

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Análisis comparativo de la capacidad de carga de suelos cohesivos, usando ensayo DPL convencional y artesanal en el sector de Urco – Calca.

Asesor:

Mag. Mamani Cutipa, Ambrocio

Autor:

Casafranca Guevara, William

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Cusco - Cusco - Perú

2025



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 001

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 11 días del mes de Febrero del 2025, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 050-2025-UTEA-FC-FI-EPIC de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Cárdenas Galiano Jorge Armando
Dictaminante:	Mg. Coñza Berrocal Elvis Cris
Replicante :	Mg. Cortez Vargas Juan Pedro Luciano

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Análisis comparativo de la capacidad de carga de suelos cohesivos, usando ensayo DPL convencional y artesanal en el sector Urco - Calca

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Casafranca Guevara William

(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Unanimidad

(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Casafranca Guevara William	Aprobado

Siendo las 12:45pm horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Cárdenas Galiano Jorge Armando

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)



(Firma)

Dictaminante: Mg. Conza Berrocal Elvis Cris

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)



(Firma)

Replicante: Mg. Cortez Vargas Juan Pedro Luciano

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)



(Firma)

(*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Análisis comparativo de la capacidad de carga de suelos cohesivos, usando ensayo DPL convencional y artesanal en el sector de Urco – Calca..docx

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	10%
2	idoc.pub Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
5	sigrid.cenepred.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
7	vsip.info Fuente de Internet	1%
8	medicinavirtual.uas.edu.mx Fuente de Internet	<1%
9	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1%
11	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1%
12	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Casafranca Guevara, William
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 45615812
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0001-4328-626X
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Mag. Mamani Cutipa, Ambrocio
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: N° 23894927
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0002-6591-6621
Datos de la Investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible.
Rango de años en que se realizó la investigación	: julio 2024 – octubre 2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 23%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres, Mario Casafranca Escobedo y Cornelia Guevara Barrios, al enseñarme que cuando existen las ganas, todo es posible.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.

Agradecimientos

Agradezco a mi universidad, por haberme permitido formarme en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes en este proceso, gracias a Dios, que fue mi principal apoyo.

William Casafranca Guevara

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo realizar un Análisis Comparativo de la Capacidad de Carga de Suelos Cohesivos, usando dos tipos de ensayo, el ensayo DPL convencional (Dynamic Probing Light) y un ensayo DPL Artesanal con un equipo al que denominamos PDLA (Penetrómetro Dinámico Ligero Artesanal).

Los materiales y equipos utilizados fueron del laboratorio de suelos de la Universidad Tecnológica de los Andes – Filial Cusco, algunos equipos como el de corte directo y PDL fueron contratados de laboratorios externos.

Los métodos aplicados para los sondeos y prospección de campo, fueron excavaciones a cielo abierto (Calicatas) de manera aleatoria de los cuales se extrajeron muestras para realizar las pruebas en laboratorio del suelo, dichas muestras del suelo provinieron del sector de Urco, Distrito de Calca, Provincia de Calca, Departamento del Cusco. Así mismo, los métodos de ensayo aplicados fueron los de auscultación para cimentaciones superficiales con la aplicación de DPL y PDLA.

Los resultados indicaron que el ensayo DPLA presenta una trabajabilidad de 120% en comparación al ensayo PDL, el costo de adquisición y uso del equipo resulta un 70% más económico.

Se concluyó que; El ensayo PDLA presenta resultados más eficientes en la obtención de capacidad de carga de suelos cohesivos, de igual manera se encontró una correlación matemática del cual se corrigió las desviaciones para su aplicación profesional.

Palabras clave: sondeos, ensayo DPL, ensayo PDLA, Capacidad de carga del suelo, suelos cohesivos.

Abstract

The objective of this research is to carry out a Comparative Analysis of the Load Capacity of Cohesive Soils, using two types of test, the conventional DPL test (Dynamic Probing Light) and a DPL Artisanal test with a device that we call PDLA (Artisanal Dynamic Light Penetrometer).

The materials and equipment used were from the soil laboratory of the Universidad Tecnológica de los Andes – Cusco Branch, some equipment such as the direct shear and PDL were contracted from external laboratories.

The methods applied for the soundings and field prospecting were open-air excavations (Calicatas) in a random manner from which samples were extracted to carry out the soil laboratory tests, said soil samples came from the Urco sector, Calca District, Calca Province, Cusco Department. Likewise, the test methods applied were those of auscultation for superficial foundations with the application of DPL and PDLA.

The results indicated that the DPLA test has a workability of 120% compared to the PDL test, the cost of acquisition and use of the equipment is 70% cheaper.

