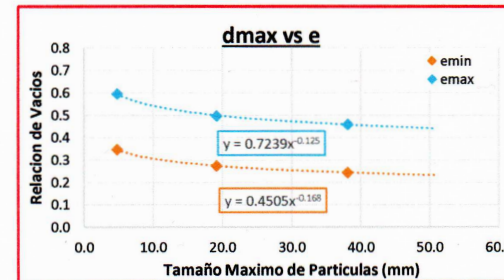
PROYECTO DE TESIS	:"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito Santa Lucia - Provincia de Lampa
N° DE CALICATA	: C - 10
PROF. DE MUESTRA	: 1.40 - 2.60m
CLASIFICACION SUCS	: GP (Grava mal graduada con arena)

CARACT. GRANULOMETRICAS	DATOS	FORMULAS
W% = 9.73 %	Gs = 2.43	$DR(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100\%$ $e_{min} = 0.7008 (Cu)^{-0.3040}$ $e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$ $e = \frac{Gs * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$
D10 = 0.51 mm	Yd = 1.77 gr/cm3	
D30 = 6.77 mm	Yw = 1.00 gr/cm3	
D60 = 20.79 mm	e = 0.37	
CU = 40.85	emin = 0.22	
CC = 4.33	emax = 0.42	



dmax (mm)	D10	D60	Cu
4.76	0.232	2.34	10.12
19.1	0.299	6.81	22.06
38.1	0.363	11.57	31.86

dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
4.76	0.347	0.596
19.1	0.274	0.499
38.1	0.245	0.460



dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
76.2	0.218	0.421

$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100$
Dr (%) = 26.59 %

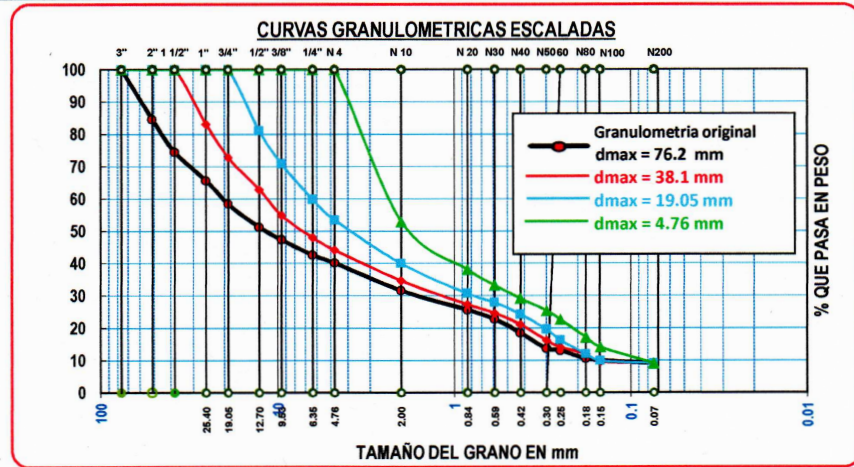
DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA - MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA

PROYECTO DE TESIS	:"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN	: Barrio Belen - Distrito Santa Lucia - Provincia de Lampa
Nº DE CALICATA	: C - 11
PROF. DE MUESTRA	: 0.60 - 2.50m
CLASIFICACION SUCS	: GW-GM (Grava bien graduada con limo y arena)

CARACT. GRANULOMETRICAS	
W%	= 7.20 %
D10	= 0.15 mm
D30	= 1.70 mm
D60	= 20.43 mm
CU	= 137.60
CC	= 0.95

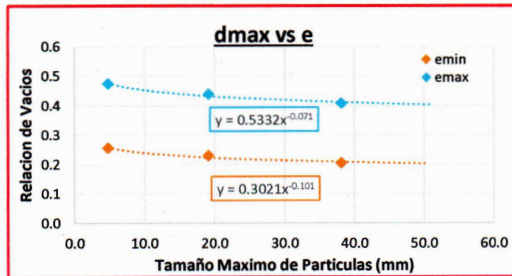
DATOS	
Gs	= 2.44
Yd	= 1.84 gr/cm3
Yw	= 1.00 gr/cm3
e	= 0.32
emin	= 0.20
emax	= 0.39

FORMULAS	
$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100\%$	
$e_{min} = 0.7008 (Cu)^{-0.3040}$	
$e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$	
$e = \frac{Gs * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$	



Cu de Granulometrías escaladas			
dmax (mm)	D10	D60	Cu
4.76	0.088	2.41	27.53
19.1	0.162	6.39	39.35
38.1	0.204	11.53	56.61

Relación de vacíos		
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
4.76	0.256	0.475
19.1	0.229	0.440
38.1	0.205	0.408



e _{min} y e _{max} buscados		
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
76.2	0.195	0.394

Densidad Relativa	
$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100$	
Dr (%) =	37.02 %

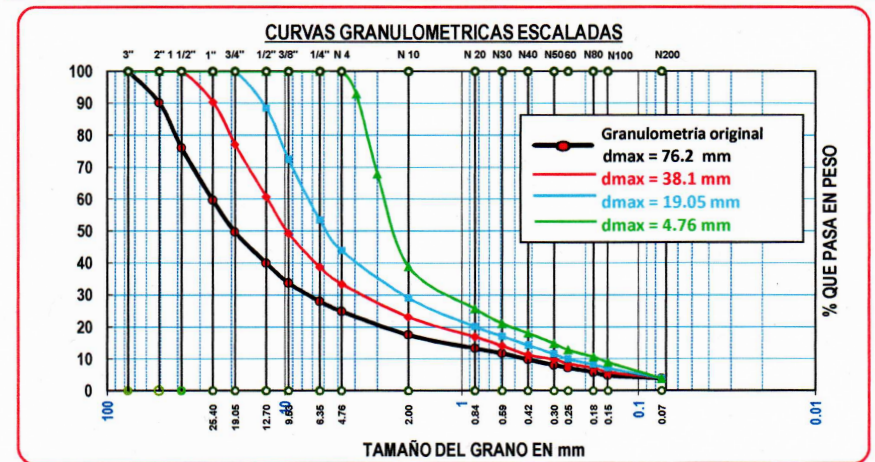
DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA - MEDIANTE ENSAYOS DE ESCALA REDUCIDA

PROYECTO DE TESIS	:"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN	: Barrio Belen - Distrito Santa Lucia - Provincia de Lampa
Nº DE CALICATA	: C - 12
PROF. DE MUESTRA	: 1.80 - 3.00 m
CLASIFICACION SUCS	: GP (Grava mal graduada con arena)

CARACT. GRANULOMETRICAS	
W%	= 5.67 %
D10	= 0.44 mm
D30	= 7.46 mm
D60	= 25.68 mm
CU	= 58.34
CC	= 4.92

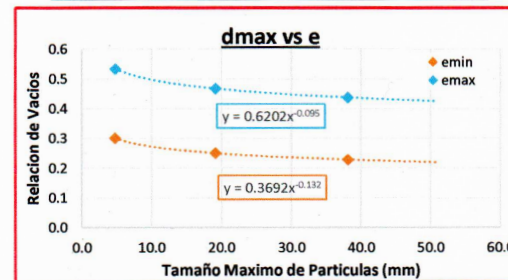
DATOS	
Gs	= 2.40
Yd	= 1.76 gr/cm3
Yw	= 1.00 gr/cm3
e	= 0.36
emin	= 0.21
emax	= 0.41

FORMULAS	
$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100\%$	
$e_{min} = 0.7008 (Cu)^{-0.3040}$	
$e_{min} = 0.751 e_{max} - 0.101$	
$e = \frac{Gs * \gamma_w}{\gamma_d} - 1$	



Cu de Granulometrías escaladas			
dmax (mm)	D10	D60	Cu
4.76	0.168	2.73	16.21
19.1	0.252	7.44	29.57
38.1	0.313	12.49	39.93

Relación de vacíos		
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
4.76	0.301	0.535
19.1	0.250	0.468
38.1	0.229	0.439



e _{min} y e _{max} buscados		
dmax (mm)	e _{min}	e _{max}
76.2	0.208	0.411

Densidad Relativa	
$Dr(\%) = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} * 100$	
Dr (%) =	24.01 %

Anexo B :

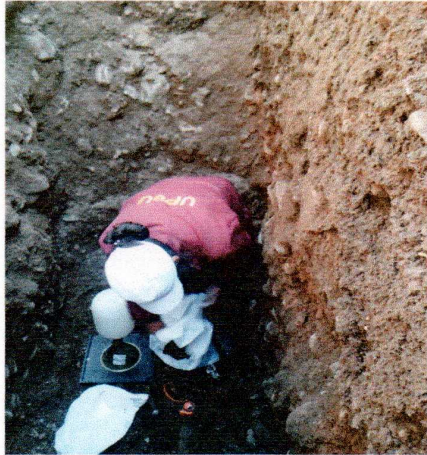

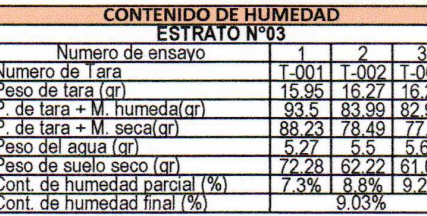
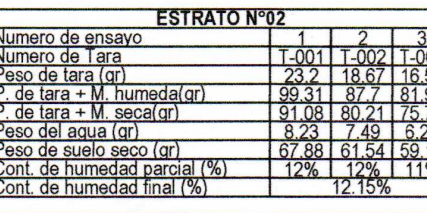
“Certificados de laboratorio”

Los certificados de laboratorio de Mecánica de Suelos son presentados para cada punto de estudio en el siguiente orden:

- Representación del perfil estratigráfico.
- Análisis Granulométrico, Limite Líquido y Limite Plástico.
- Ensayo de Densidad de Campo.
- Ensayo de Densidades Máximas y mínimas.

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	FECHA DE EJEC. DE CALICATA	: 18 de octubre del 2015

PERFIL ESTRATIGRÁFICO	Coordenadas de Ubicación X : 327582.78 Coordenadas de ubicación Y : 8263078.37 N° del punto de exploración : C - 01
------------------------------	--

COTA	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO							
0.00	ESTRATO - 01	MATERIAL ORGANICO								
0.05				Presencia de material organico con raíces de vegetales						
0.10			ESTRATO - 02	SW-SM						
0.15						Arena bien graduada con limo y grava				
0.20					ESTRATO E - 03	GW-GM				
0.25								Grava bien graduada con limo y arena		
0.30							ESTRATO - 04	GP		
0.35										Grava mal graduada con arena
0.40										
0.45										
0.50										
0.55										
0.60										
0.65										
0.70										
0.75										
0.80										
0.85										
0.90										
0.95										
1.00										
1.05										
1.10										
1.15										
1.20										
1.25										
1.30										
1.35										
1.40										
1.45										
1.50										
1.55										
1.60										
1.65										
1.70										
1.75										
1.80										
1.85										
1.90										
2.00										
2.05										
2.10										
2.15										
2.20										
2.25										
2.30										
2.35										
2.40										
2.45										
2.50										
2.55										
2.60										
2.65										
2.70										
2.75										
2.80										
2.85										
2.90										
2.95										
3.00										

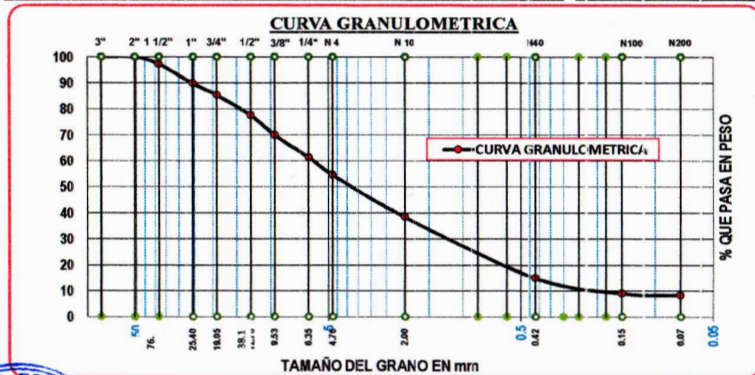
CONTENIDO DE HUMEDAD			
ESTRATO N°03			
Numero de ensayo	1	2	3
Numero de tara	T-001	T-002	T-003
Peso de tara (gr)	15.95	16.27	16.23
P. de tara + M. humeda (gr)	93.5	83.99	82.93
P. de tara + M. seca (gr)	88.23	78.49	77.3
Peso del agua (gr)	5.27	5.5	5.63
Peso de suelo seco (gr)	72.28	62.22	61.07
Cont. de humedad parcial (%)	7.3%	8.8%	9.2%
Cont. de humedad final (%)		9.03%	

ESTRATO N°02			
Numero de ensayo	1	2	3
Numero de tara	T-001	T-002	T-003
Peso de tara (gr)	23.2	18.67	16.54
P. de tara + M. humeda (gr)	99.31	87.7	81.98
P. de tara + M. seca (gr)	91.08	80.21	75.73
Peso del agua (gr)	8.23	7.49	6.25
Peso de suelo seco (gr)	67.88	61.54	59.19
Cont. de humedad parcial (%)	12%	12%	11%
Cont. de humedad final (%)		12.15%	


Ing. Eder Mamani Chambi
 CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

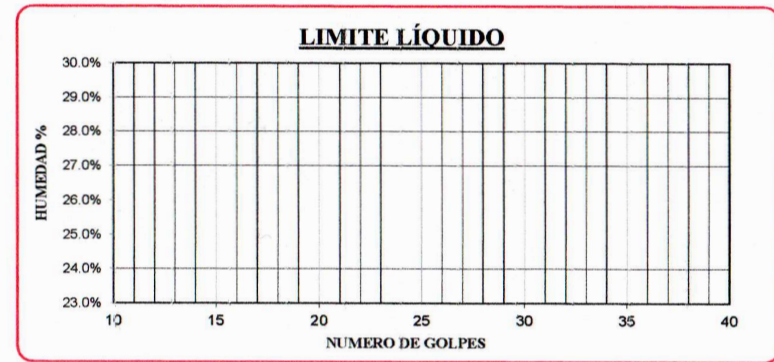
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"					
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	: C - 01					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 11 de enero del 2016					
ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 02 Nro de Muestra : M - 01 (Unica) Prof. de la Muestra : C 40 - 1.40 m Clasificación SUCS : SW-SM (Arena Bien Graduada con Limo y Grava) Estado de la Muestra : Filterada					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA ASTM - D 422						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicia : 6000.00 gr.
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicia Lavado : 200.00 gr.
1 1/2"	38.1	167.00	2.78	2.78	97.22	Peso Perdido : 30.30 gr.
1"	25.4	448.00	7.47	10.25	89.75	
3/4"	19.05	267.00	4.45	14.70	85.30	
1/2"	12.7	464.00	7.73	22.43	77.57	
3/8"	9.53	454.00	7.57	30.00	70.00	
1/4"	6.35	516.00	8.60	38.60	61.40	
No4	4.76	414.00	6.90	45.50	54.50	
No10	2.00	56.12	0.93	56.43	43.57	
No40	0.42	85.98	1.43	57.86	42.14	
No100	0.15	22.05	0.37	58.23	41.77	
No200	0.07	2.55	0.04	58.27	41.73	
BASE		30.30	0.51	58.78	41.22	
TOTAL		6000.00		100.00	0.00	
						LIMITES DE CONSISTENCIA
						Limite Liquido : NP
						Limite Plastico : NP
						Indice de Plasticidad : NP
						CARACT. GRANULOMETRICAS:
						D ₁₀ 0.20 mm
						D ₃₀ 1.43 mm
						D ₆₀ 6.03 mm
						C _u 30.71
						C _c 1.74



Ecler Mamani Chambi
Ing. Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TECNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		
PROYECTO	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"	
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa	
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	
Nº DE CALICATA	: C - 01	
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 11 de enero del 2016	
ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 02 Nro de Muestra : M - 01 (Unica) Prof. de la Muestra : C 40 - 1.40 m Clasificación SUCS : SW-SM (Arena Bien Graduada con Limo y Grava) Estado de la Muestra : Alterada	
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO NORMA ASTM D 4318		
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
Numero de Ensayo	1 2 3 4	1 2
Numero de Tara	T-001 T-002 T-003 T-004	T-001 T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr	0.00 gr 0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Humedo (gr)	0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr	0.00 gr 0.00 gr
Peso de Suelo Humedo (gr)	0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr	0.00 gr 0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr	0.00 gr 0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr	0.00 gr 0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr	0.00 gr 0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00 0.00 0.00 0.00	NP NP
Numero de Golpes	0 0 0 0	NP



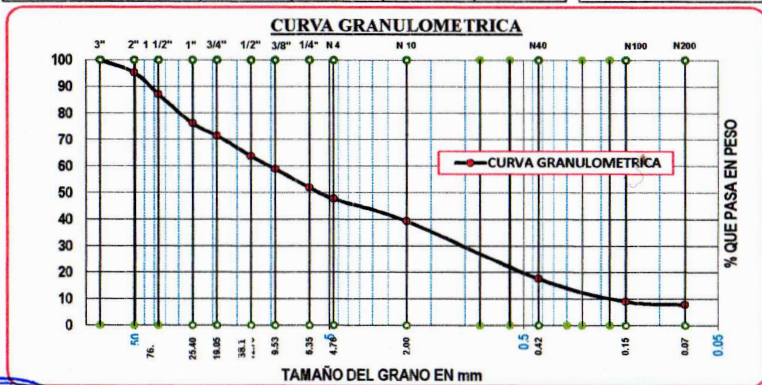
LIMITE LIQUIDO: NP LIMITE PLÁSTICO: NP INDICE DE PLASTICIDAD: NP



Ing. Ecler Mamani Chambi
Ing. Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TECNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"					
UBICACIÓN	Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	C - 01					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	12 de enero del 2016					
ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA ASTM - D 422	Nro de Estrato : E - 03					
	Nro de Muestra : M - 01 (Unica)					
	Prof. de la Muestra : 1.40 - 2.00 m					
	Clasificación SUCS : GW-GM (Grava Bien Graduada con Limo y Arena)					
	Estado de la Muestra : Alterada					
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
2"	50.8	285.00	4.75	4.75	95.25	Peso Inicial Lavado: 200.00 gr.
1 1/2"	38.1	495.00	8.25	13.00	87.00	Peso Perdido : 32.94 gr.
1"	25.4	654.00	10.90	23.90	76.10	LÍMITES DE CONSISTENCIA
3/4"	19.05	281.00	4.68	28.58	71.42	Limite Liquido : NP
1/2"	12.7	463.00	7.72	36.30	63.70	Limite Plastico : NP
3/8"	9.53	290.00	4.83	41.13	58.87	Indice d Plasticidad : NP
1/4"	6.35	416.00	6.93	48.07	51.93	CARACT. GRANULOMETRICAS
No4	4.76	254.00	4.23	52.30	47.70	D1C 0.18 mm
No10	2.00	35.31	8.42	60.72	39.28	D3C 1.32 mm
No40	0.42	90.95	21.69	82.41	17.59	D6C 10.27 mm
No100	0.15	35.68	8.51	90.92	9.08	CU- 57.57
No200	0.07	5.12	1.22	92.14	7.86	CC- 0.96
BASE		32.94	7.86	100.00	0.00	
TOTAL		6000.00				



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		
PROYECTO	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"	
UBICACIÓN	Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa	
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto	
Nº DE CALICATA	C - 01	
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	12 de enero del 2016	
ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO NORMA ASTM D 4318	Nro de Estrato : E - 03	
	Nro de Muestra : M - 01 (Unica)	
	Prof. de la Muestra : 1.40 - 2.00 m	
	Clasificación SUCS : GW-GM (Grava Bien Graduada con Limo y Arena)	
	Estado de la Muestra : Alterada	
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
Número de Ensayo	1	2
Número de Tara	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00
Número de Golpes	0	0



LÍMITE LÍQUIDO : NP LÍMITE PLÁSTICO : NP INDICE DE PLASTICIDAD : NP

Ecler Mamani Chambi
Bach. Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TECNICO DE LABORATORIO

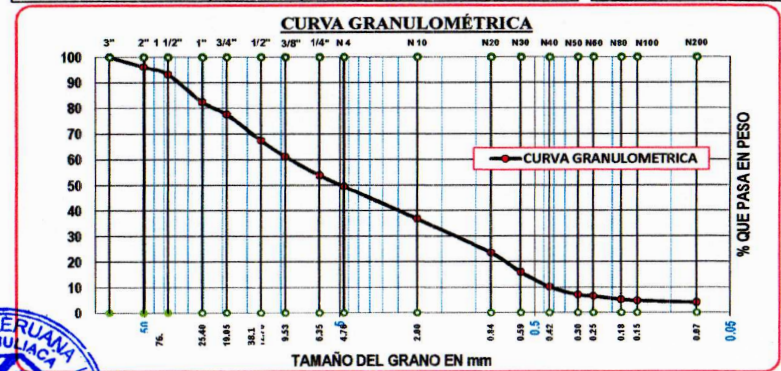
Ecler Mamani Chambi
Bach. Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TECNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : *Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*
UBICACION : Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
Nº DE CALICATA : C - 01 **FECHA DE EJEC.DE ENSAYO** : 13 de enero del 2016

ENSAYO:
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
 Nro de Estrato : E - 04
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 2.00 - 3.00 m
 Clasificación SUCS : GP (Grava Mal Graduada con Arena)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM - D 422

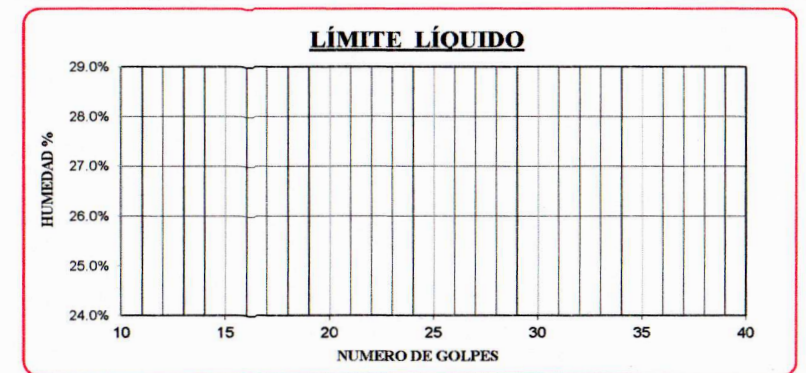
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
2"	50.8	232.00	3.87	3.87	96.13	Peso Lavado : 5757.75 gr.
1 1/2"	38.1	185.00	3.08	6.95	93.05	Peso Perdido : 242.25 gr.
1"	25.4	646.00	10.77	17.72	82.28	
3/4"	19.05	290.00	4.83	22.55	77.45	
1/2"	12.7	602.00	10.03	32.58	67.42	
3/8"	9.53	376.00	6.27	38.85	61.15	LÍMITES DE CONSISTENCIA
1/4"	6.35	443.00	7.38	46.23	53.77	Limite Líquido : NP
No4	4.76	263.00	4.38	50.62	49.38	Limite Plástico : NP
No10	2.00	759.00	12.65	63.27	36.73	Indice d Plasticidad : NP
No20	0.84	799.00	13.32	76.58	23.42	
No30	0.59	452.00	7.53	84.12	15.88	
No40	0.42	340.00	5.67	89.78	10.22	CARACT. GRANULOMÉTRICAS
No 50	0.30	188.26	3.14	92.92	7.08	D10 = 0.41 mm
No60	0.25	34.12	0.57	93.49	6.51	D30 = 1.41 mm
No80	0.18	79.57	1.33	94.82	5.18	D60 = 9.03 mm
No100	0.15	25.87	0.43	95.25	4.75	CU = 21.93
No200	0.07	42.93	0.72	95.96	4.04	CC = 0.537
BASE		242.25	4.04	100.00	0.00	
TOTAL		6000.00				



PROYECTO DE TESIS : *Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*
UBICACION : Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
Nº DE CALICATA : C - 01 **FECHA DE EJEC.DE ENSAYO** : 13 de enero del 2016

ENSAYO:
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO
 Nro de Estrato : E - 04
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 2.00 - 3.00 m
 Clasificación SUCS : GP (Grava Mal Graduada con Arena)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM D 4318


DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	NP	NP
Número de Golpes	0	0	0	0	NP	



LIMITE LIQUIDO NP LIMITE PLÁSTICO : NP INDICE DE PLASTICIDAD: NP


 Ing. Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO


 Ing. Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	---	---

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto		
N° DE CALICATA	: C - 01	FECHA DE EJECUCIÓN	: 18 de octubre del 2015

ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 04
DENSIDAD DE CAMPO	Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
NORMA ASTM D 1556, MTC E117	Prof. de la Muestra : 2.00 - 3.00 m
	Metodo de Prueba : Cono de Arena

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Numero de Ensayo	1	2	3
Numero de Frasco	F-001	F-002	F-003
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6067.00	6064.00	6052.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	4290.00	4321.00	4296.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1777.00	1743.00	1756.00
Peso de la Arena en el Cono Promedio (gr)	1758.67		
Volumen del Molde (cm ³)	2086.27	2086.27	2086.27
Peso de Molde (gr)	6826.00	6826.00	6826.00
Peso de Molde + Arena (gr)	9795.00	9697.00	9692.00
Peso de Arena (gr)	2969.00	2871.00	2866.00
Densidad de Arena Parcial (gr/cm ³)	1.42	1.38	1.37
Densidad de Arena Promedio (gr/cm³)	1.39 gr/cm³		



DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	5792.00		
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	975.00		
Peso de Arena en Hoyo + Cono (gr)	4817.00		
Peso de Arena en Hoyo (gr)	3058.33		
Volumen de Arena en Hoyo (cm ³)	2198.66		
Peso de Material Extraido (gr)	4129.00		
Densidad Humeda en Campo	1.88 gr/cm³		

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Numero de Ensayo	1	2	3
Numero de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	17.27	16.49	18.52
Peso de Tara + Muestra Humeda (gr)	114.73	99.78	114.28
Peso de Muestra Humeda (gr)	97.46	83.29	95.76
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	109.08	95.16	108.76
Peso de Muestra Seca (gr)	91.81	78.67	90.24
Peso del Agua (gr)	5.65	4.62	5.52
Contenido de Humedad Parcial (%)	6.15%	5.87%	6.12%
Contenido de Humedad Final (%)	6.05%		
Densidad Seca	1.77 gr/cm³		




Ing. Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	---	---

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto		
N° CALICATA	: C-01	FECHA DE EJECUCIÓN	: 15 de febrero del 2016

ENSAYO:	Nro de Estrato : E-04
DENSIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS	Prof. de la Muestra : 2.00 - 3.00m
	Estado de la Muestra : Alterada
	% finos : 4.04 %

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	14.84	14.84	14.84
Volumen de Molde (cm ³)	5185.45		
Peso de Molde (gr)	7881.00	7881.00	7881.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	16397.00	16342.00	16345.00
Peso de Muestra (gr)	8516.00	8461.00	8464.00
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.64	1.63	1.63
Densidad Mínima Promedio (gr/cm³)	1.64 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	15.20	15.20	15.20
Volumen de Molde (cm ³)	5443.75		
Peso de Molde (gr)	8570.00	8570.00	8570.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	19732.00	19761.00	19778.00
Peso de Muestra (gr)	11162.00	11191.00	11208.00
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.05	2.06	2.06
Densidad Máxima Promedio (gr/cm³)	2.06 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA	
Densidad Insitu (gr/cm ³)	1.77 gr/cm ³
Densidad Seca Mínima (gr/cm ³)	1.64 gr/cm ³
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.06 gr/cm ³
Densidad Relativa (%)	37.46%





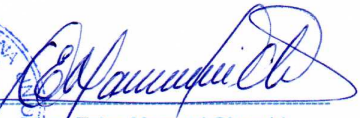

Ing. Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN : Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto **FECHA DE EJECUCIÓN** : 18 de octubre del 2015

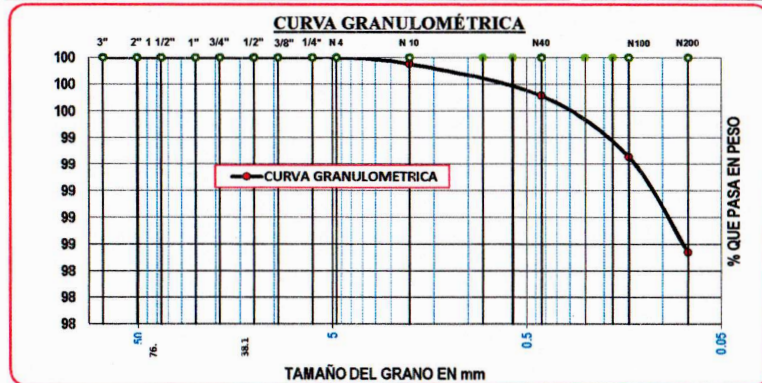
PERFIL ESTRATIGRÁFICO
 Coordenadas de Ubicación X : 327773.53
 Coordenadas de ubicación Y : 8263221.19
 N° del punto de exploración : C - 02

COTA	SIMBOLOGIA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO																																																																																				
0.00	ESTRATO - 01	<div style="border: 1px solid red; padding: 5px; text-align: center;">MATERIAL DE RELLENO</div> Material de relleno de consistencia dura en un estado seco																																																																																					
0.05																																																																																							
0.10																																																																																							
0.15																																																																																							
0.20																																																																																							
0.25																																																																																							
0.30																																																																																							
0.35																																																																																							
0.40																																																																																							
0.45																																																																																							
0.50	ESTRATO - 02	<div style="border: 1px solid green; padding: 5px; text-align: center;">MH</div> Limo elastico arenoso de color negro																																																																																					
0.55																																																																																							
0.60																																																																																							
0.65																																																																																							
0.70																																																																																							
0.75																																																																																							
0.80																																																																																							
0.85																																																																																							
0.90																																																																																							
0.95																																																																																							
1.00	ESTRATO - 03	<div style="border: 1px solid yellow; padding: 5px; text-align: center;">SP</div> Arena mal graduada con grava																																																																																					
1.05																																																																																							
1.10																																																																																							
1.15																																																																																							
1.20																																																																																							
1.25																																																																																							
1.30																																																																																							
1.35																																																																																							
1.40																																																																																							
1.45																																																																																							
1.50	ESTRATO - 04	<div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; text-align: center;">GP</div> Grava mal graduada con arena	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">CONTENIDO DE HUMEDAD</th> </tr> <tr> <th colspan="4">ESTRATO N°03</th> </tr> <tr> <th>Numero de ensayo</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Numero de Tara</td> <td>T-001</td> <td>T-002</td> <td>T-003</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara (gr)</td> <td>24.04</td> <td>22.44</td> <td>16.26</td> </tr> <tr> <td>P. de tara + M. humeda(gr)</td> <td>96.19</td> <td>97.99</td> <td>77.1</td> </tr> <tr> <td>P. de tara + M. seca(gr)</td> <td>93.2</td> <td>94.29</td> <td>74.18</td> </tr> <tr> <td>Peso del agua (gr)</td> <td>2.99</td> <td>3.7</td> <td>2.92</td> </tr> <tr> <td>Peso de suelo seco (gr)</td> <td>69.16</td> <td>71.85</td> <td>57.92</td> </tr> <tr> <td>Cont. de humedad parcial (%)</td> <td>4.3%</td> <td>5.1%</td> <td>5.0%</td> </tr> <tr> <td>Cont. de humedad final (%)</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">5.10%</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">ESTRATO N°02</th> </tr> <tr> <th>Numero de ensayo</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Numero de Tara</td> <td>T-001</td> <td>T-002</td> <td>T-003</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara (gr)</td> <td>16.42</td> <td>23.63</td> <td>23.29</td> </tr> <tr> <td>P. de tara + M. humeda(gr)</td> <td>64.01</td> <td>82.23</td> <td>77.84</td> </tr> <tr> <td>P. de tara + M. seca(gr)</td> <td>53.81</td> <td>69.69</td> <td>66.11</td> </tr> <tr> <td>Peso del agua (gr)</td> <td>10.2</td> <td>12.54</td> <td>11.73</td> </tr> <tr> <td>Peso de suelo seco (gr)</td> <td>37.39</td> <td>46.06</td> <td>42.82</td> </tr> <tr> <td>Cont. de humedad parcial (%)</td> <td>27%</td> <td>27%</td> <td>27%</td> </tr> <tr> <td>Cont. de humedad final (%)</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">27.30%</td> </tr> </tbody> </table>	CONTENIDO DE HUMEDAD				ESTRATO N°03				Numero de ensayo	1	2	3	Numero de Tara	T-001	T-002	T-003	Peso de tara (gr)	24.04	22.44	16.26	P. de tara + M. humeda(gr)	96.19	97.99	77.1	P. de tara + M. seca(gr)	93.2	94.29	74.18	Peso del agua (gr)	2.99	3.7	2.92	Peso de suelo seco (gr)	69.16	71.85	57.92	Cont. de humedad parcial (%)	4.3%	5.1%	5.0%	Cont. de humedad final (%)	5.10%			ESTRATO N°02				Numero de ensayo	1	2	3	Numero de Tara	T-001	T-002	T-003	Peso de tara (gr)	16.42	23.63	23.29	P. de tara + M. humeda(gr)	64.01	82.23	77.84	P. de tara + M. seca(gr)	53.81	69.69	66.11	Peso del agua (gr)	10.2	12.54	11.73	Peso de suelo seco (gr)	37.39	46.06	42.82	Cont. de humedad parcial (%)	27%	27%	27%	Cont. de humedad final (%)	27.30%		
CONTENIDO DE HUMEDAD																																																																																							
ESTRATO N°03																																																																																							
Numero de ensayo				1	2	3																																																																																	
Numero de Tara				T-001	T-002	T-003																																																																																	
Peso de tara (gr)				24.04	22.44	16.26																																																																																	
P. de tara + M. humeda(gr)				96.19	97.99	77.1																																																																																	
P. de tara + M. seca(gr)				93.2	94.29	74.18																																																																																	
Peso del agua (gr)				2.99	3.7	2.92																																																																																	
Peso de suelo seco (gr)				69.16	71.85	57.92																																																																																	
Cont. de humedad parcial (%)	4.3%	5.1%	5.0%																																																																																				
Cont. de humedad final (%)	5.10%																																																																																						
ESTRATO N°02																																																																																							
Numero de ensayo	1	2	3																																																																																				
Numero de Tara	T-001	T-002	T-003																																																																																				
Peso de tara (gr)	16.42	23.63	23.29																																																																																				
P. de tara + M. humeda(gr)	64.01	82.23	77.84																																																																																				
P. de tara + M. seca(gr)	53.81	69.69	66.11																																																																																				
Peso del agua (gr)	10.2	12.54	11.73																																																																																				
Peso de suelo seco (gr)	37.39	46.06	42.82																																																																																				
Cont. de humedad parcial (%)	27%	27%	27%																																																																																				
Cont. de humedad final (%)	27.30%																																																																																						
1.55																																																																																							
1.60																																																																																							
1.65																																																																																							
1.70																																																																																							
1.75																																																																																							
1.80																																																																																							
1.85																																																																																							
1.90																																																																																							
2.00																																																																																							
2.05																																																																																							
2.10																																																																																							
2.15																																																																																							
2.20																																																																																							
2.25																																																																																							
2.30																																																																																							
2.35																																																																																							
2.40																																																																																							
2.45																																																																																							
2.50																																																																																							
2.55																																																																																							
2.60																																																																																							
2.65																																																																																							
2.70																																																																																							
2.75																																																																																							
2.80																																																																																							
2.85																																																																																							
2.90																																																																																							
2.95																																																																																							
3.00																																																																																							

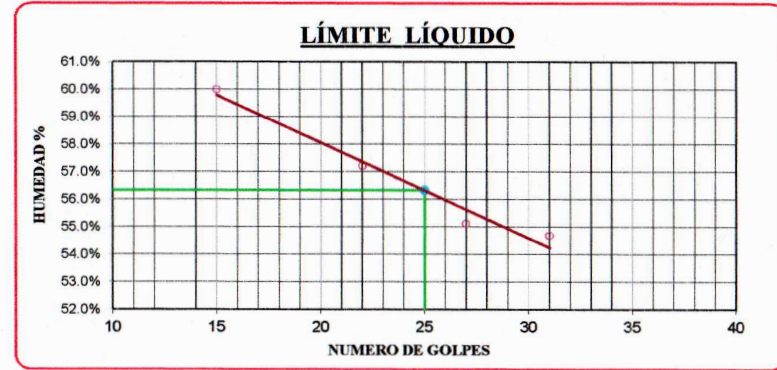

 Ing. Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"					
UBICACIÓN	Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	C - 02					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	14 de enero del 2016					
ENSAJO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA: ASTM - D 422	Nro de Estrato	E - 02				
	Nro de Muestra	M - 01 (Unica)				
	Prof. de la Muestra	0.20 - 1.10m				
	Clasificación SUCS	MH (Limo elastico arenoso)				
	Estado de la Muestra	Alterada				
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 300.00 gr.
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Lavado : 4.38 gr.
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Perdido : 295.62 gr.
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	LÍMITES DE CONSISTENCIA Limite Liquido : 56.32 % Limite Plastico : 35.92 % Indice d Plasticidad : 20.41 %
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.7	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
No4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	CARACT. GRANULOMÉTRICAS D10 = NP D30 = NP D60 = NP CU = NP CC = NP
No10	2.00	0.14	0.05	0.05	99.95	
No40	0.42	0.72	0.24	0.29	99.71	
No100	0.15	1.38	0.46	0.75	99.25	
No200	0.07	2.14	0.71	1.46	98.54	
BASE		295.62	98.54	100.00	0.00	
TOTAL		300.00				



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"					
UBICACIÓN	Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	C - 02					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	14 de enero del 2016					
ENSAJO: LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO NORMA: ASTM D 4318	Nro de Estrato	E - 02				
	Nro de Muestra	M - 01 (Unica)				
	Prof. de la Muestra	0.20 - 1.10m				
	Clasificación SUCS	MH (Limo elastico arenoso)				
	Estado de la Muestra	Alterada				
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO			
Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	23.21 gr	20.82 gr	20.80 gr	16.39 gr	8.36 gr	8.02 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	35.09 gr	34.30 gr	32.34 gr	26.15 gr	10.77 gr	11.46 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	11.88 gr	13.48 gr	11.54 gr	9.76 gr	2.41 gr	3.44 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	30.89 gr	29.51 gr	28.14 gr	22.49 gr	10.12 gr	10.57 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	7.68 gr	8.69 gr	6.10 gr	6.10 gr	1.76 gr	2.55 gr
Peso del Agua (gr)	4.20 gr	4.79 gr	4.20 gr	3.66 gr	0.65 gr	0.89 gr
Contenido de Humedad (%)	54.69%	55.12%	57.22%	60.00%	36.93%	34.90%
Número de Golpes	31	27	22	15	35.92%	



LIMITE LIQUIDO : 56.32 % LIMITE PLÁSTICO : 35.92 % ÍNDICE DE PLASTICIDAD : 20.41 %

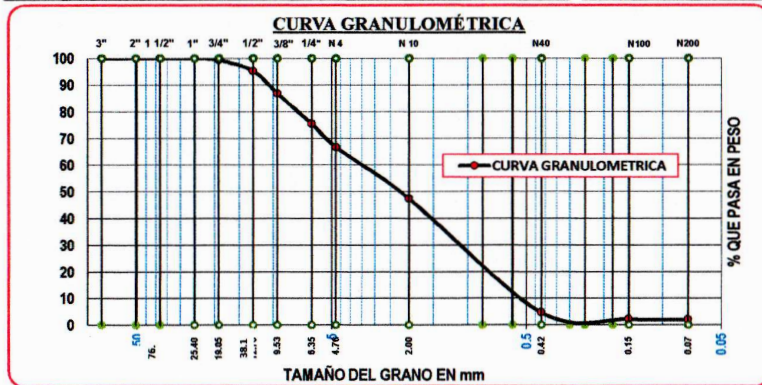
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Ing. Eciler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Ing. Eciler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"					
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba					
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto					
N° DE CALICATA	: C - 02					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 15 de enero del 2016					
ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 03 Nro de Muestra : M - 01 (Unica) Prof. de la Muestra : 1.10 - 1.80 m Clasificación SUCS : SP (Arena Mal Graduada con Grava) Estado de la Muestra : Alterada					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA: ASTM - D 422						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial Lavado: 200.00 gr.
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Perdido : 5.90 gr.
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	39.00	0.65	0.65	99.35	LÍMITES DE CONSISTENCIA
1/2"	12.7	244.00	4.07	4.72	95.28	Limite Liquido : NP
3/8"	9.53	509.00	8.48	13.20	86.80	Limite Plastico : NP
1/4"	6.35	677.00	11.28	24.48	75.52	Indice d Plasticidad : NP
No4	4.76	531.00	8.85	33.33	66.67	
No10	2.00	58.00	19.33	52.67	47.33	CARACT. GRANULOMÉTRICAS
No40	0.42	128.00	42.67	95.33	4.67	D10 = 0.62 mm
No100	0.15	7.48	2.49	97.83	2.17	D30 = 1.36 mm
No200	0.07	0.62	0.21	98.03	1.97	D60 = 3.81 mm
BASE		5.90	1.97	100.00	0.00	CU = 6.17
TOTAL		6000.00				CC = 0.78



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FILIAL JULIACA
E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

[Signature]
Ing. Elier Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

[Signature]
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		
PROYECTO	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"	
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba	
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	
N° DE CALICATA	: C - 02	
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 15 de enero del 2016	
ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 03 Nro de Muestra : M - 01 (Unica) Prof. de la Muestra : 1.10 - 1.80 m Clasificación SUCS : SP (Arena Mal Graduada con Grava) Estado de la Muestra : Alterada	
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO NORMA: ASTM D 4318		
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
Número de Ensayo	1 2 3 4	1 2
Número de Tara	T-001 T-002 T-003 T-004	T-001 T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr	0.00 gr 0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr	0.00 gr 0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr	0.00 gr 0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr	0.00 gr 0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr	0.00 gr 0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr 0.00 gr	0.00 gr 0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00 0.00 0.00 0.00	NP NP
Número de Golpes	0 0 0 0	NP



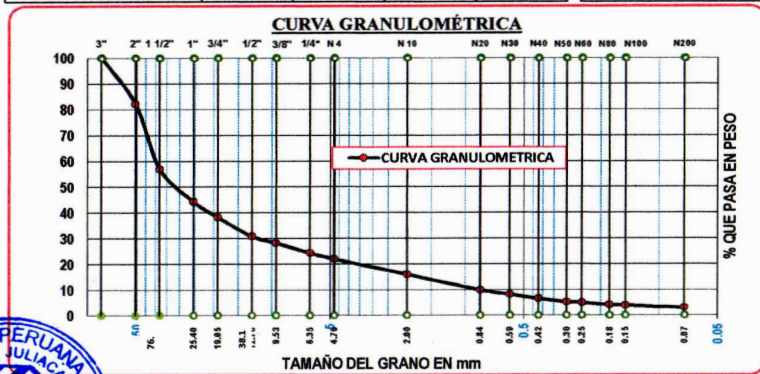
LÍMITE LÍQUIDO NP LÍMITE PLÁSTICO : NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD: NP

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FILIAL JULIACA
E.P. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

[Signature]
Ing. Elier Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

[Signature]
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

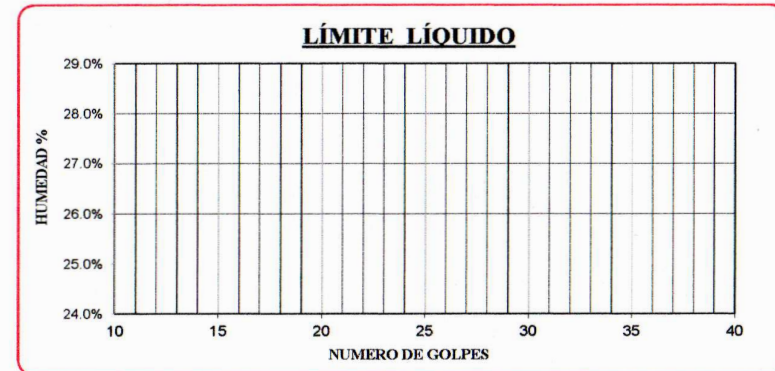
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"					
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba					
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	: C - 02	FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 18 de enero del 2016			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
NORMA: ASTM - D 422						
ENSAYO:		Nro de Estrato	: E - 04			
		Nro de Muestra	: M - 01 (Unica)			
		Prof. de la Muestra	: 1.80 - 3.00 m			
		Clasificación SUCS	: GP (Grava Mal Graduada con Arena)			
		Estado de la Muestra	: Alterada			
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
2"	50.8	1073.00	17.88	17.88	82.12	Peso Lavado : 5820.42 gr.
1 1/2"	38.1	1508.00	25.13	43.02	56.98	Peso Perdido : 179.58 gr.
1"	25.4	767.00	12.78	55.80	44.20	
3/4"	19.05	365.00	6.08	61.88	38.12	
1/2"	12.7	435.00	7.25	69.13	30.87	
3/8"	9.53	159.00	2.65	71.78	28.22	
1/4"	6.35	235.00	3.92	75.70	24.30	
No4	4.76	139.00	2.32	78.02	21.98	
No10	2.00	356.00	5.93	83.95	16.05	
No20	0.84	366.00	6.10	90.05	9.95	
No30	0.59	102.84	1.71	91.76	8.24	
No40	0.42	97.40	1.62	93.39	6.61	
No 50	0.30	82.44	1.37	94.76	5.24	
No60	0.25	14.87	0.25	95.01	4.99	
No80	0.18	50.82	0.85	95.86	4.14	
No100	0.15	14.01	0.23	96.09	3.91	
No200	0.07	55.04	0.92	97.01	2.99	
BASE		179.58	2.99	100.00	0.00	
TOTAL		6000.00				
LÍMITES DE CONSISTENCIA						
Limite Líquido : NP						
Limite Plástico : NP						
Índice d Plasticidad : NP						
CARACT. GRANULOMÉTRICAS						
D10 = 0.85 mm						
D30 = 11.66 mm						
D60 = 39.62 mm						
CU = 46.64						
CC = 4.04						



[Signature]
Ing. Eder Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

[Signature]
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS			
PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto		
Nº DE CALICATA	: C - 02	FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 18 de enero del 2016
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO			
NORMA: ASTM D 4318			
ENSAYO:		Nro de Estrato	: E - 04
		Nro de Muestra	: M - 01 (Unica)
		Prof. de la Muestra	: 1.80 - 3.00 m
		Clasificación SUCS	: GP (Grava Mal Graduada con Arena)
		Estado de la Muestra	: Alterada
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00
Número de Golpes	0	0	0
			NP