It was concluded that; The PDLA test presents more efficient results in obtaining the load capacity of cohesive soils, in the same way a mathematical correlation was found from which the deviations were corrected for its professional application.

Keywords: surveys, DPL test, PDLA test, Soil load capacity, cohesive soils.

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xv
I. Introducción:.....	19
II. Planteamiento del problema.....	20
2.1. Descripción y formulación del Problema.	20
2.2. Objetivos.....	22
2.2.1. Objetivo General.....	22
2.2.2. Objetivos Específicos	22
2.3. Justificación e importancia.....	23
2.4. Limitaciones.....	24
2.5. Hipótesis	24
2.6. Variables	25
III. Marco teórico.....	27
3.1. Antecedentes	27
3.2. Bases teóricas.....	32
3.3. Definición de términos	62
IV. Metodología.....	64
4.1. Tipo y nivel de Investigación.....	64
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	64
4.3. Población y muestra.....	67
4.4. Instrumentos.....	69
4.5. Procedimiento	75

4.6. Análisis de datos.....	81
V. Resultados y discusión.....	83
VI. Conclusiones.....	113
VII. Recomendaciones.....	115
VIII. Referencias.....	116
IX. Anexos.....	119

Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables	26
Tabla 4. Partes de un equipo DPL.....	34
Tabla 5. Partes de un equipo DPL artesanal	41
Tabla 6. Cuadro de ecuaciones de determinación de ángulo de fricción interna propuesto por varios.....	42
Tabla 7. Factores de capacidad de carga modificados por Terzaghi	48
Tabla 2. Tabla de clasificación SUCS.....	55
Tabla 3. Tabla de clasificación AASHTO	57
Tabla 8. Cuadro de ubicación de la tesis de investigación.....	65
Tabla 9. Tabla de clasificación de zona	66
Tabla 11. Programa de ensayo de campo y laboratorio.....	68
Tabla 12. Código de calicatas.....	69
Tabla 13. Resultados de la exploración campo.....	83
Tabla 14. Cuadro de resultados de contenido de humedad.....	84
Tabla 15. Cuadro de resultados del límite líquido	86
Tabla 16. Cuadro de resultados de límite plástico.....	88
Tabla 17. Resultados del ensayo de peso específico con humedad natural.....	90
Tabla 18. Resultados obtenidos para ensayo de granulometría	92
Tabla 19. Datos obtenidos del ensayo de corte directo.....	94
Tabla 20. Resultados obtenidos del ensayo de DPL convencional	96
Tabla 21. Resultados obtenidos del ensayo de DPL artesanal	98
Tabla 22. Resumen de resultados de la caracterización del suelo.....	100
Tabla 23. Resumen de resultados de la determinación de la capacidad con el DPL convencional.....	101
Tabla 23. Resumen de resultados de la determinación de la capacidad con el DPL convencional por OSAKI.....	102

Tabla 24. Resultados de la determinación de la capacidad con el DPL artesanal usando la ecuación de diferentes autores	102
Tabla 25. Análisis de resultados del contenido de humedad.....	103
Tabla 26. Comparación de resultados entre el ensayo con el DPL convencional y artesanal	105
Tabla 27. Resultados de la capacidad de carga con el DPL convencional con la ecuación de OSAKI y DPL artesanal con la ecuación de Montenegro & Gonzales	106
Tabla 28. Formato para la recolección de datos del ensayo de contenido de humedad ...	121
Tabla 29. Formato para recolección de datos del ensayo de limite liquido.....	122
Tabla 30. Formato para la recolección de datos del ensayo de limite plástico	123
Tabla 31. Formato para la recolección de datos del ensayo de peso específico	124
Tabla 32. Formato para la recolección de datos del ensayo de granulometría	125
Tabla 33. Formato para la recolección de datos de ensayo de corte directo.....	126
Tabla 34. Formato para la recolección de datos de capacidad de carga usando DPL	127
Tabla 35. Formato para la recolección de datos de capacidad de carga usando DPL artesanal.....	128
Tabla 36. Resultados de la calicata n°01 para el contenido de humedad	130
Tabla 37. Resultados de la calicata n° 02 para el contenido de humedad	131
Tabla 38. Resultados de la calicata n° 03 para el contenido de humedad	132
Tabla 39. Resultados de la calicata n° 04 para el contenido de humedad	133
Tabla 40. Resultados de la calicata n° 05 para el contenido de humedad	134
Tabla 41. Resultados de la calicata n° 06 para el contenido de humedad	135
Tabla 42. Contenido de humedad de la calicata 01,02,03,04,05 y 06	136
Tabla 43. Resultados de la calicata n° 01 para el contenido del límite plástico	137
Tabla 44. Resultados de la calicata n° 02 para el contenido del límite plástico	137
Tabla 45. Resultados de la calicata n° 03 para el contenido del límite plástico	138
Tabla 46. Resultados de la calicata n° 04 para el contenido del límite plástico	138
Tabla 47. Resultados de la calicata n° 05 para el contenido del límite plástico	139