LÍMITE LÍQUIDO : NP LÍMITE PLÁSTICO : NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD : NP



[Signature]
Ing. Eder Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

[Signature]
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	---	---

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"	
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba	
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	
N° DE CALICATA	: C - 02	FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 18 de octubre del 2015

DENSIDAD DE CAMPO NORMA ASTM D 1556, MTC E117	ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 04
		Nro de Muestra : M - 01 (Única)
		Prof. de la Muestra : 1.80 - 3.00 m
		Metodo de Prueba : Cono de Arena

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Frasco	F-001	F-002	F-003
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6067	6064	6052
Peso de Arena + Cono + Frasco (después) gr	4290	4321	4296
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1777	1743	1756
Peso de la Arena en el Cono Promedio (gr)	1758.67		
Volumen del Molde (cm ³)	2086.27	2086.27	2086.27
Peso de Molde (gr)	6826	6826	6826
Peso de Molde + Arena (gr)	9795	9697	9692
Peso de Arena (gr)	2969	2871	2866
Densidad de Arena Parcial (gr/cm ³)	1.42	1.38	1.37
Densidad de Arena Promedio (gr/cm³)	1.39 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	5691.00		
Peso de Arena + Cono + Frasco (después) gr	963.00		
Peso de Arena en Hoyo + Cono (gr)	4728.00		
Peso de Arena en Hoyo (gr)	2969.33		
Volumen de Arena en Hoyo (cm ³)	2134.68		
Peso de Material Extraído (gr)	3986.00		
Densidad Húmeda en Campo	1.87 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	24.25	16.13	16.54
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr)	107.39	77.50	97.02
Peso de Muestra Húmeda (gr)	83.14	61.37	80.48
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	102.35	73.60	92.41
Peso de Muestra Seca (gr)	78.10	57.47	75.87
Peso del Agua (gr)	5.04	3.90	4.61
Contenido de Humedad Parcial (%)	6.45%	6.79%	6.08%
Contenido de Humedad Final (%)	6.44%		
Densidad Seca	1.75 gr/cm³		


Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P.INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"	
UBICACIÓN	: Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba	
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	
N° CALICATA	: C-02	FECHA DE EJECUCION : 16 de febrero del 2016

DENSIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS	ENSAYO:	Nro de Estrato : E-04
		Prof. de la Muestra : 1.80 - 3.00m
		Estado de la Muestra : Alterada
		% finos : 2.99 %

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	14.84	14.84	14.84
Volumen de Molde (cm ³)	5185.45		
Peso de Molde (gr)	7881.00	7881.00	7881.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	16468.00	16528.00	16485.00
Peso de Muestra (gr)	8587.00	8647.00	8604.00
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.66	1.67	1.66
Densidad Mínima Promedio (gr/cm³)	1.66 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	15.20	15.20	15.20
Volumen de Molde (cm ³)	5443.75		
Peso de Molde (gr)	8570.00	8570.00	8570.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	19907.00	19945.00	19892.00
Peso de Muestra (gr)	11337.00	11375.00	11322.00
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.08	2.09	2.08
Densidad Máxima Promedio (gr/cm³)	2.08 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA	
Densidad Insitu (gr/cm ³)	1.75 gr/cm ³
Densidad Seca Mínima (gr/cm ³)	1.66 gr/cm ³
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.08 gr/cm ³
Densidad Relativa (%)	26.22%


Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto	FECHA DE EJEC. DE CALICATA	: 18 de octubre del 2015

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Coordenadas de Ubicación X	: 327802.86
Coordenadas de ubicación Y	: 8263471.37
N° del punto de exploración	: C - 03

COTA	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO
0.00	ESTRATO - 01	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">MATERIAL DE RELLENO</div>	Material de relleno de consistencia dura
0.05			
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30			
0.35	ESTRATO - 02	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">GP-GM</div>	Grava mal graduada con limo
0.40			
0.45			
0.50			
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80			
0.85			
0.90			
0.95			
1.00			
1.05	ESTRATO - 03	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">GW</div>	Grava bien graduada con arena
1.10			
1.15			
1.20			
1.25			
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			
1.55			
1.60			
1.65			
1.70			
1.75			
1.80			
1.85			
1.90			
2.00			
2.05			
2.10			
2.15			
2.20			
2.25			
2.30			
2.35			
2.40			
2.45			
2.50			
2.55			
2.60			

CONTENIDO DE HUMEDAD			
ESTRATO N°02			
Numero de ensayo	1	2	3
Numero de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de tara (gr)	18.65	16.42	21.73
P. de tara + M. húmeda (gr)	84.52	81.64	78.19
P. de tara + M. seca (gr)	81.13	78.03	75.46
Peso del agua (gr)	3.39	3.61	2.73
Peso de suelo seco (gr)	62.48	61.61	53.73
Cont. de humedad parcial (%)	5.4%	5.9%	5.1%
Cont. de humedad final (%)	5.47%		


Ing. Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN : Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
Nº DE CALICATA : C - 03 **FECHA DE EJEC.DE ENSAYO** : 19 de enero del 2016

ENSAYO:
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
 Nro de Estrato : E - 02
 Nro de Muestra : M - 01 (Única)
 Prof. de la Muestra : 0.30 - 1.40m
 Clasificación SUCS : GP-GM (Grava mal graduada con limo)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM - D 422

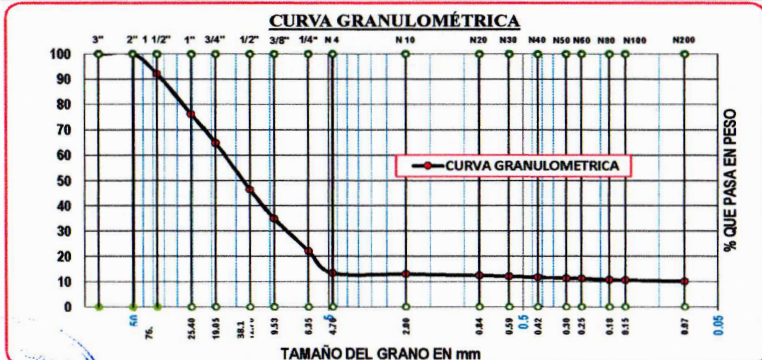
TAMCENES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	321.00	8.03	8.03	91.98
1"	25.4	633.00	15.83	23.85	76.15
3/4"	19.05	457.00	11.43	35.28	64.73
1/2"	12.7	733.00	18.33	53.60	46.40
3/8"	9.53	462.00	11.55	65.15	34.85
1/4"	6.35	516.00	12.90	78.05	21.95
No4	4.76	345.00	8.63	86.68	13.33
No10	2.00	13.72	0.34	87.02	12.98
No20	0.84	22.53	0.56	87.58	12.42
No30	0.59	12.53	0.31	87.89	12.11
No40	0.42	13.63	0.34	88.24	11.76
No 50	0.30	18.35	0.46	88.69	11.31
No60	0.25	5.68	0.14	88.84	11.16
No80	0.18	18.48	0.46	89.30	10.70
No100	0.15	6.18	0.15	89.45	10.55
No200	0.07	19.51	0.49	89.94	10.06
BASE		402.39	10.06	100.00	0.00
TOTAL		4000.00			

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
 Peso Inicial : 4000.00 gr.
 Peso Lavado : 3597.61 gr.
 Peso Perdido : 402.39 gr.

LIMITES DE CONSISTENCIA
 Limite Líquido : NP
 Limite Plástico : NP
 Índice d Plasticidad : NP

CARACT. GRANULOMÉTRICAS
 D10 = NP
 D30 = 8.33 mm
 D60 = 17.41 mm

CU = NP
 CC = NP



[Signature]
 Ing. Eder Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

[Signature]
 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN : Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
Nº DE CALICATA : C - 03 **FECHA DE EJEC.DE ENSAYO** : 19 de enero del 2016

ENSAYO:
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO
 Nro de Estrato : E - 02
 Nro de Muestra : M - 01 (Única)
 Prof. de la Muestra : 0.30 - 1.40m
 Clasificación SUCS : GP-GM (Grava mal graduada con limo)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM D 4318

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	NP	NP
Número de Golpes	0	0	0	0	NP	



LÍMITE LÍQUIDO : NP LÍMITE PLÁSTICO : NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD : NP



[Signature]
 Ing. Eder Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

[Signature]
 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

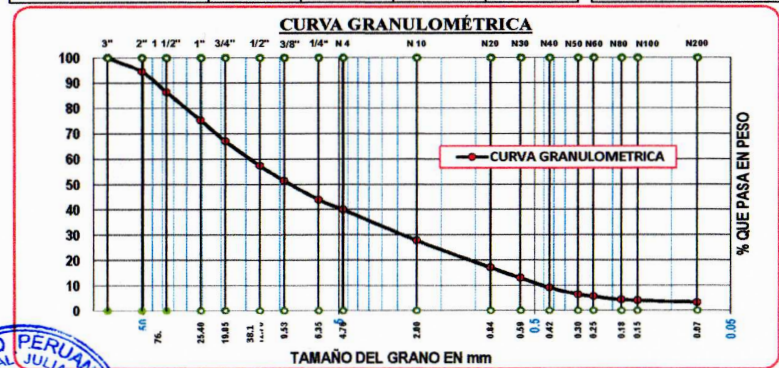
PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 N° DE CALICATA : C - 03 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 20 de enero del 2016

ENSAYO: **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**
 Nro de Estrato : E - 03
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 1.40 - 2.60m
 Clasificación SUCS : GW (Grava bien graduada con arena)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM - D 422

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 10000.0 gr.
2"	50.8	561.00	5.61	5.61	94.39	Peso Lavado : 9668.23 gr.
1 1/2"	38.1	814.00	8.14	13.75	86.25	Peso Perdido : 331.77 gr.
1"	25.4	1104.00	11.04	24.79	75.21	
3/4"	19.05	827.00	8.27	33.06	66.94	
1/2"	12.7	953.00	9.53	42.59	57.41	
3/8"	9.53	595.00	5.95	48.54	51.46	
1/4"	6.35	771.00	7.71	56.25	43.75	
No4	4.76	388.00	3.88	60.13	39.87	
No10	2.00	1211.00	12.11	72.24	27.76	
No20	0.84	1073.00	10.73	82.97	17.03	
No30	0.59	409.00	4.09	87.06	12.94	
No40	0.42	382.00	3.82	90.88	9.12	
No 50	0.30	268.26	2.68	93.56	6.44	
No60	0.25	82.94	0.83	94.39	5.61	
No80	0.18	124.40	1.24	95.64	4.36	
No100	0.15	36.27	0.36	96.00	4.00	
No200	0.07	68.36	0.68	96.68	3.32	
BASE		331.77		100.00	0.00	
TOTAL		10000.00				

LIMITES DE CONSISTENCIA
 Limite Liquido : NP
 Limite Plastico : NP
 Indice d Plasticidad : NP

CARACT. GRANULOMÉTRICAS
 D10 = 0.46 mm
 D30 = 2.51 mm
 D60 = 14.43 mm
 CU = 31.42
 CC = 1.0



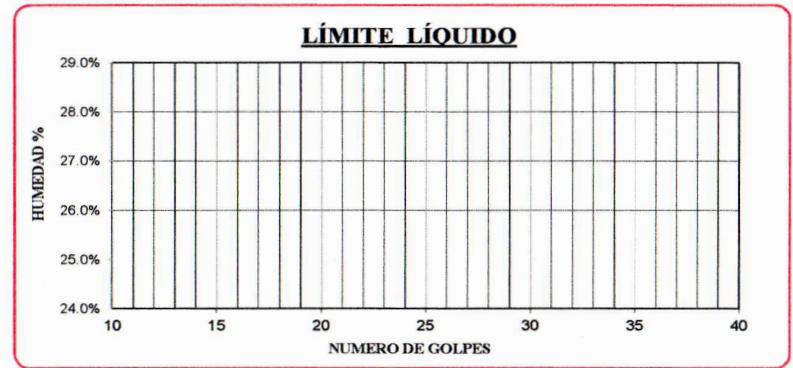
Ecler Mamani Chambi
 Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lamba
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 N° DE CALICATA : C - 03 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 20 de enero del 2016

ENSAYO: **LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO**
 Nro de Estrato : E - 03
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 1.40 - 2.60m
 Clasificación SUCS : GW (Grava bien graduada con arena)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM D 4318

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	NP	NP
Número de Golpes	0	0	0	0		NP



LÍMITE LÍQUIDO : NP LÍMITE PLÁSTICO : NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD : NP



Ecler Mamani Chambi
 Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 N° DE CALICATA : C - 03 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 18 de octubre del 2015

ENSAYO: **DENSIDAD DE CAMPO**
 NORMA ASTM D 1556, MTC E117

Nro de Estrato : E - 03
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 1.40 - 2.60m
 Metodo de Prueba : Cono de Arena

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Frasco	F-001	F-002	F-003
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6187.00	6192.00	6171.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	4659.00	4657.00	4593.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1528.00	1535.00	1578.00
Peso de la Arena en el Cono Promedio (gr)	1547.00		
Volumen del Molde (cm ³)	3012.21	3012.21	3012.21
Peso de Molde (gr)	7389.00	7389.00	7389.00
Peso de Molde + Arena (gr)	11515.00	11549.00	11483.00
Peso de Arena (gr)	4126.00	4160.00	4094.00
Densidad de Arena Parcial (gr/cm ³)	1.37	1.38	1.36
Densidad de Arena Promedio (gr/cm³)	1.37 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6538.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	3087.00
Peso de Arena en Hoyo + Cono (gr)	3451.00
Peso de Arena en Hoyo (gr)	1904.00
Volumen de Arena en Hoyo (cm ³)	1389.80
Peso de Material Extraído (gr)	2620.50
Densidad Húmeda en Campo	1.89 gr/cm³

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD		
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	16.80	16.37	16.31
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr)	93.38	88.01	89.39
Peso de Muestra Húmeda (gr)	76.58	71.64	73.08
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	89.38	84.16	85.35
Peso de Muestra Seca (gr)	72.58	67.79	69.04
Peso del Agua (gr)	4.00	3.85	4.04
Contenido de Humedad Parcial (%)	5.51%	5.68%	5.85%
Contenido de Humedad Final (%)	5.68%		
Densidad Seca	1.78 gr/cm³		


 Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio San Martín - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 N° CALICATA : C-03 FECHA DE EJECUCION : 17 de febrero del 2016

ENSAYO: **DENSIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS**

Nro de Estrato : E-03
 Prof. de la Muestra : 1.40 - 2.60m
 Estado de la Muestra : Alterada
 % finos : 3.32 %

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	14.84	14.84	14.84
Volumen de Molde (cm ³)	5185.45		
Peso de Molde (gr)	7881.00	7881.00	7881.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	16629.00	16670.00	16599.00
Peso de Muestra (gr)	8748.00	8789.00	8718.00
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.69	1.69	1.68
Densidad Mínima Promedio (gr/cm³)	1.69 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	15.20	15.20	15.20
Volumen de Molde (cm ³)	5443.75		
Peso de Molde (gr)	8570.00	8570.00	8570.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	19633.00	19650.00	19598.00
Peso de Muestra (gr)	11063.00	11080.00	11028.00
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.03	2.04	2.03
Densidad Máxima Promedio (gr/cm³)	2.03 gr/cm³		

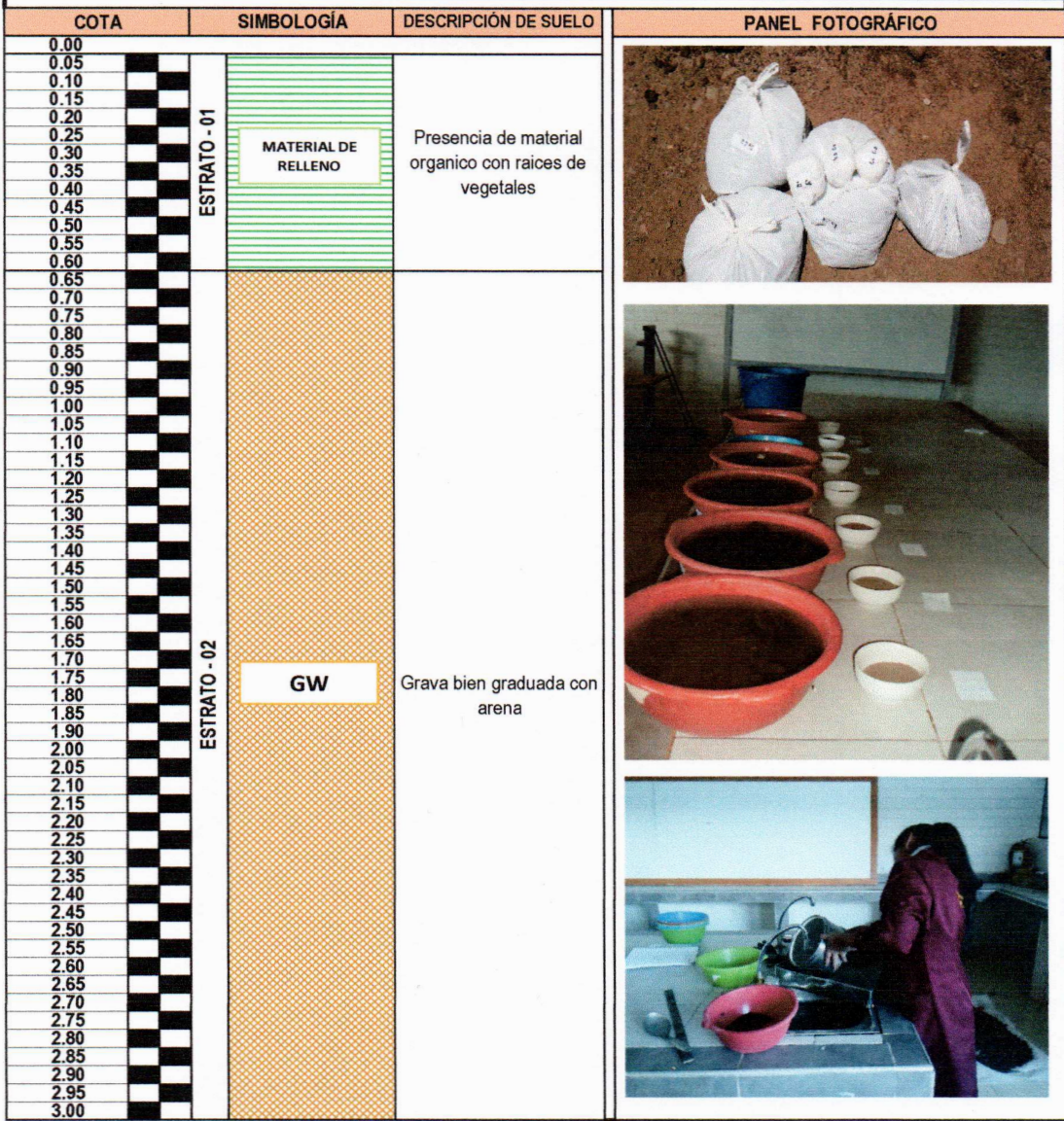
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA	
Densidad Insitu (gr/cm ³)	1.78 gr/cm ³
Densidad Seca Mínima (gr/cm ³)	1.69 gr/cm ³
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.03 gr/cm ³
Densidad Relativa (%)	31.97%


 Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio 25 de junio - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	FECHA DE EJEC. DE CALICATA	: 25 de octubre del 2015

<h2>PERFIL ESTRATIGRÁFICO</h2>	Coordenadas de Ubicación X : 328150.65 Coordenadas de ubicación Y : 8263690.26 N° del punto de exploración : C - 04
--------------------------------	--



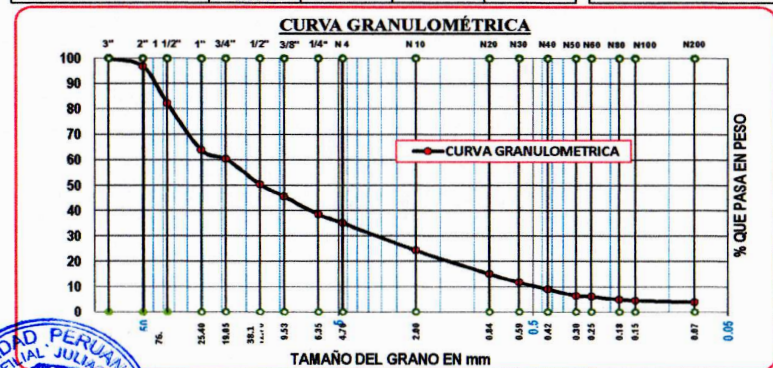
	 Eder Mamani Chambi CIP 124929 JEFE DE LABORATORIO
---	---

 Bach. Yesenia Apaza Pinto TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio 25 de junio - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 N° DE CALICATA : C - 04 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 21 de enero del 2016

ENSAYO: **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**
 Nro de Estrato : E - 02
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 0.60 - 3.00m
 Clasificación SUCS : GW (Grava bien graduada con arena)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM - D 422

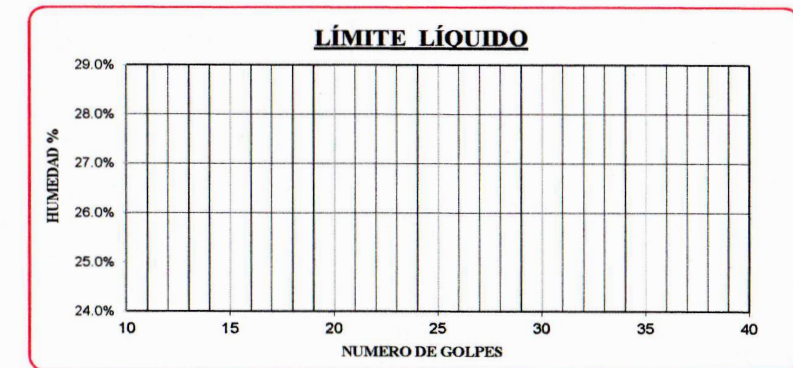
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	78.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr. Peso Lavado : 5763.64 gr. Peso Perdido : 236.36 gr.
2"	50.8	193.00	3.22	3.22	96.78	
1 1/2"	38.1	878.00	14.63	17.85	82.15	
1"	25.4	1101.00	18.35	36.20	63.80	LIMITES DE CONSISTENCIA Limite Liquido : NP Limite Plastico : NP Indice d Plasticidad : NP CARACT. GRANULOMÉTRICAS D10 = 0.48 mm D30 = 3.47 mm D60 = 18.87 mm CU = 39.17 CC = 1.32
3/4"	19.05	211.00	3.52	39.72	60.28	
1/2"	12.7	591.00	9.85	49.57	50.43	
3/8"	9.53	296.00	4.93	54.50	45.50	
1/4"	6.35	422.00	7.03	61.53	38.47	
No4	4.76	206.00	3.43	64.97	35.03	
No10	2.00	646.00	10.77	75.73	24.27	
No20	0.84	556.00	9.27	85.00	15.00	
No30	0.59	198.00	3.30	88.30	11.70	
No40	0.42	160.00	2.67	90.97	9.03	
No 50	0.30	154.00	2.57	93.53	6.47	
No60	0.25	21.39	0.36	93.89	6.11	
No80	0.18	67.14	1.12	95.01	4.99	
No100	0.15	26.40	0.44	95.45	4.55	
No200	0.07	36.71	0.61	96.06	3.94	
BASE		236.36	3.94	100.00	0.00	
TOTAL		6000.00				



PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio 25 de junio - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 N° DE CALICATA : C - 04 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 21 de enero del 2016

ENSAYO: **LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO**
 Nro de Estrato : E - 02
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 0.60 - 3.00m
 Clasificación SUCS : GW (Grava bien graduada con arena)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM D 4318

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	NP	NP
Número de Golpes	0	0	0	0	NP	



LÍMITE LÍQUIDO : NP LÍMITE PLÁSTICO : NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD : NP

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
 E.P. INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
 Ing. Ester Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
 E.P. INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
 Ing. Ester Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN : Barrio 25 de junio - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
N° DE CALICATA : C-04 **FECHA DE EJECUCION** : 25 de octubre del 2015

ENSAYO:
DENSIDAD DE CAMPO
 NORMA ASTM D 1556, MTC E117
 Nro de Estrato : E - 02
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 0.60 - 3.00m
 Metodo de Prueba : Cono de Arena

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Frasco	F-001	F-002	F-003
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6067.00	6064.00	6052.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	4290.00	4321.00	4296.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1777.00	1743.00	1756.00
Peso de la Arena en el Cono Promedio (gr)	1758.67		
Volumen del Molde (cm ³)	2086.27	2086.27	2086.27
Peso de Molde (gr)	6826.00	6826.00	6826.00
Peso de Molde + Arena (gr)	9795.00	9697.00	9692.00
Peso de Arena (gr)	2969.00	2871.00	2866.00
Densidad de Arena Parcial (gr/cm ³)	1.42	1.38	1.37
Densidad de Arena Promedio (gr/cm³)	1.39 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6293.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	2286.00
Peso de Arena en Hoyo + Cono (gr)	4007.00
Peso de Arena en Hoyo (gr)	2248.33
Volumen de Arena en Hoyo (cm ³)	1616.34
Peso de Material Extraído (gr)	3168.00
Densidad Húmeda en Campo	1.96 gr/cm³

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	16.53	16.70	16.50
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr)	93.43	91.60	84.86
Peso de Muestra Húmeda (gr)	76.90	74.90	68.36
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	87.13	85.81	79.40
Peso de Muestra Seca (gr)	70.60	69.11	62.90
Peso del Agua (gr)	6.30	5.79	5.46
Contenido de Humedad Parcial (%)	8.92%	8.38%	8.68%
Contenido de Humedad Final (%)	8.66%		
Densidad Seca	1.80 gr/cm³		

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN : Barrio 25 de Junio - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
N° CALICATA : C-04 **FECHA DE EJECUCIÓN** : 18 de febrero del 2016

ENSAYO:
DENSIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS
 Nro de Estrato : E-02
 Prof. de la Muestra : 0.60 - 3.00m
 Estado de la Muestra : Alterada
 % finos : 3.94 %

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	14.84	14.84	14.84
Volumen de Molde (cm ³)	5185.45		
Peso de Molde (gr)	7881.00	7881.00	7881.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	16802.00	16761.00	16778.00
Peso de Muestra (gr)	8921.00	8880.00	8897.00
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.72	1.71	1.72
Densidad Mínima Promedio (gr/cm³)	1.72 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	15.20	15.20	15.20
Volumen de Molde (cm ³)	5443.75		
Peso de Molde (gr)	8570.00	8570.00	8570.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	19621.00	19700.00	19643.00
Peso de Muestra (gr)	11051.00	11130.00	11073.00
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.03	2.04	2.03
Densidad Máxima Promedio (gr/cm³)	2.04 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA	
Densidad Insitu (gr/cm ³)	1.80 gr/cm ³
Densidad Seca Mínima (gr/cm ³)	1.72 gr/cm ³
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.04 gr/cm ³
Densidad Relativa (%)	30.88%


 Ing. Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO





 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO


 Ing. Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	Barrio 25 de junio - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto	FECHA DE EJEC. DE CALICATA	: 25 de octubre del 2015

PERFIL ESTRATIGRÁFICO	Coordenadas de Ubicación X	: 328334.35
	Coordenadas de ubicación Y	: 8264095.76
	N° del punto de exploración	: C - 05

COTA	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DE SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO
0.00	ESTRATO - 01	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">MATERIAL ORGANICO</div>	
0.05			
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30			
0.35	ESTRATO - 02	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">CL</div>	
0.40			
0.45			
0.50			
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80			
0.85	ESTRATO - 03	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">GW</div>	
0.90			
0.95			
1.00			
1.05			
1.10			
1.15			
1.20			
1.25			
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			
1.55			
1.60			
1.65			
1.70			
1.75			
1.80			
1.85			
1.90			
2.00			
2.05			
2.10			
2.15			
2.20			
2.25			
2.30			
2.35			
2.40			
2.45			
2.50			

CONTENIDO DE HUMEDAD			
ESTRATO N°02			
Numero de ensayo	1	2	3
Numero de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de tara (gr)	15.94	16.2	16.67
P. de tara + M. humeda(gr)	52.16	56.31	47.94
P. de tara + M. seca(gr)	46.42	49.79	42.95
Peso del agua (gr)	5.74	6.52	4.99
Peso de suelo seco (gr)	30.48	33.58	26.28
Cont. de humedad parcial (%)	19%	19%	19%
Cont. de humedad final (%)	19.08%		


Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

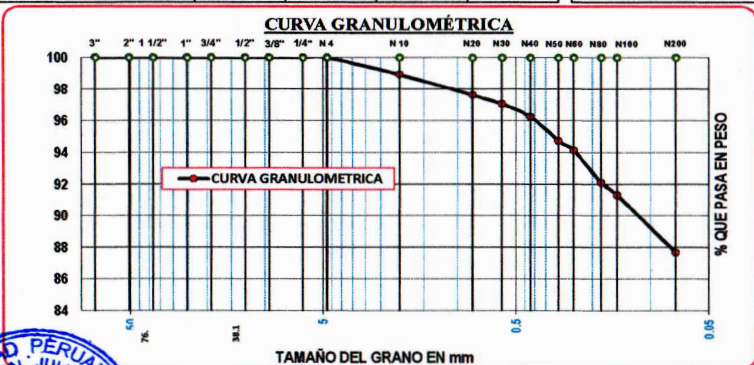
PROYECTO DE TESIS : *Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*
UBICACIÓN : Barrio 25 de junio - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa
RESPONSABLE : Bach. Yessenia Apaza Pinto
Nº DE CALICATA : C - 05 **FECHA DE EJEC.DE ENSAYO** : 22 de enero del 2016

ENSAYO:
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
 NORMA: ASTM - D 422
 Nro de Estrato : E - 02
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 0.35 - 0.90m
 Clasificación SUCS : CL (Arcilla Ligera Arenosa)
 Estado de la Muestra : Alterada

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 300.00 gr. Peso Lavado : 37.02 gr. Peso Perdido : 262.98 gr.
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.7	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
No4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	
No10	2.00	3.26	1.09	1.09	98.91	
No20	0.84	3.87	1.29	2.38	97.62	
No30	0.59	1.73	0.58	2.95	97.05	
No40	0.42	2.39	0.80	3.75	96.25	
No 50	0.30	4.59	1.53	5.28	94.72	
No60	0.25	1.81	0.60	5.88	94.12	
No80	0.18	6.08	2.03	7.91	92.09	
No100	0.15	2.37	0.79	8.70	91.30	
No200	0.07	10.92	3.64	12.34	87.66	
BASE		262.98	87.66	100.00	0.00	
TOTAL		300.00				

LIMITES DE CONSISTENCIA
 Limite Liquido : 40.98 %
 Limite Plastico : 25.06 %
 Indice d Plasticidad : 15.91 %

CARACT. GRANULOMÉTRICAS
 D10 = NP
 D30 = NP
 D60 = NP
 CU = NP
 CC = NP



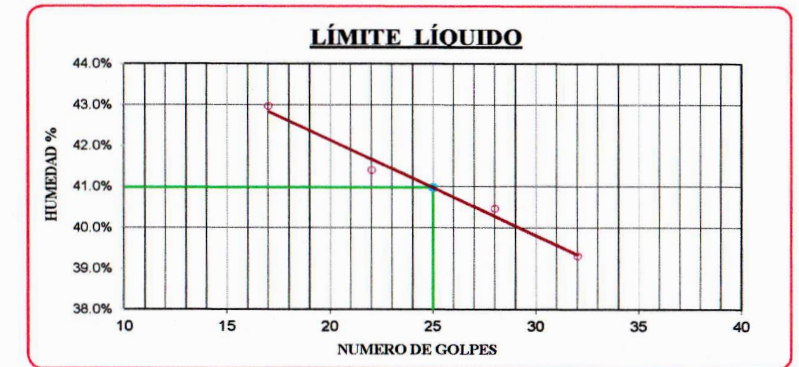
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA
 E.P. INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
 Ing. Olier Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA
 E.P. INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
 Bach. Yessenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : *Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*
UBICACIÓN : Barrio 25 de junio - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa
RESPONSABLE : Bach. Yessenia Apaza Pinto
Nº DE CALICATA : C - 05 **FECHA DE EJEC.DE ENSAYO** : 22 de enero del 2016

ENSAYO:
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO
 NORMA: ASTM D 4318
 Nro de Estrato : E - 02
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 0.35 - 0.90m
 Clasificación SUCS : CL (Arcilla Ligera Arenosa)
 Estado de la Muestra : Alterada

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	23.21 gr	17.28 gr	23.19 gr	16.41 gr	8.37 gr	7.81 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	42.56 gr	41.27 gr	45.29 gr	41.03 gr	10.42 gr	10.25 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	19.35 gr	23.99 gr	22.10 gr	24.62 gr	2.05 gr	2.44 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	37.10 gr	34.36 gr	38.82 gr	33.63 gr	10.01 gr	9.76 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	13.89 gr	17.08 gr	15.63 gr	17.22 gr	1.64 gr	1.95 gr
Peso del Agua (gr)	5.46 gr	6.91 gr	6.47 gr	7.40 gr	0.41 gr	0.49 gr
Contenido de Humedad (%)	39.31%	40.46%	41.39%	42.97%	25.00%	25.13%
Número de Golpes	32	28	22	17	25.06%	



LIMITE LIQUIDO : 40.98 % LIMITE PLASTICO : 25.06 % INDICE DE PLASTICIDAD : 15.91 %

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA
 E.P. INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
 Ing. Olier Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA
 E.P. INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
 Bach. Yessenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

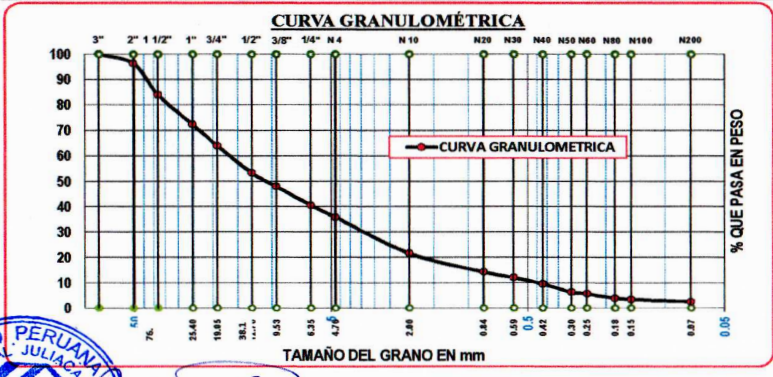
PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio 25 de junio - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 N° DE CALICATA : C - 05 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 25 de enero del 2016

ENSAYO: **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**
 Nro de Estrato : E - 03
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 0.90 - 2.50m
 Clasificación SUCS : GW (Grava bien graduada con arena)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM - D 422

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.0 gr.
2"	50.8	218.00	3.63	3.63	96.37	Peso Lavado : 5848.81 gr.
1 1/2"	38.1	749.00	12.48	16.12	83.88	Peso Perdido : 151.19 gr.
1"	25.4	698.00	11.63	27.75	72.25	
3/4"	19.05	504.00	8.40	36.15	63.85	
1/2"	12.7	631.00	10.52	46.67	53.33	
3/8"	9.53	325.00	5.42	52.08	47.92	
1/4"	6.35	450.00	7.50	59.58	40.42	
No4	4.76	279.00	4.65	64.23	35.77	
No10	2.00	850.00	14.17	78.40	21.60	
No20	0.84	440.00	7.33	85.73	14.27	
No30	0.59	135.00	2.25	87.98	12.02	
No40	0.42	147.00	2.45	90.43	9.57	
No 50	0.30	198.00	3.30	93.73	6.27	
No60	0.25	39.66	0.66	94.39	5.61	
No80	0.18	97.90	1.63	96.03	3.97	
No100	0.15	33.55	0.56	96.59	3.41	
No200	0.07	53.70	0.90	97.48	2.52	
BASE		151.19	2.52	100.00	0.00	
TOTAL		6000.00				

LIMITES DE CONSISTENCIA
 Limite Liquido : NP
 Limite Plastico : NP
 Indice d Plasticidad : NP

CARACT. GRANULOMÉTRICAS
 D10 = 0.45 mm
 D30 = 3.64 mm
 D60 = 16.73 mm
 CU = 37.16
 CC = 1.76



[Signature]
 Bach. Ecler Mamant Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

[Signature]
 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio 25 de junio - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 N° DE CALICATA : C - 05 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 25 de enero del 2016

ENSAYO: **LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO**
 Nro de Estrato : E - 03
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 0.90 - 2.50m
 Clasificación SUCS : GW (Grava bien graduada con arena)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM D 4318

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	NP	NP
Número de Golpes	0	0	0	0	NP	



LÍMITE LÍQUIDO : NP LÍMITE PLÁSTICO : NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD : NP

[Signature]
 Bach. Ecler Mamant Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

[Signature]
 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	---	---

PROYECTO	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio 25 de junio - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto		
N° DE CALICATA	: C - 05	FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 25 de octubre del 2015

ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 03
	Nro de Muestra : M - 01 (unica)
	Prof. de la Muestra : 0.90 - 2.50m
	Metodo de Prueba : Cono de Arena

DENSIDAD DE CAMPO

NORMA ASTM D 1556, MTC E117

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Frasco	F-001	F-002	F-003
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6111.00	5743.00	5828.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	4305.00	3945.00	4042.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1806.00	1798.00	1786.00
Peso de la Arena en el Cono Promedio (gr)	1796.67		
Volumen del Molde (cm ³)	2125.02	2125.02	2125.02
Peso de Molde (gr)	5987.00	5987.00	5987.00
Peso de Molde + Arena (gr)	8870.00	8858.00	8863.00
Peso de Arena (gr)	2883.00	2871.00	2876.00
Densidad de Arena Parcial (gr/cm ³)	1.36	1.35	1.35
Densidad de Arena Promedio (gr/cm³)	1.35 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr		5504.00	
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr		2089.00	
Peso de Arena en Hoyo + Cono (gr)		3415.00	
Peso de Arena en Hoyo (gr)		1618.33	
Volumen de Arena en Hoyo (cm ³)		1195.48	
Peso de Material Extraído (gr)		2223.00	
Densidad Húmeda en Campo	1.86 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	16.74	16.54	16.05
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr)	100.87	88.83	93.27
Peso de Muestra Húmeda (gr)	84.13	72.29	77.22
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	97.54	86.48	90.71
Peso de Muestra Seca (gr)	80.80	69.94	74.66
Peso del Agua (gr)	3.33	2.35	2.56
Contenido de Humedad Parcial (%)	4.12%	3.36%	3.43%
Contenido de Humedad Final (%)	3.64%		
Densidad Seca	1.79 gr/cm³		


Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P.INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio 25 de Junio - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto		
N° CALICATA	: C-05	FECHA DE EJECUCIÓN	: 19 de febrero del 2016

ENSAYO:	Nro de Estrato : E-03
	Prof. de la Muestra : 0.90 - 2.50m
	Estado de la Muestra : Alterada
	% finos : 2.52 %

DENSIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	14.84	14.84	14.84
Volumen de Molde (cm ³)	5185.45		
Peso de Molde (gr)	7881.00	7881.00	7881.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	16672.00	16701.00	16718.00
Peso de Muestra (gr)	8791.00	8820.00	8837.00
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.70	1.70	1.70
Densidad Mínima Promedio (gr/cm³)	1.70 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	15.20	15.20	15.20
Volumen de Molde (cm ³)	5443.75		
Peso de Molde (gr)	8570.00	8570.00	8570.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	19551.00	19605.00	19626.00
Peso de Muestra (gr)	10981.00	11035.00	11056.00
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.02	2.03	2.03
Densidad Máxima Promedio (gr/cm³)	2.03 gr/cm³		




DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA	
Densidad Insitu (gr/cm ³)	1.79 gr/cm ³
Densidad Seca Mínima (gr/cm ³)	1.70 gr/cm ³
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.03 gr/cm ³
Densidad Relativa (%)	32.69%


Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	Barrio central - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto	FECHA DE EJEC. DE CALICATA	08 de nov. del 2015

PERFIL ESTRATIGRÁFICO	Coordenadas de Ubicación X	: 327579.36
	Coordenadas de ubicación Y	: 8264024.34
	N° del punto de exploración	: C - 06

COTA	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO
0.00	E-01 MATERIAL DE	Presencia de material de relleno en un estado denso	
0.05			
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30			
0.35			
0.40			
0.45			
0.50	E-02 GP-GM	Grava mal graduada con limo y arena	
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80			
0.85			
0.90			
0.95			
1.00	E-03 GW-GM	Grava bien graduada con limo y arena	
1.05			
1.10			
1.15			
1.20			
1.25			
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			
1.55			
1.60			
1.65			
1.70			
1.75			
1.80			
1.85			
1.90			
2.00			
2.05			
2.10			
2.15			
2.20			
2.25			
2.30			
2.35			
2.40			
2.45			
2.50			
2.55			
2.60			
2.65			
2.70			
2.75			
2.80			

CONTENIDO DE HUMEDAD ESTRATO N°02			
Numero de ensayo	1	2	3
Numero de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de tara (gr)	23.2	18.52	17.26
P. de tara + M. humeda (gr)	83.56	84.22	81.01
P. de tara + M. seca (gr)	78.05	78.22	75.57
Peso del agua (gr)	5.51	6.00	5.44
Peso de suelo seco (gr)	54.85	59.7	58.31
Cont. de humedad parcial (%)	10%	10%	9%
Cont. de humedad final (%)	9.81%		




Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : *Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*
UBICACIÓN : Barrio central - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
Nº DE CALICATA : C - 06 **FECHA DE EJEC.DE ENSAYO** : 26 de enero del 2016

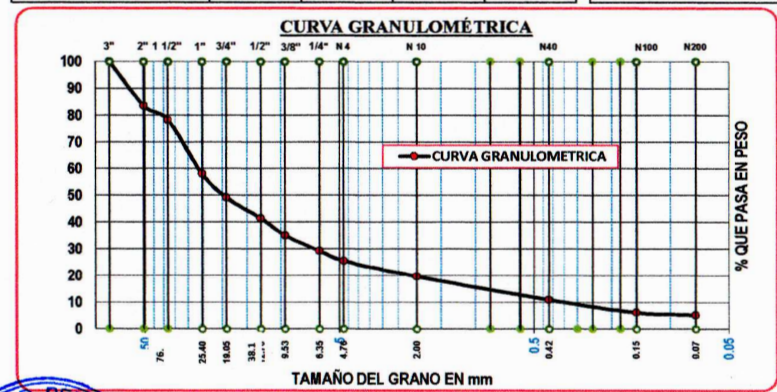
ENSAYO:
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
 NORMA ASTM - D 422

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	991.00	16.52	16.52	83.48
1 1/2"	38.1	321.00	5.35	21.87	78.13
1"	25.4	1212.00	20.20	42.07	57.93
3/4"	19.05	532.00	8.87	50.93	49.07
1/2"	12.7	465.00	7.75	58.68	41.32
3/8"	9.53	381.00	6.35	65.03	34.97
1/4"	6.35	345.00	5.75	70.78	29.22
No4	4.76	226.00	3.77	74.55	25.45
No10	2.00	45.37	5.77	80.32	19.68
No40	0.42	68.76	8.75	89.07	10.93
No100	0.15	37.19	4.73	93.81	6.19
No200	0.07	7.78	0.99	94.80	5.20
BASE		40.90	5.20	100.00	0.00
TOTAL		6000.00			

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
 Peso Inicial : 6000.00 gr.
 Peso Inicial Lavado: 200.00 gr.
 Peso Perdido : 40.90

LÍMITES DE CONSISTENCIA
 Limite Líquido : NP
 Limite Plastico : NP
 Índice d Plasticidad : NP

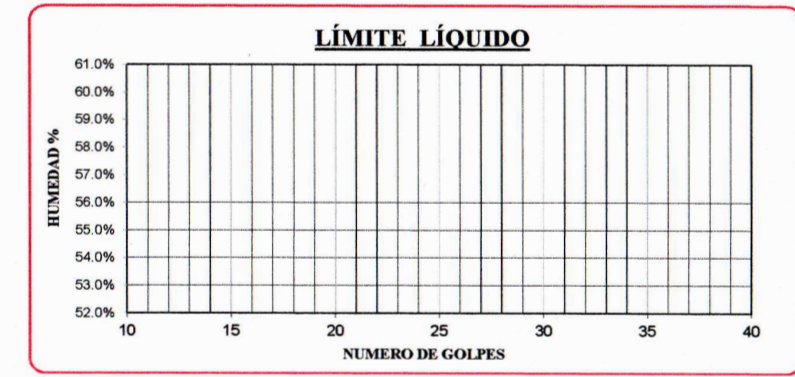
CARACT. GRANULOMÉTRICAS
 D10 = 0.37 mm
 D30 = 6.78 mm
 D60 = 26.7 mm
 CU = 72.77
 CC = 4.70



PROYECTO DE TESIS : *Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*
UBICACIÓN : Barrio central - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
Nº DE CALICATA : C - 06 **FECHA DE EJEC.DE ENSAYO** : 26 de enero del 2016

ENSAYO:
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO
 NORMA: ASTM D 4318

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	4	1	2
Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	NP	NP
Número de Golpes	0	0	0	0	NP	



LÍMITE LÍQUIDO : NP LÍMITE PLÁSTICO : NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD: NP

Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

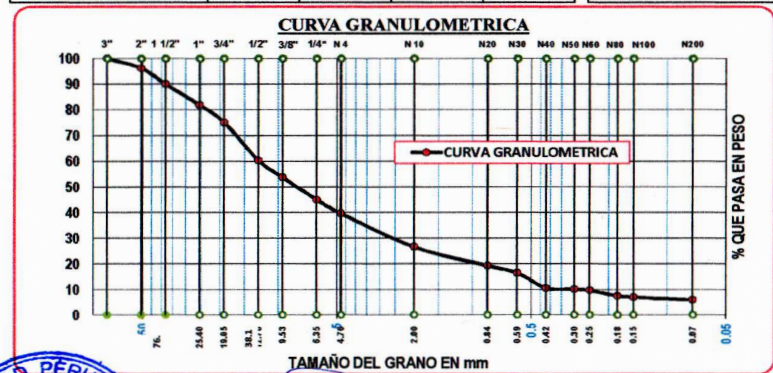
Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio central - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 N° DE CALICATA : C - 06 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 27 de enero del 2016

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
 NRO de Estrato : E - 03
 NRO de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 1.20 - 2.80m
 Clasificación SUCS : GW-GM (grava bien graduada con Limo y Arena)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM - D 422