Tabla 48. Resultados de la calicata n° 06 para el contenido del límite plástico.....	139
Tabla 49. Resultados de la calicata n° 06 para el contenido del límite plástico.....	140
Tabla 50. Resultados de la calicata n° 01 para el ensayo del contenido del límite líquido.	141
Tabla 51. Resultados de la calicata n° 02 para el ensayo del contenido del límite líquido.	142
Tabla 52. Resultados de la calicata n° 03 para el ensayo del contenido del límite líquido.	143
Tabla 53. Resultados de la calicata n° 04 para el ensayo del contenido del límite líquido.	144
Tabla 54. Resultados de la calicata n° 05 para el ensayo del contenido del límite líquido.	145
Tabla 55. Resultados de la calicata n° 06 para el ensayo del contenido del límite líquido.	146
Tabla 56. Resultados del límite líquido e índice de plasticidad para las calicatas 1,2,3,4,5 y 6.....	147
Tabla 57. Resultados de la calicata n° 01 para el ensayo de peso específico.....	149
Tabla 58. Resultados de la calicata n° 02 para el ensayo de peso específico.....	149
Tabla 59. Resultados de la calicata n° 03 para el ensayo de peso específico.....	150
Tabla 60. Resultados de la calicata n° 04 para el ensayo de peso específico.....	150
Tabla 61. Resultados de la calicata n° 05 para el ensayo de peso específico.....	151
Tabla 62. Resultados de la calicata n° 06 para el ensayo de peso específico.....	151
Tabla 63. Resultados del peso específico del suelo	152
Tabla 64. Resultados de la calicata n° 01 para el ensayo de granulometría	153
Tabla 65. Resultados de la calicata n° 02 para el ensayo de granulometría	154
Tabla 66. Resultados de la calicata n° 03 para el ensayo de granulometría	155
Tabla 67. Resultados de la calicata n° 04 para el ensayo de granulometría	156
Tabla 68. Resultados de la calicata n° 05 para el ensayo de granulometría	157
Tabla 69. Resultados de la calicata n° 06 para el ensayo de granulometría	158
Tabla 70. Resultados de la calicata n° 01 para el ensayo de corte directo.....	160
Tabla 71. Resultados de la calicata n° 02 para el ensayo de corte directo.....	161
Tabla 72. Resultados de la calicata n° 03 para el ensayo de corte directo.....	162
Tabla 73. Resultados de la calicata n° 04 para el ensayo de corte directo.....	163
Tabla 74. Resultados de la calicata n° 05 para el ensayo de corte directo.....	164

Tabla 75. Resultados de la calicata n° 06 para el ensayo de corte directo.....	165
Tabla 76. Resultados de la calicata n° 01 para el ensayo de determinación de capacidad de carga con DPL convencional.....	167
Tabla 77. Resultados de la calicata n° 02 para el ensayo de determinación de capacidad de carga con DPL convencional.....	168
Tabla 78. Resultados de la calicata n° 03 para el ensayo de determinación de capacidad de carga con DPL convencional.....	169
Tabla 79. Resultados de la calicata n° 04 para el ensayo de determinación de capacidad de carga con DPL convencional.....	170
Tabla 80. Resultados de la calicata n° 05 para el ensayo de determinación de capacidad de carga con DPL convencional.....	170
Tabla 81. Resultados de la calicata n° 06 para el ensayo de determinación de capacidad de carga con DPL convencional.....	172
Tabla 82. Resultados de la calicata n° 01 para el ensayo de determinación de capacidad de carga con DPL artesanal.....	174
Tabla 83. Resultados de la calicata n° 02 para el ensayo de determinación de capacidad de carga con DPL artesanal.....	175
Tabla 84. Resultados de la calicata n° 03 para el ensayo de determinación de capacidad de carga con DPL artesanal.....	176
Tabla 85. Resultados de la calicata n° 04 para el ensayo de determinación de capacidad de carga con DPL artesanal.....	177
Tabla 86. Resultados de la calicata n° 05 para el ensayo de determinación de capacidad de carga con DPL artesanal.....	178
Tabla 87. Resultados de la calicata n° 06 para el ensayo de determinación de capacidad de carga con DPL artesanal.....	179

Índice de figuras

Figura 1.	Componentes de un DPL convencional.....	33
Figura 2.	Falla de capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación rígida continua	46
Figura 3.	Diagrama de arreglo de prueba de corte directo.....	59
Figura 4.	Envolvente de rotura y parámetros de resistencia al corte	61
Figura 5.	Ubicación departamental de la región Cusco	65
Figura 6.	Ubicación provincial y distrital.....	65
Figura 7.	Zonificación del Área de estudio.....	66
Figura 8.	Vidrio esmerilado para limite plástico	70
Figura 9.	Probeta graduada para peso específico	70
Figura 10.	Balanza eléctrica de precisión 0.1 gr	71
Figura 11.	Horno eléctrico normalizado.....	71
Figura 12.	Cuchara de Casagrande normalizado	72
Figura 13.	Tamices ASTM normalizado.....	72
Figura 14.	Agitador mecánico de tamices ASTM normalizado.....	73
Figura 15.	Aparato de corte directo normalizado	73
Figura 16.	Equipo DPL (Dynamic Probing Light) convencional.....	74
Figura 17.	Equipo DPL artesanal (Penetrómetro Dinámico ligero Artesanal - DPLA)	74
Figura 18.	zecolectión de muestras alteradas en calicatas	76
Figura 19.	Excavación manual de calicatas.....	76
Figura 20.	Exploración de campo.....	76
Figura 21.	Perfil estratigráfico de la calicata n° 01	76
Figura 22.	Muestras inalteradas embaladas	77
Figura 23.	Muestras de suelo para contenido de humedad	79
Figura 24.	Gráfico de los resultados de Contenido de humedad, Índice de plasticidad, peso específico y cohesión.....	100

Figura 25. Capacidad de carga del suelo con PDL convencional y artesanal (Osaki-Montenegro & Gonzales)	106
Figura 26. Variación de la capacidad de carga del suelo con DPL convencional y artesanal (Osaki - Montenegro & Gonzales)	107
Figura 27. Ecuación matemática de la variación de resultados (Osaki - Montenegro & Gonzales)	107
Figura 28. Costos de adquisición de los equipos DPL convencional y artesanal	109
Figura 29. Recolección de muestras alteradas en calicatas	180
Figura 30. Excavación manual de calicatas.....	180
Figura 31. Exploración de campo	181
Figura 32. Perfil estratigráfico de la calicata N° 01	181
Figura 33. Perfil estratigráfico de la Calicata N° 02.....	182
Figura 34. Perfil estratigráfico de la Calicata N° 03.....	182
Figura 35. Perfil estratigráfico de la Calicata N° 04.....	183
Figura 36. Perfil estratigráfico de la Calicata N° 05.....	183
Figura 37. Perfil estratigráfico de la Calicata N° 06.....	184
Figura 38. Muestras inalteradas embaladas.....	184
Figura 39. Muestras de suelo para contenido de humedad.	185
Figura 40. Muestras antes de llevar al horno.....	185
Figura 41. Determinación del peso húmedo de la muestra.....	186
Figura 42. Muestras después del secado en el horno.	186
Figura 43. Preparación de la muestra para determinar el límite líquido.	187
Figura 44. Colocación de la muestra en la cuchara Casagrande.....	187
Figura 45. Muestra lista cara número de golpes.....	188
Figura 46. Inicio para número de golpes.	188
Figura 47. Ensayo para el límite plástico – m3.	189
Figura 48. Ensayo para el límite plástico – m3	189
Figura 49. Ensayo para el límite plástico – m1.	190

Figura 50.	Ensayo para el límite plástico – m2.	190
Figura 51.	Ensayo para el límite plástico – m3.	191
Figura 52.	Ensayo para el límite plástico – m4.	191
Figura 53.	Ensayo para el límite plástico – m5.	192
Figura 54.	Ensayo para el límite plástico – m6.	192
Figura 55.	Materiales para el ensayo del peso específico.	193
Figura 56.	Procedimiento para el ensayo del peso específico.	193
Figura 57.	Ensayo del peso específico en muestras inalteradas.	194
Figura 58.	Ensayo del peso específico en muestras inalteradas.	194
Figura 59.	Materiales para granulometría de los suelos	195
Figura 60.	Tamiz N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200.....	195
Figura 61.	Colocación de la muestra en los tamices.....	196
Figura 62.	Ensayo en el tamizador.	196
Figura 63.	Determinación del peso de la muestra inalterada.	197
Figura 64.	Materiales para tallado de la muestra inalterada.	197
Figura 65.	Vista de las muestras inalteradas.	198
Figura 66.	Selección de la muestra.	198
Figura 67.	Tallado de muestras inalteradas para corte directo.	199
Figura 68.	Ensayo de corte directo.....	199
Figura 69.	Definición de zonas a ensayar.....	200
Figura 70.	Ensayo con DPL convencional.	200
Figura 71.	Resultados de numero de golpes en calicata 1,2 y 3.....	201
Figura 72.	Resultados de numero de golpes en calicata 3,4 y 6.....	201
Figura 73.	Ensayo con DPL artesanal.	202
Figura 74.	Vista del DPL artesanal.	202
Figura 75.	Resultados de numero de golpes en calicata 1,2 y 3.....	203
Figura 76.	Resultados de numero de golpes en calicata 3,4 y 6.....	203
Figura 77.	Martillete tipo “Comba” de 25 lb.....	208