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
2"	50.8	231.00	3.85	3.85	96.15	Peso Lavado : 5641.80 gr.
1 1/2"	38.1	378.00	6.30	10.15	89.85	Peso Perdido : 358.20 gr.
1"	25.4	482.00	8.03	18.18	81.82	
3/4"	19.05	409.00	6.82	25.00	75.00	
1/2"	12.7	879.00	14.65	39.65	60.35	
3/8"	9.53	394.00	6.57	46.22	53.78	
1/4"	6.35	531.00	8.85	55.07	44.93	
No4	4.76	323.00	5.38	60.45	39.55	
No10	2.00	778.00	12.97	73.42	26.58	
No20	0.84	438.00	7.30	80.72	19.28	
No30	0.59	170.00	2.83	83.55	16.45	
No40	0.42	350.00	5.83	89.38	10.62	
No 50	0.30	30.14	0.50	89.89	10.11	
No60	0.25	28.24	0.47	90.36	9.64	
No80	0.18	124.86	2.08	92.44	7.56	
No100	0.15	34.23	0.57	93.01	6.99	
No200	0.07	61.33	1.02	94.03	5.97	
BASE		358.20	5.97	100.00	0.00	
TOTAL		6000.00				



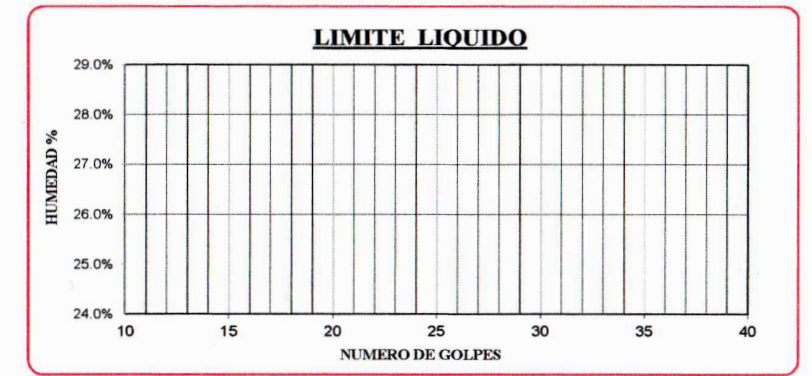
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA
 Ing. Oscar Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio central - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 N° DE CALICATA : C - 06 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 27 de enero del 2016

LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO
 NRO de Estrato : E - 03
 NRO de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 1.20 - 2.80m
 Clasificación SUCS : GW-GM (grava bien graduada con Limo y Arena)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM D 4318

DESCRIPCIÓN	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
Numero de Ensayo	1	2	3	4	1	2
Numero de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Humedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Humedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	NP	NP
Numero de Golpes	0	0	0	0	NP	



LIMITE LIQUIDO : NP LIMITE PLASTICO : NP INDICE DE PLASTICIDAD : NP

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA
 Ing. Oscar Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	---	---

PROYECTO	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"	
UBICACIÓN	: Barrio Central - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa	
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	
N° DE CALICATA	: C-06	FECHA DE EJECUCIÓN : 08 de noviembre del 2015

ENSAYO:	Nro de Estrato : E-03
DENSIDAD DE CAMPO	Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
NORMA ASTM D 1556, MTC E117	Prof. de la Muestra : 1.20 - 2.80m
	Metodo de Prueba : Cono de Arena

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Frasco	F-001	F-002	F-003
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6067.00	6064.00	6052.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	4290.00	4321.00	4296.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1777.00	1743.00	1756.00
Peso de la Arena en el Cono Promedio (gr)	1758.67		
Volumen del Molde (cm ³)	2086.27	2086.27	2086.27
Peso de Molde (gr)	6826.00	6826.00	6826.00
Peso de Molde + Arena (gr)	9795.00	9697.00	9692.00
Peso de Arena (gr)	2969.00	2871.00	2866.00
Densidad de Arena Parcial (gr/cm ³)	1.42	1.38	1.37
Densidad de Arena Promedio (gr/cm³)	1.39 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6748.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	3358.00
Peso de Arena en Hoyo + Cono (gr)	3390.00
Peso de Arena en Hoyo (gr)	1631.33
Volumen de Arena en Hoyo (cm ³)	1172.78
Peso de Material Extraído (gr)	2367.00
Densidad Húmeda en Campo	2.02 gr/cm³

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	23.20	18.52	17.26
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr)	83.56	84.22	81.01
Peso de Muestra Húmeda (gr)	60.36	65.70	63.75
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	78.05	78.22	75.17
Peso de Muestra Seca (gr)	54.85	59.70	57.91
Peso del Agua (gr)	5.51	6.00	5.84
Contenido de Humedad Parcial (%)	10.05%	10.05%	10.08%
Contenido de Humedad Final (%)	10.06%		
Densidad Seca	1.83 gr/cm³		


Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
CIP 124929
TÉCNICO DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	---	---

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"	
UBICACIÓN	: Barrio Central - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa	
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	
N° CALICATA	: C-06	FECHA DE EJECUCIÓN : 22 de febrero del 2016

ENSAYO:	Nro de Estrato : E-03
DENSIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS	Prof. de la Muestra : 1.20 - 2.80m
	Estado de la Muestra : Alterada
	% finos : 5.97 %

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	14.84	14.84	14.84
Volumen de Molde (cm ³)	5185.45		
Peso de Molde (gr)	7881.00	7881.00	7881.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	16533.00	16479.00	16490.00
Peso de Muestra (gr)	8652.00	8598.00	8609.00
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.67	1.66	1.66
Densidad Mínima Promedio (gr/cm³)	1.66 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	15.20	15.20	15.20
Volumen de Molde (cm ³)	5443.75		
Peso de Molde (gr)	8570.00	8570.00	8570.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	19900.00	19853.00	19860.00
Peso de Muestra (gr)	11330.00	11283.00	11290.00
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.08	2.07	2.07
Densidad Máxima Promedio (gr/cm³)	2.08 gr/cm³		


DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA	
Densidad Insitu (gr/cm ³)	1.83 gr/cm ³
Densidad Seca Mínima (gr/cm ³)	1.66 gr/cm ³
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.08 gr/cm ³
Densidad Relativa (%)	46.94%


Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO


PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto	FECHA DE EJEC. DE CALICATA	08 de nov. del 2015

PERFIL ESTRATIGRÁFICO	Coordenadas de Ubicación X	327691.04
	Coordenadas de ubicación Y	8264562.84
	N° del punto de exploración	C - 07

COTA	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRAFICO
0.00	ESTRATO - 01	MATERIAL ORGANICO	
0.05			
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30			
0.35			
0.40			
0.45			ESTRATO - 02
0.40			
0.45			
0.50			
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80			
0.85			
0.90			
0.95			
1.00	ESTRATO - 03	SM	
1.05			
1.10			
1.15			
1.20			
1.25			
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			
1.55			
1.60			
1.65			
1.70	ESTRATO - 04	GW	
1.75			
1.80			
1.85			
1.90			
2.00			
2.05			
2.10			
2.15			
2.20			
2.25			
2.30			
2.35			
2.40			
2.45			
2.50			
2.55			
2.60			
2.65			
2.70			
2.75			
2.80			

CONTENIDO DE HUMEDAD			
ESTRATO N°02			
Numero de ensayo	1	2	3
Numero de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de tara (gr)	24.24	24.0	23.63
P. de tara + M. humeda(gr)	69.93	72.34	73.67
P. de tara + M. seca(gr)	61.46	63.28	64.97
Peso del agua (gr)	8.47	9.06	8.7
Peso de suelo seco (gr)	37.22	39.25	41.34
Cont. de humedad parcial (%)	23%	23%	21%
Cont. de humedad final (%)	22.29%		

ESTRATO N°03			
Numero de ensayo	1	2	3
Numero de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de tara (gr)	16.77	20.81	11.53
P. de tara + M. humeda(gr)	74.29	87.35	71.32
P. de tara + M. seca(gr)	71.28	83.9	68.42
Peso del agua (gr)	3.01	3.45	2.9
Peso de suelo seco (gr)	54.51	63.09	56.89
Cont. de humedad parcial (%)	5.5%	5.5%	5%
Cont. de humedad final (%)	5.36%		

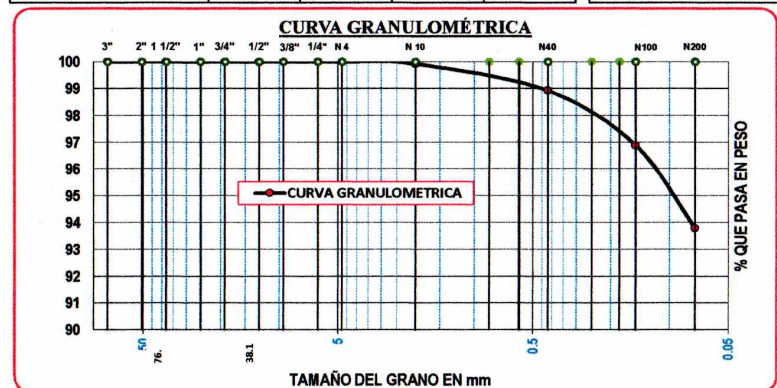

Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 Nº DE CALICATA : C - 07 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 28 de enero del 2016

ENSAYO: **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**
 NRO de Estrato : E - 03
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 0.30 - 1.30m
 Clasificación SUCS : CL-ML (Arcilla limosa arenosa)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM - D 422

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 300.00 gr.
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Lavado : 18.63 gr.
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Perdido : 281.37
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	LÍMITES DE CONSISTENCIA
1/2"	12.7	0.00	0.00	0.00	100.00	Limite Líquido : 26.14 %
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	Limite Plastico : 19.27 %
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	Índice d Plasticidad : 6.87 %
No4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	CARACT. GRANULOMÉTRICAS
No10	2.00	0.23	0.08	0.08	99.92	D10 = NP
No40	0.42	2.99	1.00	1.07	98.93	D30 = NP
No100	0.15	6.13	2.04	3.12	96.88	D60 = NP
No200	0.07	9.28	3.09	6.21	93.79	CU = NP
BASE		281.37	93.79	100.00	0.00	CC = NP
TOTAL		300.00				



PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 Nº DE CALICATA : C - 07 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 28 de enero 2016

ENSAYO: **LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO**
 NRO de Estrato : E - 03
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 0.30 - 1.30m
 Clasificación SUCS : CL-ML (Arcilla limosa arenosa)
 Estado de la Muestra : Alterada
 NORMA: ASTM D 4318

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	23.21 gr	20.82 gr	20.80 gr	16.39 gr	8.36 gr	8.02 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	32.86 gr	31.84 gr	30.26 gr	24.56 gr	10.46 gr	11.06 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	9.65 gr	11.02 gr	9.46 gr	8.17 gr	2.10 gr	3.04 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	30.96 gr	29.56 gr	28.27 gr	22.76 gr	10.12 gr	10.57 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	7.75 gr	8.74 gr	7.47 gr	6.37 gr	1.76 gr	2.55 gr
Peso del Agua (gr)	1.90 gr	2.28 gr	1.99 gr	1.80 gr	0.34 gr	0.49 gr
Contenido de Humedad (%)	24.52%	26.09%	26.64%	28.26%	19.32%	19.22%
Número de Golpes	31	27	22	16	19.27%	



LÍMITE LÍQUIDO 26.14 % LÍMITE PLÁSTICO : 19.27 % ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 6.87 %

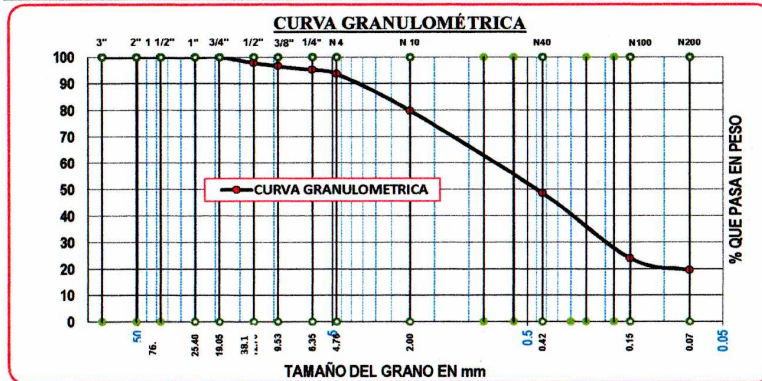
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
 E.P. INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
 Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
 E.P. INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
 Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	: 'Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida'					
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	: C - 07					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 29 de enero del 2016					
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA: ASTM - D 422					
Nro de Estrato	: E - 03					
Nro de Muestra	: M - 01 (Única)					
Prof. de la Muestra	: 1.30 - 2.10m					
Clasificación SUCS	: SM (Arena Limosa)					
Estado de la Muestra	: Alterada					
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial Lavado: 200.00 gr.
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Perdido : 41.67
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	LÍMITES DE CONSISTENCIA
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	Limite Liquido : 23.69 %
1/2"	12.7	126.00	2.10	2.10	97.90	Limite Plastico : 21.76 %
3/8"	9.53	73.00	1.22	3.32	96.68	Indice d Plasticidad : 1.93 %
1/4"	6.35	88.00	1.47	4.78	95.22	CARACT. GRANULOMÉTRICAS
No4	4.76	89.00	1.48	6.27	93.73	D10 NP
No10	2.00	29.78	13.96	20.22	79.78	D30 0.21 mm
No40	0.42	66.60	31.21	51.44	48.56	D60 1.0 mm
No100	0.15	52.32	24.52	75.96	24.04	CU- NP
No200	0.07	9.63	4.51	80.47	19.53	CC- NP
BASE		41.67	19.53	100.00	0.00	
TOTAL		6000.00				



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		
PROYECTO DE TESIS	: 'Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida'	
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa	
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	
Nº DE CALICATA	: C - 07	
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 29 de enero del 2016	
ENSAYO:	LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO NORMA: ASTM D 4318	
Nro de Estrato	: E - 03	
Nro de Muestra	: M - 01 (Única)	
Prof. de la Muestra	: 1.30 - 2.10m	
Clasificación SUCS	: SM (Arena Limosa)	
Estado de la Muestra	: Alterada	
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
Número de Ensayo	1 2 3 4	1 2
Número de Tara	T-001 T-002 T-003 T-004	T-001 T-002
Peso de Tara (gr)	7.95 gr 8.07 gr 7.81 gr 7.89 gr	8.90 gr 7.99 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	31.97 gr 31.36 gr 32.77 gr 31.22 gr	11.76 gr 12.01 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	24.02 gr 23.29 gr 24.96 gr 23.33 gr	2.86 gr 4.02 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	27.59 gr 26.98 gr 27.96 gr 26.55 gr	11.25 gr 11.29 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	19.64 gr 18.91 gr 20.15 gr 18.66 gr	2.35 gr 3.30 gr
Peso del Agua (gr)	4.38 gr 4.38 gr 4.81 gr 4.67 gr	0.51 gr 0.72 gr
Contenido de Humedad (%)	22.30% 23.16% 23.87% 25.03%	21.70% 21.82%
Número de Golpes	33 27 23 19	21.76%



LÍMITE LÍQUIDO : 23.69 % LÍMITE PLÁSTICO : 21.76 % ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 1.93 %



Eclar Mamani Chambi
Eclar Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

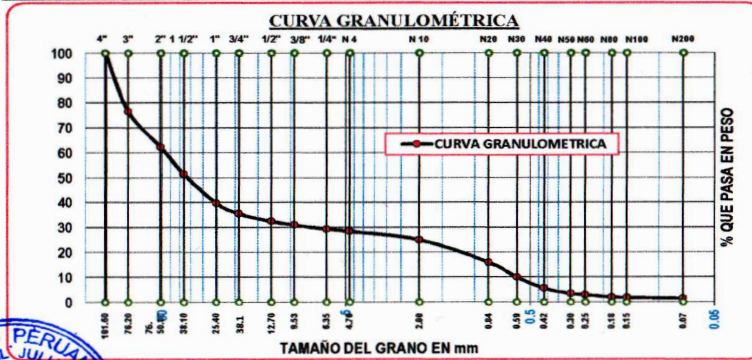
Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO



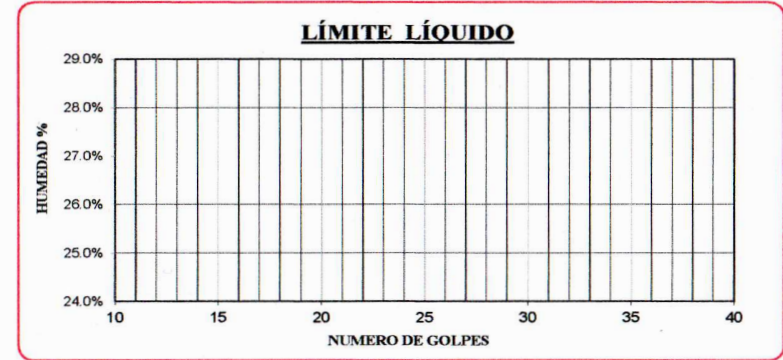
Eclar Mamani Chambi
Eclar Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	*Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*					
UBICACIÓN	Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	C - 07					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	01 de febrero del 2016					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
NORMA ASTM - D 422						
ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 04 Nro de Muestra : M - 01 (Unica) Prof. de la Muestra : 2.10 - 2.80m Clasificación SUCS : GW (Grava bien graduada con arena) Estado de la Muestra : Alterada					
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.6	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
3"	76.2	1408.00	23.47	23.47	76.53	Peso Lavado : 5915.10 gr.
2"	50.8	857.00	14.28	37.75	62.25	Peso Perdido : 84.90 gr.
1 1/2"	38.1	647.00	10.78	48.53	51.47	
1"	25.4	706.00	11.77	60.30	39.70	LIMITES DE CONSISTENCIA
3/4"	19.05	254.00	4.23	64.53	35.47	Limite Liquido : NP
1/2"	12.7	181.00	3.02	67.55	32.45	Limite Plastico : NP
3/8"	9.53	88.00	1.47	69.02	30.98	Indice d Plasticidad : NP
1/4"	6.35	100.00	1.67	70.68	29.32	CARACT. GRANULOMÉTRICAS
No4	4.76	54.00	0.90	71.58	28.42	D10 = 0.59 mm
No10	2.00	204.00	3.40	74.98	25.02	D30 = 7.65 mm
No20	0.84	544.00	9.07	84.05	15.95	D60 = 48.15 mm
No30	0.59	360.00	6.00	90.05	9.95	
No40	0.42	266.00	4.43	94.48	5.52	CU = 81.3
No 50	0.30	126.04	2.10	96.58	3.42	CC = 2.054
No60	0.25	33.19	0.55	97.14	2.86	OBSERVACIONES
No80	0.18	54.12	0.90	98.04	1.96	Con presencia de bolones en un 23.47%
No100	0.15	14.55	0.24	98.28	1.72	
No200	0.07	18.20	0.30	98.59	1.41	
BASE		84.90	1.42	100.00	0.00	
TOTAL		6000.00				



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		
PROYECTO DE TESIS	*Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*	
UBICACIÓN	Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa	
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto	
Nº DE CALICATA	C - 07	
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	01 de febrero del 2016	
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA: ASTM D 4318		
ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 04 Nro de Muestra : M - 01 (Unica) Prof. de la Muestra : 2.10 - 2.80m Clasificación SUCS : GW (Grava bien graduada con arena) Estado de la Muestra : Alterada	
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
Número de Ensayo	1	2
Número de Tara	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00
Número de Golpes	0	0

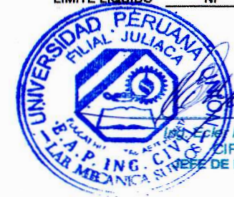


LÍMITE LÍQUIDO : NP LÍMITE PLÁSTICO : NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD : NP



Eolor Mamani Chambi
Ing. Eolor Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO



Eolor Mamani Chambi
Ing. Eolor Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	---	---

PROYECTO	: *Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*		
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto		
N° DE CALICATA	: C - 07	FECHA DE EJECUCION	: 08 de noviembre del 2015

ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 04
	Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
	Prof. de la Muestra : 2.10 - 2.80m
	Metodo de Prueba : Cono de Arena

DENSIDAD DE CAMPO

NORMA ASTM D 1556, MTC E117

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Frasco	F-001	F-002	F-003
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6067.00	6064.00	6052.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	4290.00	4321.00	4296.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1777.00	1743.00	1756.00
Peso de la Arena en el Cono Promedio (gr)	1758.67		
Volumen del Molde (cm ³)	2086.27	2086.27	2086.27
Peso de Molde (gr)	6826.00	6826.00	6826.00
Peso de Molde + Arena (gr)	9795.00	9697.00	9692.00
Peso de Arena (gr)	2969.00	2871.00	2866.00
Densidad de Arena Parcial (gr/cm ³)	1.42	1.38	1.37
Densidad de Arena Promedio (gr/cm³)	1.39 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6017.00		
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	955.00		
Peso de Arena en Hoyo + Cono (gr)	5062.00		
Peso de Arena en Hoyo (gr)	3303.33		
Volumen de Arena en Hoyo (cm ³)	2374.79		
Peso de Material Extraído (gr)	4499.00		
Densidad Húmeda en Campo	1.89 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	16.12	15.81	16.00
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr)	79.26	96.87	76.91
Peso de Muestra Húmeda (gr)	63.14	81.06	60.91
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	76.86	93.91	74.67
Peso de Muestra Seca (gr)	60.74	78.10	58.67
Peso del Agua (gr)	2.40	2.96	2.24
Contenido de Humedad Parcial (%)	3.95%	3.79%	3.82%
Contenido de Humedad Final (%)	3.85%		
Densidad Seca	1.82 gr/cm³		


Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	---	---

PROYECTO DE TESIS	: *Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*		
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto		
N° CALICATA	: C-07	FECHA DE EJECUCIÓN	: 23 de febrero del 2016

ENSAYO:	Nro de Estrato : E-04
	Prof. de la Muestra : 2.10 - 2.80m
	Estado de la Muestra : Alterada
	% finos : 1.41 %

DENSIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	14.84	14.84	14.84
Volumen de Molde (cm ³)	5185.45		
Peso de Molde (gr)	7881.00	7881.00	7881.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	16809.00	16783.00	16735.00
Peso de Muestra (gr)	8928.00	8902.00	8854.00
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.72	1.72	1.71
Densidad Mínima Promedio (gr/cm³)	1.72 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	15.20	15.20	15.20
Volumen de Molde (cm ³)	5443.75		
Peso de Molde (gr)	8570.00	8570.00	8570.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	19882.00	19871.00	19915.00
Peso de Muestra (gr)	11312.00	11301.00	11345.00
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.08	2.08	2.08
Densidad Máxima Promedio (gr/cm³)	2.08 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA	
Densidad Insitu (gr/cm ³)	1.82 gr/cm ³
Densidad Seca Mínima (gr/cm ³)	1.72 gr/cm ³
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.08 gr/cm ³
Densidad Relativa (%)	34.09%


Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	FECHA DE EJEC. DE CALICATA	: 08 de nov. del 2015

PERFIL ESTRATIGRÁFICO	Coordenadas de Ubicación X	: 327621.45
	Coordenadas de ubicación Y	: 8264656.65
	N° del punto de exploración	: C - 08