Figura 78. Barreno de varilla de fierro liso de $\frac{3}{4}$ "	208
Figura 79. Sujetador de tubo circular LAC de $\frac{3}{4}$	209
Figura 80. Ficha de registro en campo - Ensayo con Penetrómetro Dinámico Ligero - PDLA	211
Figura 81. Ficha de Cálculo con Penetrómetro Dinámico Ligero Artesanal - PDLA.....	212

I. Introducción:

Siendo los estudios geotécnicos uno de los más importantes al realizar una edificación, cabe mencionar que en todo el mundo se han ejecutado bastantes estudios relacionados a este tema, sobre todo con propósitos de fundación.

En nuestro país, el estado el gobierno a asumido la responsabilidad de normalizar todos los procedimientos de estudios de esta naturaleza con el fin de garantizar la seguridad de las edificaciones que se construyen en el Perú. Así mismo a través de sus organismos, actúa como un ente supervisor.

La incógnita se plantea en la siguiente pregunta: ¿Qué capacidad máxima portante puede aguantar el suelo cohesivo sometido a una carga tomando en cuenta los diferentes tipos de cimentación de una edificación?, a esto le denominamos “Capacidad de carga”

En la actualidad existen diferentes métodos y aproximaciones teóricas para la estimación de la capacidad de carga, determinar dichos resultados conllevan a realizar estimaciones mediante ecuaciones, comparaciones y aproximaciones con el apoyo de equipos sofisticados y certificados.

Hoy en día, la industria de la construcción requiere que la estimación de la capacidad de carga del suelo sea mucho más eficaz, accesible y sobre todo económico.

Para la presente indagación, adicionalmente al DPL y PDLA, utilizaremos la teoría de Terzagui y los valores de ángulo de fricción (Dumhan, Terzagui & Peck, Osaki, Meyerhof, Kishida, Muromachi, Das, Katanaka y Uchida, Montenegro y Gonzales) las cuales no ayudaran a correlacionar y a determinar la ecuación matemática para su aplicación profesional.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del Problema.

Braja M. Das, en su investigación titulada “Fundamentos de Ingeniería de cimentaciones – Séptima edición, en su página 133 menciona que las zapatas de las viviendas deberán ser lo más estable posible y no perecer a la falla por corte del suelo. Así mismo menciona que; La carga por área de la zapata en el cual hay falla se nombra “Capacidad de Carga Última”. Esta capacidad de carga última debe ser lo suficientemente consistente para evitar problemas de asentamientos y fallas estructurales en las edificaciones. (Das, 2018)

Elvis Yanapa y Juan Carlos Aquise, en su investigación “Zonificación Geotécnica y Capacidad Portante para cimentaciones superficiales en la zona Noroeste de la ciudad de Juliaca” menciona que, para cualquier tipo de construcción de edificación, se tiene que realizar un estudio del suelo verificando sus propiedades físicas y químicas, así mismo dice que cualquier tipo de obra civil siempre estará apoyada en la superficie del suelo, por lo que es de vital importancia el comportamiento que se tiene entre la zapata de la construcción y la base que los soporta. Los estudios de esta naturaleza son muy importantes ya que pueden predisponerse a los movimientos externos o futuros sismos que podrían poner en riesgo las viviendas construidas, así mismo generar cierta confianza y estabilidad en los propios residentes o habitantes. (Yanapa Mamani & Aquise Calloapaza, 2018)

Los proyectos de construcción de viviendas en zonas de expansión urbana de nuestra región no cuentan con estudios técnicos, planos, y mucho menos con estudios geotécnicos debido a la falta de accesibilidad a laboratorios que cuenten con instrumentos de medición geotécnica o a la complejidad y sobre costo que conlleva la contratación de estos. Por esta razón es necesario considerar procedimientos sencillos y caseros que ayuden a determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo para construcciones de pequeña magnitud.

En la actualidad, el sector de Urco del Distrito de Calca; se encuentra en proceso de expansión urbana producto del aumento poblacional, dicha zona tiene una extensión aproximada de 48,795.00 m², de la misma forma no cuenta con un estudio de zonificación geotécnica, siendo su gestión territorial deficiente; muchas de las viviendas que fueron construidas recientemente presentan múltiples fallas en la estructura, debido a que esta área parcialmente urbana está poblado por familias de clase popular que construyeron sin ningún tipo de asesoramiento técnico por la complejidad y sobre costo que esto representa.