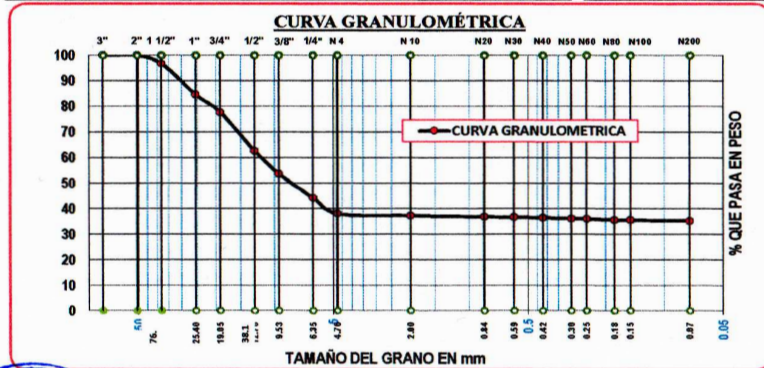
COTA	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO
0.00	ESTRATO - 01	MATERIAL ORGANICO	
0.05			
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30			
0.35			
0.40			
0.45			
0.50	ESTRATO - 02	GC-GM	
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80			
0.85			
0.90			
0.95			
1.00	ESTRATO - 03	GW	
1.05			
1.10			
1.15			
1.20			
1.25			
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			
1.55			
1.60			
1.65			
1.70			
1.75			
1.80			
1.85			
1.90			
2.00			
2.05			
2.10			
2.15			
2.20			
2.25			
2.30			
2.35			
2.40			
2.45			
2.50			
2.55			
2.60			
2.65			
2.70			
2.75			
2.80			

CONTENIDO DE HUMEDAD ESTRATO N°02			
Numero de ensayo	1	2	3
Numero de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de tara (gr)	19.32	20.74	18.67
P. de tara + M. humeda(gr)	85.34	79.22	82.69
P. de tara + M. seca(gr)	79.81	74.31	77.21
Peso del agua (gr)	5.53	4.91	5.48
Peso de suelo seco (gr)	60.49	53.57	58.54
Cont. de humedad parcial (%)	9.1%	9.2%	9.4%
Cont. de humedad final (%)	9.22%		


Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS					
PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"				
UBICACIÓN	Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa				
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto				
Nº DE CALICATA	C - 08				
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	02 de febrero del 2016				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Nro de Estrato	E - 02				
Nro de Muestra	M - 01 (Unica)				
Prof. de la Muestra	0.50 - 1.50m				
Clasificación SUCS	GC-GM (Grava limosa arcillosa)				
Estado de la Muestra	Alterada				
NORMA: ASTM - D 422					
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	203.00	3.38	3.38	96.62
1"	25.4	729.00	12.15	15.53	84.47
3/4"	19.05	409.00	6.82	22.35	77.65
1/2"	12.7	901.00	15.02	37.37	62.63
3/8"	9.53	535.00	8.92	46.28	53.72
1/4"	6.35	579.00	9.65	55.93	44.07
No4	4.76	366.00	6.10	62.03	37.97
No10	2.00	45.83	0.76	62.80	37.20
No20	0.84	27.38	0.46	63.25	36.75
No30	0.59	9.01	0.15	63.40	36.60
No40	0.42	10.73	0.18	63.58	36.42
No 50	0.30	19.89	0.33	63.91	36.09
No60	0.25	6.95	0.12	64.03	35.97
No80	0.18	23.77	0.40	64.43	35.57
No100	0.15	6.03	0.10	64.53	35.47
No200	0.07	15.94	0.27	64.79	35.21
BASE		2112.47	35.21	100.00	0.00
TOTAL		6000.00			
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
Peso Inicial : 6000.00 gr.					
Peso Lavado : 3887.53 gr.					
Peso Perdido : 2112.47 gr.					
LIMITES DE CONSISTENCIA					
Limite Liquido : 24.74 %					
Limite Plastico : 20.08 %					
Indice de Plasticidad : 4.66 %					
CARACT. GRANULOMÉTRICAS					
D10 = NP					
D30 = NP					
D60 = 11.76 mm					
CU = NP					
CC = NP					



Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		
PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"	
UBICACIÓN	Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa	
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto	
Nº DE CALICATA	C - 08	
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	02 de febrero del 2016	
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO		
Nro de Estrato	E - 02	
Nro de Muestra	M - 01 (Unica)	
Prof. de la Muestra	0.50 - 1.50m	
Clasificación SUCS	GC-GM (Grava limosa arcillosa)	
Estado de la Muestra	Alterada	
NORMA: ASTM D 4318		
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
Número de Ensayo	1	2
Número de Tara	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	8.04 gr	7.90 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	33.31 gr	23.73 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	25.27 gr	15.83 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	28.52 gr	20.64 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	20.48 gr	12.74 gr
Peso del Agua (gr)	4.79 gr	3.09 gr
Contenido de Humedad (%)	23.39%	24.25%
Número de Golpes	32	28
	24	18
		20.08%

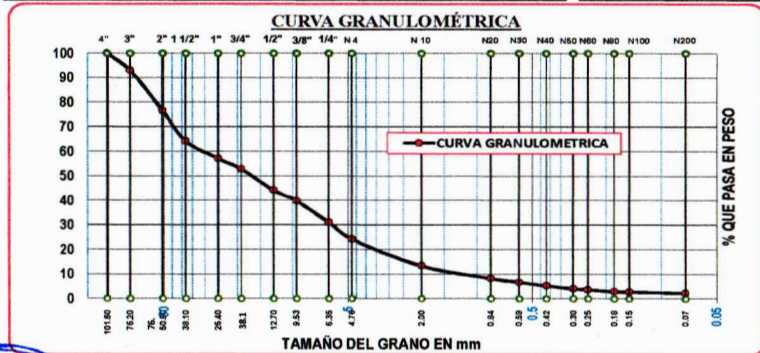


LÍMITE LÍQUIDO: 24.74 % LÍMITE PLÁSTICO : 20.08 % ÍNDICE DE PLASTICIDAD : 4.66 %

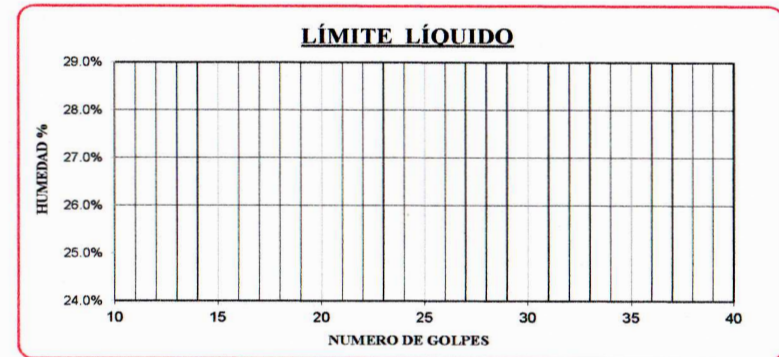
Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	: 'Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida'					
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	: C - 08					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 03 de febrero del 2016					
ENSAYO:						
Nro de Estrato	: E - 03					
Nro de Muestra	: M - 01 (Unica)					
Prof. de la Muestra	: 1.50 - 2.80m					
Clasificación SUCS	: GW (Grava bien graduada con arena)					
Estado de la Muestra	: Alterada					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
NORMA: ASTM - D 422						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.6	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 10000.0 gr.
3"	76.2	708.00	7.08	7.08	92.92	Peso Lavado : 9775.05 gr.
2"	50.8	164.00	1.64	23.49	76.51	Peso Perdido : 224.95 gr.
1 1/2"	38.1	1234.00	12.34	35.83	64.17	
1"	25.4	707.00	7.07	42.90	57.10	
3/4"	19.05	429.00	4.29	47.19	52.81	LIMITES DE CONSISTENCIA
1/2"	12.7	870.00	8.70	55.89	44.11	Limite Liquido : NP
3/8"	9.53	436.00	4.36	60.25	39.75	Limite Plastico : NP
1/4"	6.35	876.00	8.76	69.01	30.99	Indice d Plasticidad : NP
No4	4.76	677.00	6.77	75.78	24.22	CARACT. GRANULOMÉTRICAS
No10	2.00	1093.00	10.93	86.71	13.29	D10 = 1.25 mm
No20	0.84	506.00	5.06	91.77	8.23	D30 = 6.12 mm
No30	0.59	151.00	1.51	93.28	6.72	D60 = 30.61 mm
No40	0.42	140.00	1.40	94.68	5.32	
No50	0.30	129.00	1.29	95.97	4.03	CU = 24.57
No60	0.25	40.70	0.41	96.38	3.62	CC = 1.0
No80	0.18	72.26	0.72	97.10	2.90	OBSERVACIONES
No100	0.15	20.41	0.20	97.30	2.70	Presencia de bolones en un 7.08%
No200	0.07	44.68	0.45	97.75	2.25	
BASE		224.95	2.25	100.00	0.00	
TOTAL		10000.00				



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		
PROYECTO DE TESIS	: 'Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida'	
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa	
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	
Nº DE CALICATA	: C - 08	
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 03 de febrero del 2016	
ENSAYO:		
Nro de Estrato	: E - 03	
Nro de Muestra	: M - 01 (Unica)	
Prof. de la Muestra	: 1.50 - 2.80m	
Clasificación SUCS	: GW (Grava bien graduada con arena)	
Estado de la Muestra	: Alterada	
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA: ASTM D 4318		
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
Número de Ensayo	1	2
Número de Tara	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00
Número de Gopos	0	0



LIMITE LIQUIDO: NP LIMITE PLÁSTICO: NP INDICE DE PLASTICIDAD: NP



Ecler Mariani Chambri
Ing. Ecler Mariani Chambri
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO



Ecler Mariani Chambri
Ing. Ecler Mariani Chambri
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO : *Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*
UBICACIÓN : Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
N° DE CALICATA : C - 08 **FECHA DE EJECUCIÓN** : 08 de noviembre del 2015

ENSAYO:
DENSIDAD DE CAMPO
 NORMA ASTM D 1556, MTC E117

Nro de Estrato : E - 03
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 1.50 - 2.80m
 Metodo de Prueba : Cono de Arena

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Frasco	F-001	F-002	F-003
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6187.00	6192.00	6171.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (después) gr	4659.00	4657.00	4593.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1528.00	1535.00	1578.00
Peso de la Arena en el Cono Promedio (gr)	1547.00		
Volumen del Molde (cm ³)	3012.21	3012.21	3012.21
Peso de Molde (gr)	7389.00	7389.00	7389.00
Peso de Molde + Arena (gr)	11515.00	11549.00	11483.00
Peso de Arena (gr)	4126.00	4160.00	4094.00
Densidad de Arena Parcial (gr/cm ³)	1.37	1.38	1.36
Densidad de Arena Promedio (gr/cm³)	1.37 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6204.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (después) gr	2734.00
Peso de Arena en Hoyo + Cono (gr)	3470.00
Peso de Arena en Hoyo (gr)	1923.00
Volumen de Arena en Hoyo (cm ³)	1403.67
Peso de Material Extraído (gr)	2760.00
Densidad Húmeda en Campo	1.97 gr/cm³

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	16.11	16.26	23.22
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr)	93.97	97.28	92.50
Peso de Muestra Húmeda (gr)	77.86	81.02	69.28
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	87.85	90.30	86.92
Peso de Muestra Seca (gr)	71.74	74.04	63.70
Peso del Agua (gr)	6.12	6.98	5.58
Contenido de Humedad Parcial (%)	8.53%	9.43%	8.76%
Contenido de Humedad Final (%)	8.91%		
Densidad Seca	1.81 gr/cm³		


 Ing. Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : *Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*
UBICACIÓN : Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucía - Provincia de Lampa
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
N° CALICATA : C-08 **FECHA DE EJECUCIÓN** : 24 de febrero del 2016

ENSAYO:
DENSIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS

Nro de Estrato : E-03
 Prof. de la Muestra : 1.50 - 2.80m
 Estado de la Muestra : Alterada
 % finos : 2.25 %

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	14.84	14.84	14.84
Volumen de Molde (cm ³)	5185.45		
Peso de Molde (gr)	7881.00	7881.00	7881.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	16603.00	16659.00	16617.00
Peso de Muestra (gr)	8722.00	8778.00	8736.00
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.68	1.69	1.68
Densidad Mínima Promedio (gr/cm³)	1.69 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	15.20	15.20	15.20
Volumen de Molde (cm ³)	5443.75		
Peso de Molde (gr)	8570.00	8570.00	8570.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	19852.00	19864.00	19863.00
Peso de Muestra (gr)	11282.00	11294.00	11313.00
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.07	2.07	2.08
Densidad Máxima Promedio (gr/cm³)	2.08 gr/cm³		




DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA	
Densidad Insitu (gr/cm ³)	1.81 gr/cm ³
Densidad Seca Mínima (gr/cm ³)	1.69 gr/cm ³
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.08 gr/cm ³
Densidad Relativa (%)	35.19%


 Ing. Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	FECHA DE EJEC. DE CALICATA	: 15 de nov. del 2015


PERFIL ESTRATIGRÁFICO	Coordenadas de Ubicación X	: 327536.75
	Coordenadas de ubicación Y	: 8264505.04
	N° del punto de exploración	: C - 09

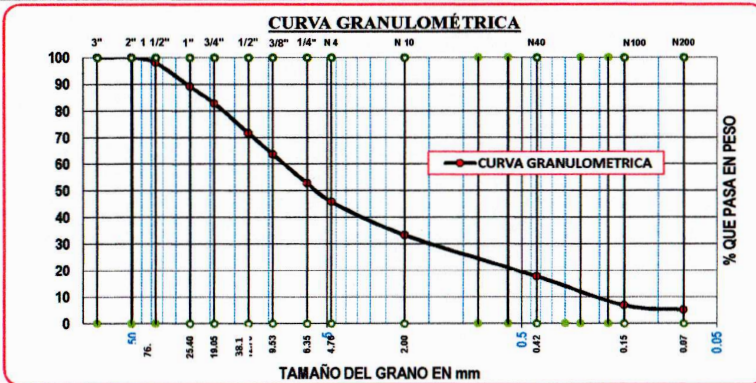
COTA	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO
0.00	ESTRATO - 01	MATERIAL ORGANICO	
0.05			
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30			
0.35			
0.40			
0.45			
0.50	ESTRATO - 02	GW-GM	
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80			
0.85			
0.90			
0.95			
1.00	ESTRATO - 03	GW	
1.05			
1.10			
1.15			
1.20			
1.25			
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			
1.55			
1.60			
1.65			
1.70			
1.75			
1.80			
1.85			
1.90			
2.00			
2.05			
2.10			
2.15			
2.20			
2.25			
2.30			
2.35			
2.40			
2.45			
2.50			
2.55			
2.60			

CONTENIDO DE HUMEDAD				
ESTRATO N°02				
Numero de ensayo	1	2	3	
Numero de Tara	T-001	T-002	T-003	
Peso de tara (gr)	16.06	18.7	16.08	
P. de tara + M. humeda(gr)	69.49	86.73	100.7	
P. de tara + M. seca(gr)	67.4	83.36	97.43	
Peso del agua (gr)	2.09	3.37	3.26	
Peso de suelo seco (gr)	51.34	64.68	81.35	
Cont. de humedad parcial (%)	4.1%	5.2%	4.0%	
Cont. de humedad final (%)	4.04%			


 Ing. Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

 UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	*Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*					
UBICACIÓN	Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	C - 09	FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	04 de febrero del 2016			
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
	NORMA ASTM - D 422	Nro de Estrato	E - 02			
		Nro de Muestra	M - 01 (Unica)			
		Prof. de la Muestra	0.40 - 1.40m			
		Clasificación SUCS	GW-GM (Grava bien graduada con limo y arena)			
		Estado de la Muestra	Alterada			
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial Lavado: 200.00 gr.
1 1/2"	38.1	121.00	2.02	2.02	97.98	Peso Perdido : 22.31
1"	25.4	533.00	8.88	10.90	89.10	
3/4"	19.05	382.00	6.37	17.27	82.73	LÍMITES DE CONSISTENCIA
1/2"	12.7	671.00	11.18	28.45	71.55	Límite Líquido : NP
3/8"	9.53	483.00	8.05	36.50	63.50	Límite Plástico : NP
1/4"	6.35	647.00	10.78	47.28	52.72	Índice d Plasticidad : NP
No4	4.76	416.00	6.93	54.22	45.78	CARACT. GRANULOMÉTRICAS
No10	2.00	54.60	12.50	66.72	33.28	D10 = 0.23 mm
No40	0.42	68.07	15.58	82.30	17.70	D30 = 1.67 mm
No100	0.15	47.52	10.88	93.18	6.82	D60 = 8.5 mm
No200	0.07	7.50	1.72	94.89	5.11	CU = 37.24
BASE		22.31	5.11	100.00	0.00	CC = 1.43
TOTAL		6000.00				



 UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS			
PROYECTO DE TESIS	*Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*		
UBICACIÓN	Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto		
Nº DE CALICATA	C - 09	FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	04 de febrero del 2016
ENSAYO:	LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO		
	NORMA: ASTM D 4318	Nro de Estrato	E - 02
		Nro de Muestra	M - 01 (Unica)
		Prof. de la Muestra	0.40 - 1.40m
		Clasificación SUCS	GW-GM (Grava bien graduada con limo y arena)
		Estado de la Muestra	Alterada
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00
Número de Golpes	0	0	0
			NP



LÍMITE LÍQUIDO: NP LÍMITE PLÁSTICO: NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD: NP



Ecler Mariani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

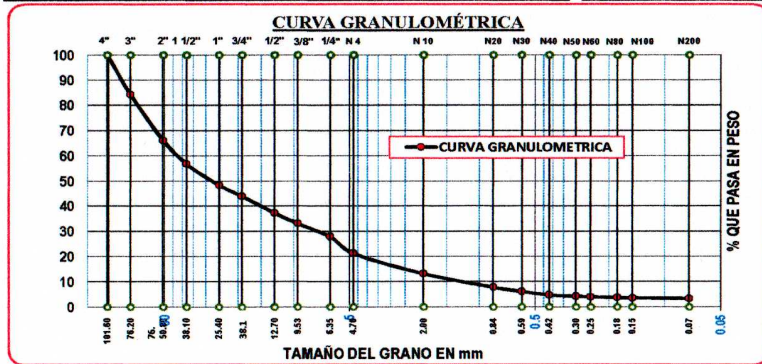
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO



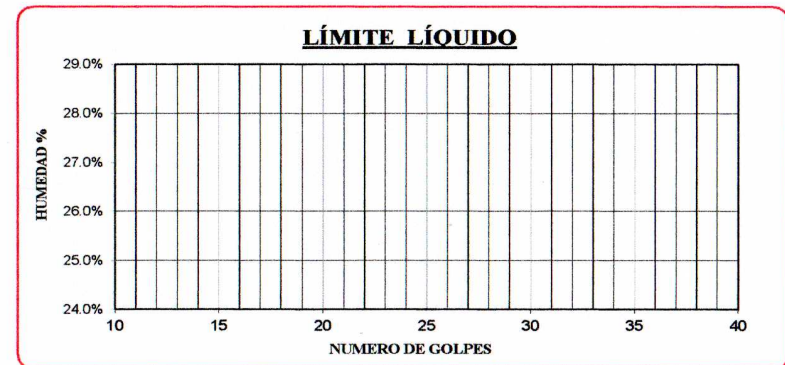
Ecler Mariani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"					
UBICACIÓN	Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	C - 09					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	05 de febrero del 2016					
ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 03 Nro de Muestra : M - 01 (Unica) Prof. de la Muestra : 1.40 - 2.60m Clasificación SUCS : GW (Grava bien graduada con arena) Estado de la Muestra : Alterada					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA: ASTM - D 422						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.6	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
3"	76.2	946.00	15.77	15.77	84.23	Peso Lavado : 5802.74 gr.
2"	50.8	1091.00	18.18	33.95	66.05	Peso Perdido : 197.26 gr.
1 1/2"	38.1	551.00	9.18	43.13	56.87	
1"	25.4	510.00	8.50	51.63	48.37	
3/4"	19.05	271.00	4.52	56.15	43.85	
1/2"	12.7	395.00	6.58	62.73	37.27	
3/8"	9.53	251.00	4.18	66.92	33.08	
1/4"	6.35	313.00	5.22	72.13	27.87	
No4	4.75	398.00	6.63	78.77	21.23	
No10	2.00	483.00	8.05	86.82	13.18	
No20	0.84	321.00	5.35	92.17	7.83	
No30	0.59	103.73	1.73	93.90	6.10	
No40	0.42	78.94	1.32	95.21	4.79	
No 50	0.30	36.46	0.61	95.82	4.18	
No60	0.25	11.41	0.19	96.01	3.99	
No80	0.18	18.49	0.31	96.32	3.68	
No100	0.15	8.61	0.14	96.46	3.54	
No200	0.07	15.10	0.25	96.71	3.29	
BASE		197.26	3.29	100.00	0.00	
TOTAL		6000.00				



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		
PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"	
UBICACIÓN	Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa	
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto	
Nº DE CALICATA	C - 09	
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	05 de febrero del 2016	
ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 03 Nro de Muestra : M - 01 (Unica) Prof. de la Muestra : 1.40 - 2.60m Clasificación SUCS : GW (Grava bien graduada con arena) Estado de la Muestra : Alterada	
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO NORMA: ASTM D 4318		
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
Número de Ensayo	1	2
Número de Tara	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00
Número de Golpes	0	0



LÍMITE LÍQUIDO: NP LÍMITE PLÁSTICO: NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD: NP



Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO



Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS	*Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*		
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto		
N° DE CALICATA	: C-09	FECHA DE EJECUCION	: 15 de noviembre del 2015

ENSAYO:	DENSIDAD DE CAMPO	Nro de Estrato	: E - 03
	NORMA ASTM D 1556, MTC E117	Nro de Muestra	: M - 01 (Unica)
		Prof. de la Muestra	: 1.40 - 2.60m
		Metodo de Prueba	: Cono de Arena

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Número de Ensayo			
Número de Frasco	F-001	F-002	F-003
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	4962.00	4962.00	4962.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	3264.00	3262.00	3266.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1698.00	1700.00	1696.00
Peso de la Arena en el Cono Promedio (gr)	1698.00		
Volumen del Molde (cm ³)	2142.53	2142.53	2142.53
Peso de Molde (gr)	5988.00	5988.00	5988.00
Peso de Molde + Arena (gr)	8753.00	8754.00	8750.00
Peso de Arena (gr)	2765.00	2766.00	2762.00
Densidad de Arena Parcial (gr/cm ³)	1.29	1.29	1.29
Densidad de Arena Promedio (gr/cm³)	1.29 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6268.00	
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	1358.00		
Peso de Arena en Hoyo + Cono (gr)	4910.00		
Peso de Arena en Hoyo (gr)	3212.00		
Volumen de Arena en Hoyo (cm ³)	2489.50		
Peso de Material Extraído (gr)	4945.00		
Densidad Húmeda en Campo	1.99 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Número de Ensayo			
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	10.21	20.82	16.26
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr)	58.51	97.17	98.47
Peso de Muestra Húmeda (gr)	48.30	76.35	82.21
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	55.06	91.78	92.56
Peso de Muestra Seca (gr)	44.85	70.96	76.30
Peso del Agua (gr)	3.45	5.39	5.91
Contenido de Humedad Parcial (%)	7.69%	7.60%	7.75%
Contenido de Humedad Final (%)	7.68%		
Densidad Seca	1.84 gr/cm³		

PROYECTO DE TESIS	*Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*		
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto		
N° CALICATA	: C-09	FECHA DE EJECUCIÓN	: 25 de febrero del 2016

ENSAYO:	DENSIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS	Nro de Estrato	: E-03
		Prof. de la Muestra	: 1.40 - 2.60m
		Estado de la Muestra	: Alterada
		% finos	: 3.29 %