Por esta razón, esta investigación está orientada a un análisis comparativo para la determinación de capacidad de carga permisible del suelo mediante ensayos DPL convencional y artesanal que nos permitan determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de manera simple y económica.

Formulación del problema de Investigación.

La necesidad de la población de bajos recursos del sector de Urco en Calca, de contar con viviendas, hace que las edificaciones con fines de vivienda se construyan sin ningún tipo de consideración técnica, haciendo que estas puedan presentar fallas en su estructura, llevando a un riesgo público a nivel social exponiendo la propia economía de los que habitan.

Finalmente, es de suma importancia contar con un método simple y económico que permita determinar las características físico-mecánicas del suelo que permitan realizar buenos diseños.

➤ **Problema general**

¿Cuál es el resultado del análisis comparativo de la capacidad de carga de suelos cohesivos usando DPL convencional y artesanal en el sector de Urco, distrito de Calca, provincia de Calca, departamento del Cusco?

➤ **Problemas específicos.**

¿Cuál de los dos ensayos tendrá un resultado más eficaz en la obtención de la capacidad de carga de suelos cohesivos?

➤ ¿Existirá una correlación matemática en la comparación de resultados de capacidad de carga de suelos cohesivos usando DPL convencional y artesanal?

➤ ¿Existirá una ecuación de corrección en los cálculos de capacidad de carga de suelos cohesivos entre DPL convencional y artesanal?

➤ ¿Qué ensayo será el más económico usando DPL convencional y artesanal?

2.2. Objetivos.

2.2.1. Objetivo General

Determinar el resultado del análisis comparativo de la capacidad de carga de suelos cohesivos usando DPL convencional y artesanal en el sector de Urco, distrito de Calca, provincia de Calca, departamento del Cusco.

2.2.2. Objetivos Específicos

O.E.1. Determinar la eficacia de los dos ensayos en la obtención de la capacidad de carga de suelos cohesivos.

O.E.2. Determinar la correlación matemática de la comparación de resultados de capacidad de carga de suelos cohesivos usando DPL convencional y artesanal.

O.E.3. Determinar la ecuación de corrección en los cálculos de capacidad de carga de suelos cohesivos entre DPL convencional y artesanal.

O.E.4. Determinar el ensayo más económico usando DPL convencional y artesanal.

2.3. Justificación e importancia

Justificar una investigación es exponer las razones por las cuales se quiere realizar dicho proyecto. Toda investigación debe realizarse con un propósito definido. Debe explicar por qué es conveniente la investigación y qué o cuáles son los beneficios que se esperan con el conocimiento obtenido. El investigador tiene que saber “exponer la idea” de la investigación a realizar, por lo que deberá acentuar sus argumentos en los beneficios a obtener. (Alba, 2022)

Justificación

➤ ***Justificación técnica***

La presente investigación se centra en el estudio del análisis y comparación de resultados de la capacidad de carga de suelos cohesivos usando DPL convencional y artesanal.

➤ ***Justificación Social***

Dentro del aspecto social, la investigación tiene por finalidad encontrar un procedimiento de evaluación de capacidad de carga de suelos cohesivos de manera simple, eficaz y económica para la construcción de viviendas.

Justificación por viabilidad

Desde el punto de vista de la viabilidad, la investigación es muy factible de realizar ya que para su elaboración en la etapa de toma de muestras es de fáciles accesos dentro del sector de Urco. Para la elaboración de los ensayos in situ con DPL se cuenta con laboratorios de mecánica de suelos acreditados en la región, así mismo se encuentra a disposición los materiales para la elaboración del DPL artesanal.

Importancia

➤ ***Importancia técnica***

La Importancia técnica se centra en la capacidad de determinar la capacidad de carga de un suelo mediante procedimientos técnicos que brinden confiabilidad en los resultados.

➤ ***Importancia Social***

La Importancia técnica se centra en la capacidad de determinar la capacidad de carga de un suelo mediante procedimientos técnicos simples y de fácil determinación.

➤ ***Importancia por viabilidad***

Importancia por viabilidad está basado en la necesidad de contar con un instrumento viable de fácil acceso para los técnicos de la especialidad.

2.4. Limitaciones

2.5. Hipótesis

Hipótesis general

Existe un resultado del análisis comparativo de la capacidad de carga de suelos cohesivos donde el uso del DPL artesanal es mejor que el convencional en el sector de Urco, distrito de Calca, provincia de Calca, departamento del Cusco.

Hipótesis específica

H.E.1. El ensayo con DPL artesanal presenta un resultado más eficaz en la obtención de la capacidad de carga de suelos cohesivos.

H.E.2. Existe una correlación matemática factible en la comparación de resultados de capacidad de carga de suelos cohesivos usando DPL convencional y artesanal.

H.E.3. Existe una ecuación de corrección en los cálculos de capacidad de carga de suelos cohesivos entre DPL convencional y artesanal.

H.E.4. El ensayo DPL artesanal resulta más económico que el ensayo DPL convencional.

2.6. Variables

Variable 1 (Independiente)

➤ **Ensayo con DPL Convencional y Artesanal.**

La variable independiente corresponde al ensayo con DPL convencional y artesanal. Este ensayo consiste en hincar una punta maciza mediante una maza de golpe normalizado que cae desde una altura predeterminada. Es un ensayo útil para determinar la resistencia a la penetración dinámica de un suelo, consiste en evaluar la capacidad en suelos cohesivos, investigar la homogeneidad o anomalías de una capa de suelo y comprobar la situación en profundidad de una capa cuya existencia se conoce. (Agustin Saavedra, 2019)

Variable 2 (Dependiente)

➤ **Capacidad de Carga del Suelo.**

La variable dependiente corresponde a la determinación de la capacidad de carga del suelo. Se inicia con la caracterización del suelo, este se define como la elaboración de una serie de ensayos de laboratorio que determinan sus características físico-mecánicas y químicas. (Das, 2018)

A continuación, se determina el ángulo de fricción interna (ϕ) con la teoría de Terzaghi, Este ángulo es una medida de la resistencia al deslizamiento entre las partículas de un suelo granular. (Das, 2018)

La variación de la carga por área unitaria (q) sobre la cimentación con el asentamiento, en cierto punto cuando la carga por área unitaria es igual a que, ocurrirá una falla repentina en el suelo que soporta la cimentación. A esa acción se determina capacidad de carga. (Das, 2018)

Tabla 1.*Operacionalización de variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variables Independientes	La variable independiente corresponde al ensayo con DPL convencional y artesanal. Este ensayo consiste en hincar una punta maciza mediante una maza de golpe normalizado que cae desde una altura predeterminada. Es un ensayo útil para determinar la resistencia a la penetración dinámica de un suelo, consiste en evaluar la capacidad en suelos cohesivos, investigar la homogeneidad o anomalías de una capa de suelo y comprobar la situación en profundidad de una capa cuya existencia se conoce. (Agustin Saavedra, 2019)	El ensayo de penetración dinámica con DPL convencional y artesanal determina el número de golpes por cada 10 cm de penetración de la varilla. Esta cantidad de golpes se reemplaza en una ecuación N_{spt} propuesto por un autor determinado y con la aplicación de la ecuación de Terzaghi se determina la capacidad de carga del suelo.	D1: DPL convencional	I1: Penetración
DPL convencional y artesanal			D2: DPL artesanal (PDLA)	I2: Penetración
Variables dependientes	La variable dependiente corresponde a la determinación de la capacidad de carga del suelo. Se inicia con la caracterización del suelo, este se define como la elaboración de una serie de ensayos de laboratorio que determinan sus características físico-mecánicas y químicas. (Das,2015) A continuación, se determina el ángulo de fricción interna (ϕ) con la teoría de Terzaghi, Este ángulo es una medida de la resistencia al deslizamiento entre las partículas de un suelo granular. (Das,2015) La variación de la carga por área unitaria (q) sobre la cimentación con el asentamiento, en cierto punto cuando la carga por área unitaria es igual a q_u , ocurrirá una falla repentina en el suelo que soporta la cimentación. A esa acción se determina capacidad de carga. (Das, 2018)	La capacidad de carga se determinará con el cálculo del ángulo de fricción y la aplicación de la teoría de Terzaghi.	D1: Propiedades	I1 - Obtención de muestras - Contenido de humedad. - Granulometría. - Límites de consistencia. - Clasificación. - Perfil de suelo. - Densidad natural
Capacidad de carga del suelo			D2: Características mecánicas.	I2 - Ensayo de corte directo.
			D3: Resistencia al desplazamiento	I3 - Φ por Corte Directo. - Φ por DPL. - Φ por DPLA.
			D3: Capacidad de carga admisible	I4: Qadm

Fuente: Elaboración Propia

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

A nivel Internacional

Álvaro J. Gonzales, Profesor asociado en Colombia, en el artículo denominado “Cálculo simplificado de capacidad portante de cimientos superficiales en ladera”, publicado en 2018, estudia las variaciones de las capacidades de carga de los suelos en taludes bastante inclinados teniendo como objetivo específico la variación de las capacidades de carga que muestra un suelo plano con un suelo en ladera y los efectos que podrían causar a una construcción, la metodología que usa para la determinación de carga está basada en las ecuaciones de Terzaghi utilizando penetrómetros rutinarios. Los resultados obtenidos de capacidad de carga entre suelos de la misma granulometría y clasificación ubicados en zonas llanas y laderas varían en un 22.1%, concluyendo que los suelos en ladera presentan menor capacidad de carga debido a que se encuentran expuestos a sufrir fallas por corte (Gonzales G., 2018).