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA		
	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	14.84	14.84	14.84
Volumen de Molde (cm ³)	5185.45		
Peso de Molde (gr)	7881.00	7881.00	7881.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	16715.00	16703.00	16761.00
Peso de Muestra (gr)	8834.00	8822.00	8880.00
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.70	1.70	1.71
Densidad Mínima Promedio (gr/cm³)	1.71 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA		
	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	15.20	15.20	15.20
Volumen de Molde (cm ³)	5443.75		
Peso de Molde (gr)	8570.00	8570.00	8570.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	19987.00	20005.00	19998.00
Peso de Muestra (gr)	11417.00	11435.00	11428.00
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.10	2.10	2.10
Densidad Máxima Promedio (gr/cm³)	2.10 gr/cm³		

DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA	
Densidad Insitu (gr/cm ³)	1.84 gr/cm ³
Densidad Seca Mínima (gr/cm ³)	1.71 gr/cm ³
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.10 gr/cm ³
Densidad Relativa (%)	40.19%


Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO



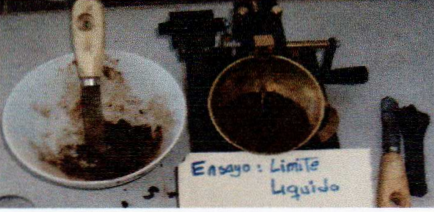

Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	FECHA DE EJEC. DE CALICATA	: 15 de nov. del 2015

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Coordenadas de Ubicación X	: 327557.73
Coordenadas de ubicación Y	: 8264352.93
N° del punto de exploración	: C - 10

COTA	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO
0.00	ESTRATO - 01	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">MATERIAL ORGANICO</div>	
0.05			
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30			
0.35			
0.40			
0.45			
0.50	ESTRATO - 02	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">GW</div>	
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80			
0.85			
0.90			
0.95			
1.00	ESTRATO - 03	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">GP</div>	
1.05			
1.10			
1.15			
1.20			
1.25			
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			
1.55			
1.60			
1.65			
1.70			
1.75			
1.80			
1.85			
1.90			
2.00			
2.05			
2.10			
2.15			
2.20			
2.25			
2.30			
2.35			
2.40			
2.45			
2.50			
2.55			
2.60			

CONTENIDO DE HUMEDAD			
ESTRATO N°02			
Numero de ensayo	1	2	3
Numero de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de tara (gr)	16.27	16.13	16.41
P. de tara + M. humeda(gr)	81.43	79.83	82.21
P. de tara + M. seca(gr)	77.84	75.96	78.14
Peso del agua (gr)	3.59	3.87	4.07
Peso de suelo seco (gr)	61.57	59.83	61.73
Cont. de humedad parcial (%)	5.8%	6.5%	6.6%
Cont. de humedad final (%)	6.53%		




 Ing. Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

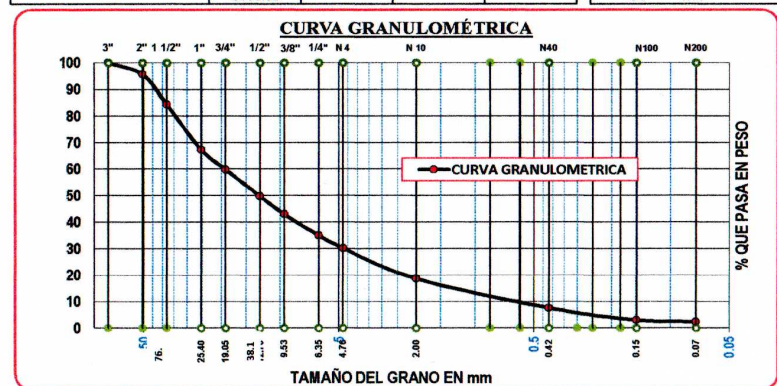

 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 N° DE CALICATA : C - 10 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 08 de febrero del 2016

ENSAYO: **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**
 NORMA ASTM - D 422

Nro de Estrato : E - 02
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 0.60 - 1.40m
 Clasificación SUCS : GW (Grava bien graduada con arena)
 Estado de la Muestra : Alterada

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
2"	50.8	263.00	4.38	4.38	95.62	Peso Inicial Lavado: 200.00 gr.
1 1/2"	38.1	683.00	11.38	15.77	84.23	Peso Perdido : 15.14
1"	25.4	1025.00	17.08	32.85	67.15	
3/4"	19.05	449.00	7.48	40.33	59.67	
1/2"	12.7	601.00	10.02	50.35	49.65	
3/8"	9.53	406.00	6.77	57.12	42.88	
1/4"	6.35	476.00	7.93	65.05	34.95	
No4	4.76	289.00	4.82	69.87	30.13	
No10	2.00	76.48	11.52	81.39	18.61	
No40	0.42	73.30	11.04	92.43	7.57	
No100	0.15	30.14	4.54	96.97	3.03	
No200	0.07	4.94	0.74	97.72	2.28	
BASE		15.14	2.28	100.00	0.00	
TOTAL		6000.00				



PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
 UBICACIÓN : Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
 RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
 N° DE CALICATA : C - 10 FECHA DE EJEC.DE ENSAYO : 08 de febrero del 2016

ENSAYO: **LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO**
 NORMA: ASTM D 4318

Nro de Estrato : E - 02
 Nro de Muestra : M - 01 (Unica)
 Prof. de la Muestra : 0.60 - 1.40m
 Clasificación SUCS : GW (Grava bien graduada con arena)
 Estado de la Muestra : Alterada

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	4	1	2
Número de Ensayo						
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	NP	NP
Número de Golpes	0	0	0	0	NP	



LÍMITE LÍQUIDO: NP LÍMITE PLÁSTICO: NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD: NP

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
 E.P. INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Bach. Yesenia Apaza Pinto
 CIP 124929
 TÉCNICO DE LABORATORIO

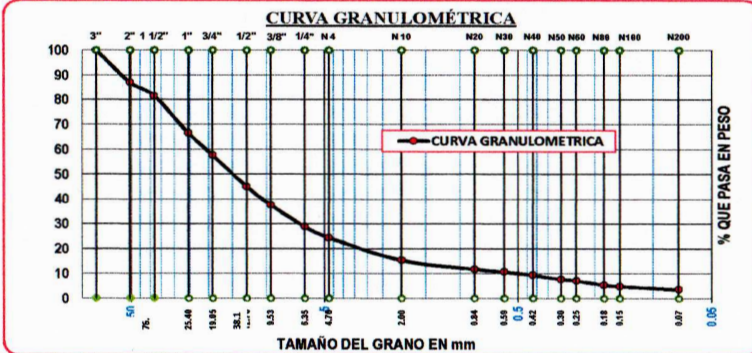
Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
 E.P. INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

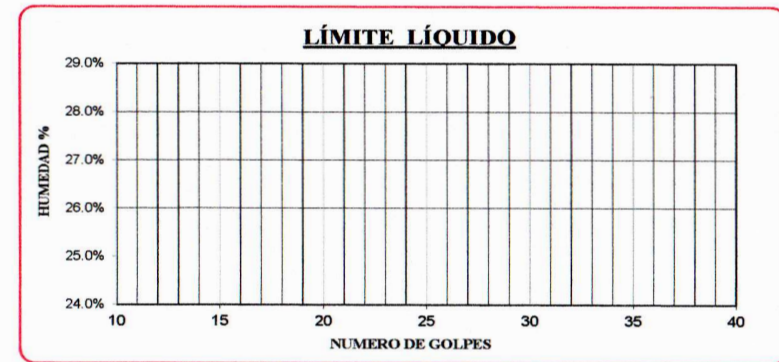
Bach. Yesenia Apaza Pinto
 CIP 124929
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"					
UBICACIÓN	Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto					
N° DE CALICATA	C - 10					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	09 de febrero del 2016					
ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 03 Nro de Muestra : M - 01 (Unica) Prof. de la Muestra : 1.40 - 2.60m Clasificación SUCS : GP (grava mal graduada con Arena) Estado de la Muestra : Alterada					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA: ASTM - D 422						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
2"	50.8	787.00	13.12	13.12	86.88	Peso Lavado : 5783.84 gr.
1 1/2"	38.1	326.00	5.43	18.55	81.45	Peso Perdido : 216.16 gr.
1"	25.4	897.00	14.95	33.50	66.50	
3/4"	19.05	537.00	8.95	42.45	57.55	
1/2"	12.7	753.00	12.55	55.00	45.00	
3/8"	9.53	447.00	7.45	62.45	37.55	
1/4"	6.35	522.00	8.70	71.15	28.85	LÍMITES DE CONSISTENCIA
No4	4.76	266.00	4.43	75.58	24.42	Límite Líquido : NP
No10	2.00	546.00	9.10	84.68	15.32	Límite Plástico : NP
No20	0.84	217.38	3.62	88.31	11.69	Índice d Plasticidad : NP
No30	0.59	63.94	1.07	89.37	10.63	
No40	0.42	78.98	1.32	90.69	9.31	CARACT. GRANULOMÉTRICAS
No 50	0.30	99.64	1.66	92.35	7.65	D10 = 0.51 mm
No60	0.25	36.49	0.61	92.96	7.04	D30 = 6.77 mm
No80	0.18	99.01	1.65	94.61	5.39	D60 = 20.79 mm
No100	0.15	34.83	0.58	95.19	4.81	CU = 40.8
No200	0.07	72.57	1.21	96.40	3.60	CC = 4.33
BASE		216.16	3.60	100.00	0.00	
TOTAL		6000.00				



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"					
UBICACIÓN	Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto					
N° DE CALICATA	C - 10					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	09 de febrero del 2016					
ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 03 Nro de Muestra : M - 01 (Unica) Prof. de la Muestra : 1.40 - 2.60m Clasificación SUCS : GP (grava mal graduada con Arena) Estado de la Muestra : Alterada					
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO NORMA: ASTM D 4318						
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	NP	NP
Número de Golpes	0	0	0	0	NP	



LÍMITE LÍQUIDO: NP LÍMITE PLÁSTICO: NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD: NP



Ecler Mamani Chambi
Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO



Ecler Mamani Chambi
Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

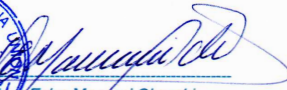
PROYECTO	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto		
N° DE CALICATA	: C - 10	FECHA DE EJECUCION	: 15 de noviembre del 2015

ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 03
	Nro de Muestra : M - 01 (unica)
	Prof. de la Muestra : 1.40 - 2.60m
	Metodo de Prueba : Cono de Arena
DENSIDAD DE CAMPO	
NORMA ASTM D 1556, MTC E117	

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Número de Ensayo			
Número de Frasco	F-001	F-002	F-003
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	4962.00	4962.00	4962.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	3264.00	3262.00	3266.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1698.00	1700.00	1696.00
Peso de la Arena en el Cono Promedio (gr)	1698.00		
Volumen del Molde (cm ³)	2142.53	2142.53	2142.53
Peso de Molde (gr)	5988.00	5988.00	5988.00
Peso de Molde + Arena (gr)	8753.00	8754.00	8750.00
Peso de Arena (gr)	2765.00	2766.00	2762.00
Densidad de Arena Parcial (gr/cm ³)	1.29	1.29	1.29
Densidad de Arena Promedio (gr/cm³)	1.29 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	7349.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	2549.00
Peso de Arena en Hoyo + Cono (gr)	4800.00
Peso de Arena en Hoyo (gr)	3102.00
Volumen de Arena en Hoyo (cm ³)	2404.65
Peso de Material Extraído (gr)	4681.00
Densidad Húmeda en Campo	1.95 gr/cm³

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Número de Ensayo			
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	15.95	16.30	16.27
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr)	83.51	84.13	82.93
Peso de Muestra Húmeda (gr)	67.56	67.83	66.66
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	77.73	78.10	76.82
Peso de Muestra Seca (gr)	61.78	61.80	60.55
Peso del Agua (gr)	5.78	6.03	6.11
Contenido de Humedad Parcial (%)	9.36%	9.76%	10.09%
Contenido de Humedad Final (%)	9.73%		
Densidad Seca	1.77 gr/cm³		


Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio 08 de octubre - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto		
N° CALICATA	: C-10	FECHA DE EJECUCIÓN	: 26 de febrero del 2016

ENSAYO:	Nro de Estrato : E-03
	Prof. de la Muestra : 1.40 - 2.60m
	Estado de la Muestra : Alterada
	% finos : 3.60 %
DENSIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS	

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	14.84	14.84	14.84
Volumen de Molde (cm ³)	5185.45		
Peso de Molde (gr)	7881.00	7881.00	7881.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	16621.00	16675.00	16614.00
Peso de Muestra	8740.00	8794.00	8733.00
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.69	1.70	1.68
Densidad Mínima Promedio (gr/cm³)	1.69 gr/cm³		

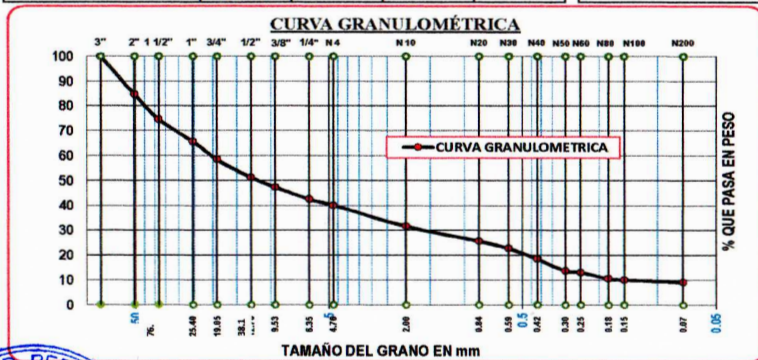
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	15.20	15.20	15.20
Volumen de Molde (cm ³)	5443.75		
Peso de Molde (gr)	8570.00	8570.00	8570.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	19873.00	19814.00	19792.00
Peso de Muestra	11303.00	11244.00	11222.00
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.08	2.07	2.06
Densidad Máxima Promedio (gr/cm³)	2.07 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA	
Densidad Insitu (gr/cm ³)	1.77 gr/cm ³
Densidad Seca Mínima (gr/cm ³)	1.69 gr/cm ³
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.07 gr/cm ³
Densidad Relativa (%)	26.26%


Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS																																																																																																																															
PROYECTO DE TESIS	*Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*																																																																																																																														
UBICACIÓN	Barrio Belen - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa																																																																																																																														
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto																																																																																																																														
Nº DE CALICATA	C - 11																																																																																																																														
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	10 de febrero del 2016																																																																																																																														
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA: ASTM - D 422																																																																																																																															
Nro de Estrato	: E - 02																																																																																																																														
Nro de Muestra	: M - 01 (Unica)																																																																																																																														
Prof. de la Muestra	: 0.60 - 2.50m																																																																																																																														
Clasificación SUCS	: GW-GM (grava bien graduada con limo y arena)																																																																																																																														
Estado de la Muestra	: Alterada																																																																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TAMICES ASTM</th> <th>ABERTURA (mm)</th> <th>Peso Retenido (gr)</th> <th>% Retenido Parcial</th> <th>% Retenido Acumulado</th> <th>% que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td>76.2</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>2"</td><td>50.8</td><td>928.00</td><td>15.47</td><td>15.47</td><td>84.53</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>38.1</td><td>605.00</td><td>10.08</td><td>25.55</td><td>74.45</td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.4</td><td>528.00</td><td>8.80</td><td>34.35</td><td>65.65</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19.05</td><td>433.00</td><td>7.22</td><td>41.57</td><td>58.43</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12.7</td><td>432.00</td><td>7.20</td><td>48.77</td><td>51.23</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.53</td><td>235.00</td><td>3.92</td><td>52.68</td><td>47.32</td></tr> <tr><td>1/4"</td><td>6.35</td><td>286.00</td><td>4.77</td><td>57.45</td><td>42.55</td></tr> <tr><td>No4</td><td>4.76</td><td>148.00</td><td>2.47</td><td>59.92</td><td>40.08</td></tr> <tr><td>No10</td><td>2.00</td><td>511.00</td><td>8.52</td><td>68.43</td><td>31.57</td></tr> <tr><td>No20</td><td>0.84</td><td>358.00</td><td>5.97</td><td>74.40</td><td>25.60</td></tr> <tr><td>No30</td><td>0.59</td><td>174.00</td><td>2.90</td><td>77.30</td><td>22.70</td></tr> <tr><td>No40</td><td>0.42</td><td>256.00</td><td>4.27</td><td>81.57</td><td>18.43</td></tr> <tr><td>No 50</td><td>0.30</td><td>286.00</td><td>4.77</td><td>86.33</td><td>13.67</td></tr> <tr><td>No60</td><td>0.25</td><td>37.97</td><td>0.63</td><td>86.97</td><td>13.03</td></tr> <tr><td>No80</td><td>0.18</td><td>152.56</td><td>2.54</td><td>89.51</td><td>10.49</td></tr> <tr><td>No100</td><td>0.15</td><td>29.07</td><td>0.48</td><td>89.99</td><td>10.01</td></tr> <tr><td>No200</td><td>0.07</td><td>55.91</td><td>0.93</td><td>90.93</td><td>9.07</td></tr> <tr><td>BASE</td><td></td><td>544.49</td><td>9.07</td><td>100.00</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td><td>6000.00</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	2"	50.8	928.00	15.47	15.47	84.53	1 1/2"	38.1	605.00	10.08	25.55	74.45	1"	25.4	528.00	8.80	34.35	65.65	3/4"	19.05	433.00	7.22	41.57	58.43	1/2"	12.7	432.00	7.20	48.77	51.23	3/8"	9.53	235.00	3.92	52.68	47.32	1/4"	6.35	286.00	4.77	57.45	42.55	No4	4.76	148.00	2.47	59.92	40.08	No10	2.00	511.00	8.52	68.43	31.57	No20	0.84	358.00	5.97	74.40	25.60	No30	0.59	174.00	2.90	77.30	22.70	No40	0.42	256.00	4.27	81.57	18.43	No 50	0.30	286.00	4.77	86.33	13.67	No60	0.25	37.97	0.63	86.97	13.03	No80	0.18	152.56	2.54	89.51	10.49	No100	0.15	29.07	0.48	89.99	10.01	No200	0.07	55.91	0.93	90.93	9.07	BASE		544.49	9.07	100.00	0.00	TOTAL		6000.00			
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa																																																																																																																										
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00																																																																																																																										
2"	50.8	928.00	15.47	15.47	84.53																																																																																																																										
1 1/2"	38.1	605.00	10.08	25.55	74.45																																																																																																																										
1"	25.4	528.00	8.80	34.35	65.65																																																																																																																										
3/4"	19.05	433.00	7.22	41.57	58.43																																																																																																																										
1/2"	12.7	432.00	7.20	48.77	51.23																																																																																																																										
3/8"	9.53	235.00	3.92	52.68	47.32																																																																																																																										
1/4"	6.35	286.00	4.77	57.45	42.55																																																																																																																										
No4	4.76	148.00	2.47	59.92	40.08																																																																																																																										
No10	2.00	511.00	8.52	68.43	31.57																																																																																																																										
No20	0.84	358.00	5.97	74.40	25.60																																																																																																																										
No30	0.59	174.00	2.90	77.30	22.70																																																																																																																										
No40	0.42	256.00	4.27	81.57	18.43																																																																																																																										
No 50	0.30	286.00	4.77	86.33	13.67																																																																																																																										
No60	0.25	37.97	0.63	86.97	13.03																																																																																																																										
No80	0.18	152.56	2.54	89.51	10.49																																																																																																																										
No100	0.15	29.07	0.48	89.99	10.01																																																																																																																										
No200	0.07	55.91	0.93	90.93	9.07																																																																																																																										
BASE		544.49	9.07	100.00	0.00																																																																																																																										
TOTAL		6000.00																																																																																																																													
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA Peso Inicial : 6000.00 gr Peso Lavado : 5455.51 gr Peso Perdido : 544.49 gr																																																																																																																															
LÍMITES DE CONSISTENCIA Limite Líquido : NP Limite Plástico : NP Índice de Plasticidad : NP																																																																																																																															
CARACT. GRANULOMÉTRICAS D10 = 0.15 mm D30 = 1.70 mm D60 = 20.43 mm CU = 138 CC = 1																																																																																																																															

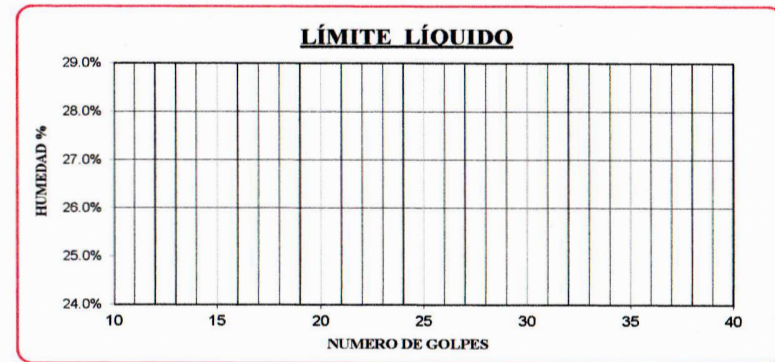


UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
 E.P. INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Ing. Ger Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS																																																																														
PROYECTO DE TESIS	*Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida*																																																																													
UBICACIÓN	Barrio Belen - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa																																																																													
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto																																																																													
Nº DE CALICATA	C - 11																																																																													
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	10 de febrero del 2016																																																																													
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO NORMA: ASTM D 4318																																																																														
Nro de Estrato	: E - 02																																																																													
Nro de Muestra	: M - 01 (Unica)																																																																													
Prof. de la Muestra	: 0.60 - 2.50m																																																																													
Clasificación SUCS	: GW-GM (grava bien graduada con limo y arena)																																																																													
Estado de la Muestra	: Alterada																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th colspan="4">LÍMITE LÍQUIDO</th> <th colspan="2">LÍMITE PLÁSTICO</th> </tr> <tr> <td>Número de Ensayo</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Número de Tara</td> <td>T-001</td> <td>T-002</td> <td>T-003</td> <td>T-004</td> <td>T-001</td> <td>T-002</td> </tr> <tr> <td>Peso de Tara (gr)</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> </tr> <tr> <td>Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> </tr> <tr> <td>Peso de Suelo Húmedo (gr)</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara + Suelo Seco (gr)</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> </tr> <tr> <td>Peso de Suelo Seco (gr)</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> </tr> <tr> <td>Peso del Agua (gr)</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> <td>0.00 gr</td> </tr> <tr> <td>Contenido de Humedad (%)</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>NP</td> <td>NP</td> </tr> <tr> <td>Número de Golpes</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td colspan="2">NP</td> </tr> </tbody> </table>		DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2	Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002	Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	NP	NP	Número de Golpes	0	0	0	0	NP	
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO																																																																									
Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2																																																																								
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002																																																																								
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr																																																																								
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr																																																																								
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr																																																																								
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr																																																																								
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr																																																																								
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr																																																																								
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	NP	NP																																																																								
Número de Golpes	0	0	0	0	NP																																																																									



LÍMITE LÍQUIDO: NP LÍMITE PLÁSTICO: NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD: NP

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA
 E.P. INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Ing. Ger Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

PROYECTO : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN : Barrio Belen - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
N° DE CALICATA : C - 11 **FECHA DE EJECUCION** : 22 de noviembre del 2015

ENSAYO:
DENSIDAD DE CAMPO
 NORMA ASTM D 1556, MTC E117

Nro de Estrato : E - 02
 Nro de Muestra : M - 01 (unica)
 Prof. de la Muestra : 0.60 - 2.50m
 Metodo de Prueba : Cono de Arena

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Frasco	F-001	F-002	F-003
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	4962.00	4962.00	4962.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	3264.00	3262.00	3266.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1698.00	1700.00	1696.00
Peso de la Arena en el Cono Promedio (gr)	1698.00		
Volumen del Molde (cm3)	2142.53	2142.53	2142.53
Peso de Molde (gr)	5988.00	5988.00	5988.00
Peso de Molde + Arena (gr)	8753.00	8754.00	8750.00
Peso de Arena (gr)	2765.00	2766.00	2762.00
Densidad de Arena Parcial (gr/cm3)	1.29	1.29	1.29
Densidad de Arena Promedio (gr/cm3)	1.29 gr/cm3		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	5995.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	2687.00
Peso de Arena en Hoyo + Cono (gr)	3308.00
Peso de Arena en Hoyo (gr)	1610.00
Volumen de Arena en Hoyo (cm3)	1248.06
Peso de Material Extraído (gr)	2468.00
Densidad Húmeda en Campo	1.98 gr/cm3

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD		
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	16.34	16.42	16.55
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr)	85.17	85.80	85.81
Peso de Muestra Húmeda (gr)	68.83	69.38	69.26
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	80.76	82.02	80.94
Peso de Muestra Seca (gr)	64.42	65.60	64.39
Peso del Agua (gr)	4.41	3.78	4.87
Contenido de Humedad Parcial (%)	6.85%	5.76%	7.56%
Contenido de Humedad Final (%)	7.20%		
Densidad Seca	1.84 gr/cm3		

PROYECTO DE TESIS : "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"
UBICACIÓN : Barrio Belen - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa
RESPONSABLE : Bach. Yesenia Apaza Pinto
N° CALICATA : C-11 **FECHA DE EJECUCIÓN** : 29 de febrero del 2016

ENSAYO:
DENSIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS

Nro de Estrato : E-02
 Prof. de la Muestra : 0.60 - 2.50m
 Estado de la Muestra : Alterada
 % finos : 9.07 %

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	14.84	14.84	14.84
Volumen de Molde (cm ³)	5185.45		
Peso de Molde (gr)	7881.00	7881.00	7881.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	16654.00	16600.00	16631.00
Peso de Muestra	8773.00	8719.00	8750.00
Densidad Mínima Parcial (gr/cm3)	1.69	1.68	1.69
Densidad Mínima Promedio (gr/cm3)	1.69 gr/cm3		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	15.20	15.20	15.20
Volumen de Molde (cm ³)	5443.75		
Peso de Molde (gr)	8570.00	8570.00	8570.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	19918.00	19867.00	19903.00
Peso de Muestra	11348.00	11297.00	11333.00
Densidad Máxima Parcial (gr/cm3)	2.08	2.08	2.08
Densidad Máxima Promedio (gr/cm3)	2.08 gr/cm3		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA	
Densidad Insitu (gr/cm3)	1.84 gr/cm3
Densidad Seca Mínima (gr/cm3)	1.69 gr/cm3
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	2.08 gr/cm3
Densidad Relativa (%)	45.18%


 Ing. Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO


 Ing. Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO


 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

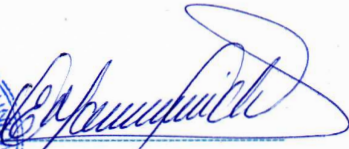
PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"		
UBICACIÓN	: Barrio Belen - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa		
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto	FECHA DE EJEC. DE CALICATA	: 22 de nov. del 2015

PERFIL ESTRATIGRÁFICO	Coordenadas de Ubicación X	: 327026.34
	Coordenadas de ubicación Y	: 8263924.08
	N° del punto de exploración	: C - 12

COTA	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PANEL FOTOGRÁFICO
0.00	ESTRATO - 01	MATERIAL ORGANICO	Presencia de material organico con raices de vegetales
0.05			
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30			
0.35			
0.40			
0.45			
0.50	ESTRATO - 02	GW-GM	Grava bien graduada con limo y arena
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80			
0.85			
0.90			
0.95			
1.00			
1.05			
1.10			
1.15			
1.20			
1.25	ESTRATO - 03	GP	Grava mal graduada con arena
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			
1.55			
1.60			
1.65			
1.70			
1.75			
1.80			
1.85			
1.90			
1.95			
2.00			
2.05			
2.10			
2.15			
2.20			
2.25			
2.30			
2.35			
2.40			
2.45			
2.50			
2.55			
2.60			
2.65			
2.70			
2.75			
2.80			
2.85			
2.90			
2.95			
3.00			

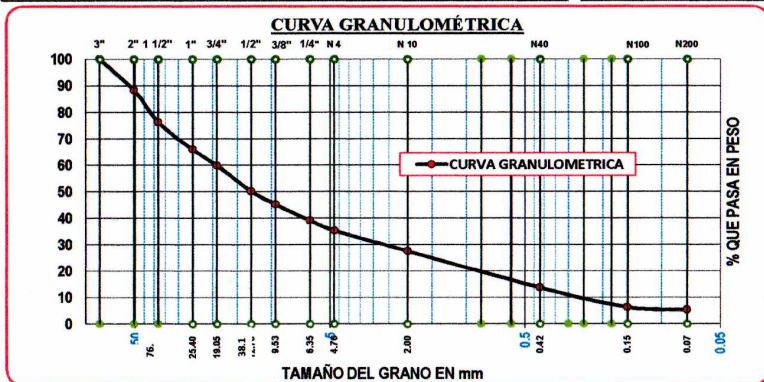
CONTENIDO DE HUMEDAD			
ESTRATO N°02			
Numero de ensayo	1	2	3
Numero de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de tara (gr)	16.07	15.81	16.35
P. de tara + M. humeda(gr)	95.02	92.29	93.7
P. de tara + M. seca(gr)	91.47	88.53	89.88
Peso del agua (gr)	3.55	3.76	3.82
Peso de suelo seco (gr)	75.4	72.72	73.53
Cont. de humedad parcial (%)	4.7%	5.2%	5%
Cont. de humedad final (%)	5.18%		




Ecler Mamani Chambi
 CIP 124929
 JEFE DE LABORATORIO

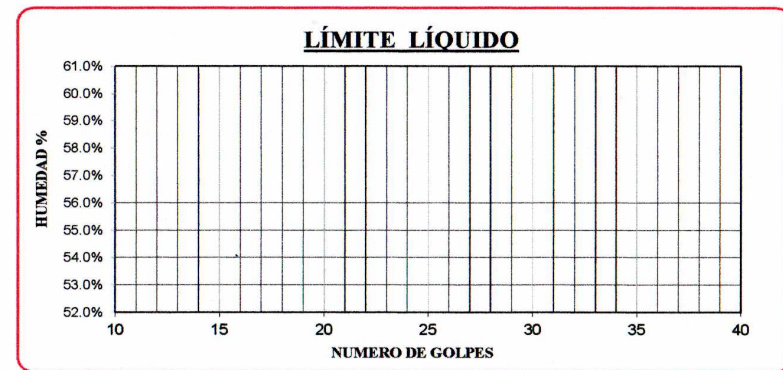

 Bach. Yesenia Apaza Pinto
 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"					
UBICACIÓN	Barrio Belen - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	C - 12					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	11 de febrero del 2016					
ENSAYO:						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
NORMA ASTM - D 422						
Nro de Estrato	E - 02					
Nro de Muestra	M - 01 (Unica)					
Prof. de la Muestra	0.40 - 1.80m					
Clasificación SUCS	GW-GM (Grava Bien Graduada con Limo y Arena)					
Estado de la Muestra	Alterada					
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
2"	50.8	705.00	11.75	11.75	88.25	Peso Inicial Lavado: 200.00 gr.
1 1/2"	38.1	725.00	12.08	23.83	76.17	Peso Perdido : 29.68
1"	25.4	617.00	10.28	34.12	65.88	
3/4"	19.05	367.00	6.12	40.23	59.77	
1/2"	12.7	582.00	9.70	49.93	50.07	
3/8"	9.53	295.00	4.92	54.85	45.15	LÍMITES DE CONSISTENCIA
1/4"	6.35	365.00	6.08	60.93	39.07	Limite Liquido : NP
No4	4.76	226.00	3.77	64.70	35.30	Limite Plastico : NP
No10	2.00	43.92	7.75	72.45	27.55	Indice d Plasticidad : NP
No40	0.42	78.61	13.87	86.33	13.67	CARACT. GRANULOMÉTRICAS
No100	0.15	41.70	7.36	93.69	6.31	D10 = 0.28 mm
No200	0.07	6.09	1.07	94.76	5.24	D30 = 2.87 mm
BASE		29.68		100.00	0.00	D60 = 19.3 mm
TOTAL		6000.00				CU = 67.75
						CC = 1.50



Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		
PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"	
UBICACIÓN	Barrio Belen - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa	
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto	
Nº DE CALICATA	C - 12	
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	11 de febrero del 2016	
ENSAYO:		
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO		
NORMA: ASTM D 4318		
Nro de Estrato	E - 02	
Nro de Muestra	M - 01 (Unica)	
Prof. de la Muestra	0.40 - 1.80m	
Clasificación SUCS	GW-GM (Grava Bien Graduada con Limo y Arena)	
Estado de la Muestra	Alterada	
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
Número de Ensayo	1	2
Número de Tara	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00
Número de Golpes	0	0

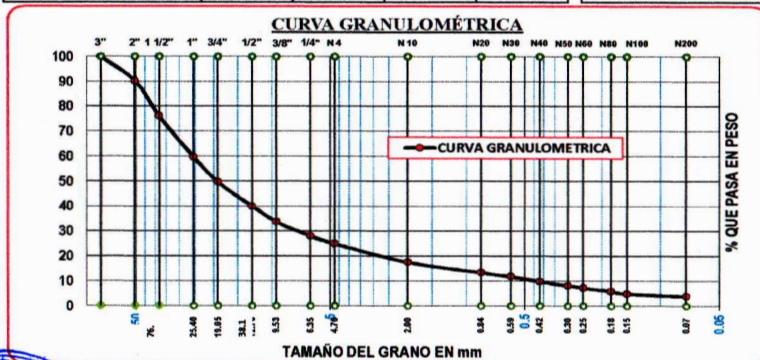


LÍMITE LÍQUIDO: NP LÍMITE PLÁSTICO: NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD: NP



Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

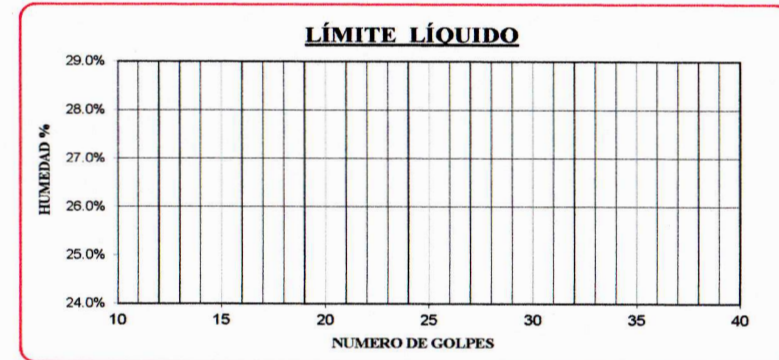
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"					
UBICACIÓN	: Barrio Belen - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	: C - 12					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 12 de febrero del 2016					
ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 03 Nro de Muestra : M - 01 (Unica) Prof. de la Muestra : 1.80 - 3.00m Clasificación SUCS : GP (grava mal graduada con Arena) Estado de la Muestra : Alterada					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA: ASTM - D 422						
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 6000.00 gr.
2"	50.8	590.00	9.83	9.83	90.17	Peso Lavado : 5770.38 gr.
1 1/2"	38.1	850.00	14.17	24.00	76.00	Peso Perdido : 229.62 gr.
1"	25.4	982.00	16.37	40.37	59.63	
3/4"	19.05	600.00	10.00	50.37	49.63	
1/2"	12.7	581.00	9.68	60.05	39.95	LÍMITES DE CONSISTENCIA
3/8"	9.53	376.00	6.27	66.32	33.68	Limite Líquido : NP
1/4"	6.35	340.00	5.67	71.98	28.02	Limite Plástico : NP
No4	4.76	191.00	3.18	75.17	24.83	Indice d Plasticidad : NP
No10	2.00	440.00	7.33	82.50	17.50	
No20	0.84	253.00	4.22	86.72	13.28	CARACT. GRANULOMÉTRICAS
No30	0.59	94.73	1.58	88.30	11.70	D10 = 0.44 mm
No40	0.42	116.13	1.94	90.23	9.77	D30 = 7.46 mm
No 50	0.30	100.99	1.68	91.91	8.09	D60 = 25.68 mm
No60	0.25	52.74	0.88	92.79	7.21	CU = 58.3
No80	0.18	82.36	1.37	94.17	5.83	CC = 4.92
No100	0.15	63.91	1.07	95.23	4.77	
No200	0.07	56.52	0.94	96.17	3.83	
BASE		229.62	3.83	100.00	0.00	
TOTAL		6000.00				



Ecler Mamani Chambi
Ing. Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
PROYECTO DE TESIS	: "Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"					
UBICACIÓN	: Barrio Belen - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa					
RESPONSABLE	: Bach. Yesenia Apaza Pinto					
Nº DE CALICATA	: C - 12					
FECHA DE EJEC.DE ENSAYO	: 12 de febrero del 2016					
ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 03 Nro de Muestra : M - 01 (Unica) Prof. de la Muestra : 1.80 - 3.00m Clasificación SUCS : GP (grava mal graduada con Arena) Estado de la Muestra : Alterada					
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO NORMA: ASTM D 4316						
DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Número de Ensayo	1	2	3	4	1	2
Número de Tara	T-001	T-002	T-003	T-004	T-001	T-002
Peso de Tara (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Tara + Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Húmedo (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de tara + Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso de Suelo Seco (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Peso del Agua (gr)	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	NP	NP
Número de Golpes	0	0	0	0	NP	





LÍMITE LÍQUIDO: NP LÍMITE PLÁSTICO: NP ÍNDICE DE PLASTICIDAD: NP



Ecler Mamani Chambi
Ing. Ecler Mamani Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO

Yesenia Apaza Pinto
Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
PROYECTO	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"	
UBICACIÓN	Barrio Belen - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa	
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto	
N° DE CALICATA	C-12	FECHA DE EJECUCIÓN : 22 de noviembre del 2015

ENSAYO:	Nro de Estrato : E - 03
	Nro de Muestra : M - 01
	Prof. de la Muestra : 1.80 - 3.00m
	Metodo de Prueba : Cono de Arena
DENSIDAD DE CAMPO	
NORMA ASTM D 1556, MTC E117	

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Frasco	F-001	F-002	F-003
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr	6067.00	6064.00	6052.00
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr	4290.00	4321.00	4296.00
Peso de la Arena en el Cono (gr)	1777.00	1743.00	1756.00
Peso de la Arena en el Cono Promedio (gr)	1758.67		
Volumen del Molde (cm ³)	2086.27	2086.27	2086.27
Peso de Molde (gr)	6826.00	6826.00	6826.00
Peso de Molde + Arena (gr)	9795.00	9697.00	9692.00
Peso de Arena (gr)	2969.00	2871.00	2866.00
Densidad de Arena Parcial (gr/cm ³)	1.42	1.38	1.37
Densidad de Arena Promedio (gr/cm³)	1.39 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD DE CAMPO		
	1	2	3
Peso de Arena + Cono + Frasco (antes) gr		5373.00	
Peso de Arena + Cono + Frasco (despues) gr		1146.00	
Peso de Arena en Hoyo + Cono (gr)		4227.00	
Peso de Arena en Hoyo (gr)		2468.33	
Volumen de Arena en Hoyo (cm ³)		1774.50	
Peso de Material Extraído (gr)		3309.00	
Densidad Húmeda en Campo	1.86 gr/cm³		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Número de Ensayo	1	2	3
Número de Tara	T-001	T-002	T-003
Peso de Tara (gr)	16.39	16.75	16.69
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr)	92.42	76.65	91.15
Peso de Muestra Húmeda (gr)	76.03	59.90	74.46
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	88.25	73.43	87.25
Peso de Muestra Seca (gr)	71.86	56.68	70.56
Peso del Agua (gr)	4.17	3.22	3.90
Contenido de Humedad Parcial (%)	5.80%	5.68%	5.53%
Contenido de Humedad Final (%)	5.67%		
Densidad Seca	1.76 gr/cm³		


Ing. Ecler Mamaní Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - FILIAL JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E.P. INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
PROYECTO DE TESIS	"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"	
UBICACIÓN	Barrio Belen - Distrito de Santa Lucia - Provincia de Lampa	
RESPONSABLE	Bach. Yesenia Apaza Pinto	
N° CALICATA	C-12	FECHA DE EJECUCIÓN : 01 de marzo del 2016

ENSAYO:	Nro de Estrato : E-03
	Prof. de la Muestra : 1.80 - 3.00m
	Estado de la Muestra : Alterada
	% finos : 3.83 %
DENSIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS	

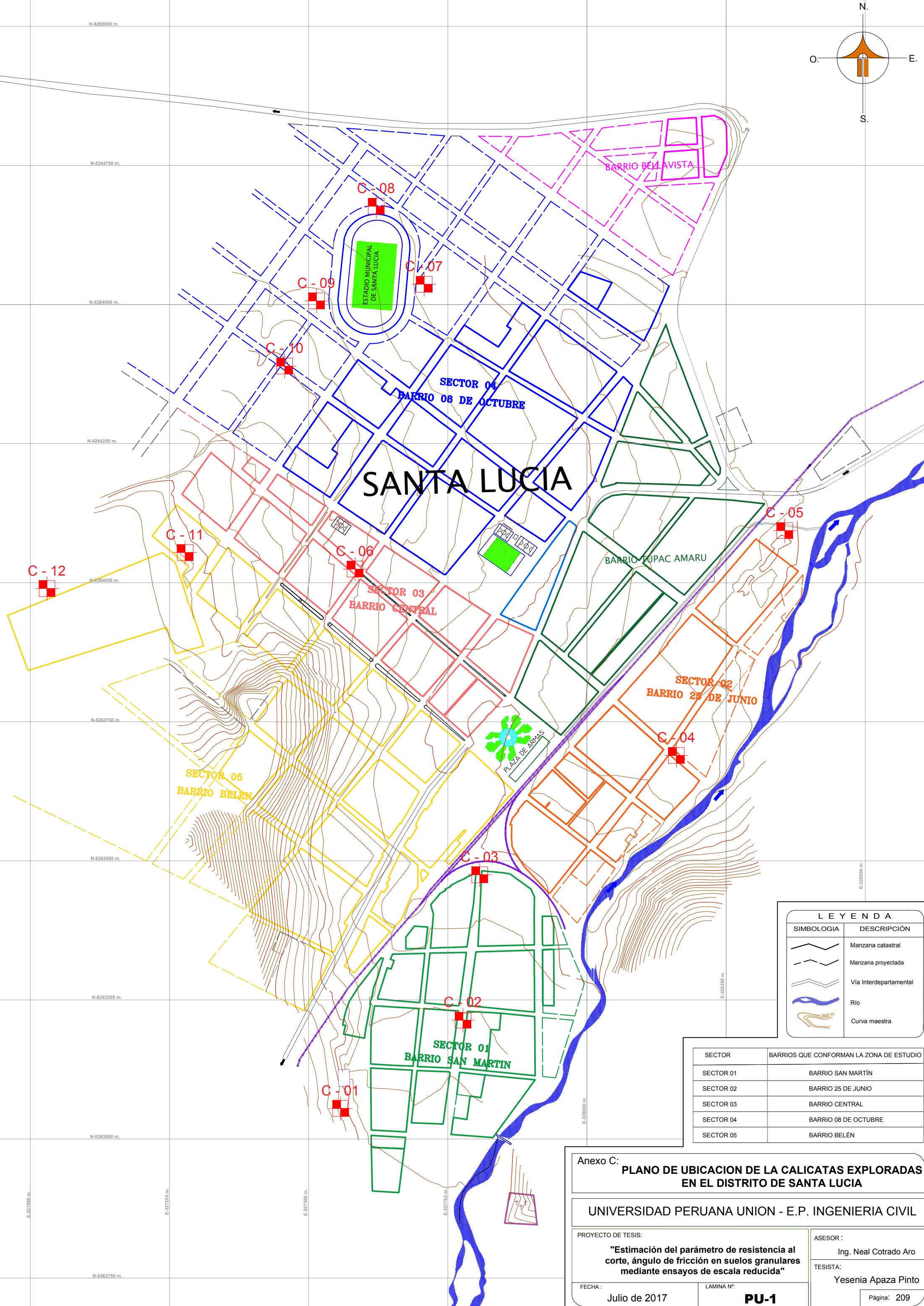
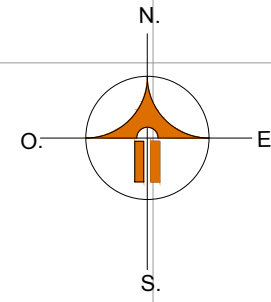
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	14.84	14.84	14.84
Volumen de Molde (cm ³)	5185.45		
Peso de Molde (gr)	7881.00	7881.00	7881.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	16559.00	16531.00	16504.00
Peso de Muestra	8678.00	8650.00	8623.00
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.67	1.67	1.66
Densidad Mínima Promedio (gr/cm³)	1.67 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura de molde (cm)	30.00	30.00	30.00
Diámetro de molde (cm)	15.20	15.20	15.20
Volumen de Molde (cm ³)	5443.75		
Peso de Molde (gr)	8570.00	8570.00	8570.00
Peso de Molde + Muestra (gr)	19762.00	19798.00	19715.00
Peso de Muestra	11192.00	11228.00	11145.00
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.06	2.06	2.05
Densidad Máxima Promedio (gr/cm³)	2.06 gr/cm³		

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA	
Densidad Insitu (gr/cm ³)	1.76 gr/cm ³
Densidad Seca Mínima (gr/cm ³)	1.67 gr/cm ³
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.06 gr/cm ³
Densidad Relativa (%)	29.03%


Ing. Ecler Mamaní Chambi
CIP 124929
JEFE DE LABORATORIO


Bach. Yesenia Apaza Pinto
TÉCNICO DE LABORATORIO



LEYENDA	
SIMBOLOGIA	DESCRIPCIÓN
	Manzana catastral
	Manzana proyectada
	Vía Interdepartamental
	Río
	Curva maestra

SECTOR	BARRIOS QUE CONFORMAN LA ZONA DE ESTUDIO
SECTOR 01	BARRIO SAN MARTÍN
SECTOR 02	BARRIO 25 DE JUNIO
SECTOR 03	BARRIO CENTRAL
SECTOR 04	BARRIO 08 DE OCTUBRE
SECTOR 05	BARRIO BELÉN

Anexo C: **PLANO DE UBICACION DE LA CALICATAS EXPLORADAS EN EL DISTRITO DE SANTA LUCIA**

UNIVERSIDAD PERUANA UNION - E.P. INGENIERIA CIVIL

PROYECTO DE TESIS:
"Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida"

ASESOR :
 Ing. Neal Cotrado Aro
 TESISISTA:
 Yesenia Apaza Pinto

FECHA :
 Julio de 2017

LAMINA N°:
PU-1

Página: 209