Edgar L. Salamanca y Juan J. López, en el artículo denominado “Ensayo de penetración dinámica súper pesada (DPSH): Equivalencia para el ensayo de penetración estándar SPT” en Colombia en 2021, estudia la apariencia correlacional entre los ensayos DPL y SPT teniendo como objetivo las equivalencias de 12 pruebas obtenidas en términos de golpes utilizando el método de la teoría de Terzaghi y la ecuación de Osaki teniendo como

resultado variaciones de entre 6.2% y 7.1% entre los ensayos DPL y SPT; concluyendo que los ensayos con DPL presentan resultados inferiores a los del SPT demostrando menor precisión. (Salamanca Medina & López Domínguez, 2021).

Katia Andrea Ibarra, en una publicación que se resume en: "propiedades geotécnicas en Neuquén " recolectó varios estudios de suelos con el único propósito de sectorizar la zona con características congruentes que brinden parámetros parecidos y específicos. Dentro de todos los estudios que logro recolectar, encontró algunos que usaron métodos de penetración con barrenos de diferentes tipos de diámetro y longitud que entraban desde 2m hasta 7m de profundidad, inclusive algunos ayudados por maquinaria pesada debido a la complejidad de la estratigrafía del terreno. Concluyendo que en dicha zona predomina las gravas, rocas sueltas y arenas. Esto era de esperarse debido a que en muchos de los informes que encontró los barrenos no pudieron penetrar el suelo, inclusive en otros puntos los equipos de penetración presentaron quiebres en su estructura producto de la resistencia de los estratos que presentaban roca suelta y roca fija, esto también hace considerar que estos procedimientos in situ son de gran ayuda si se trata de identificar estratos (Ibarra, 2019)

En Bolivia, el Tesista Reynaldo Macuchapi Cayo, en su tesis titulado "Estudio Geológico – Geotécnico según la normativa del gobierno autónomo municipal de la paz y norma española", en 2019, tuvo como uno de sus objetivos, realizar el análisis comparativo de la norma CTE DB-SE C de resultados de capacidad portante del suelo para una edificación de 5 niveles, en el cual como método de ensayo se determinó la capacidad de carga con número de golpes, llegando a obtener capacidades de carga entre $q_u=2.48$ kgr/cm² y 2.65 kgr/cm² en cinco sondeos en suelos con el mismo estrato,

concluyendo que los métodos de golpeo mediante penetrómetro tienden a dar resultados equivalentes en un mismo estrato. (Macuchapi Cayo, 2019)

Johan Javier Sierra Peña, en su artículo titulado “Capacidad portante de cimentaciones superficiales en suelos parcialmente saturados”, Colombia, 2020, su investigación tiene como objetivo adentrarse en el saber de la mecánica de suelos secos y su aplicación en la capacidad portante de cimentaciones para edificaciones en el cual su metodología se basa en la determinación de la capacidad de carga con DPL y los cálculos con las ecuaciones de Terzaghi. Los resultados obtenidos demuestran que los suelos parcialmente saturados pueden ser ensayados simplemente con DPL, ya que se concluye que responden mejor a la penetración del cono. (Sierra Peña, 2020)

A nivel Nacional.

Segundo Carlos Ortiz Yovera, en el estudio realizado denominado “Estimación de Parámetros de resistencia en suelos arenosos empleando el ensayo DPL y su aplicación en los estudios de zonificación sísmica geotécnica – caso Catacaos”, el año 2020 para el Instituto Geofísico del Perú, tuvo como objeto realizar ensayos DPL en la zona de Catacaos, usando como método de cálculo las ecuaciones de Terzaghi: en el cual, como resultado se ha obtenido que, al zonificar el área de estudio por capacidad de carga admisible, permite incrementar un 25% el área de trabajo con respecto a realizar el estudio sin el DPL, lo cual concluye que los ensayos con DPL demuestran una mayor practicidad. (Ortiz Yovera, 2020)

Cruz, en su estudio “Cálculo de la audiencia que tiene el suelo para resistir una carga en la zona de Ayabaca” realizado en la UNP en 2000, tuvo como objeto realizar 639 ensayos de cálculo de q_{adm} en suelos CL con DPL usando el método de Terzaghi obteniendo como resultado capacidades

portantes entre 0.98 Kg/cm² y 1.35 Kg/cm² concluyendo que los suelos de granulometría fina parcialmente saturados tienden a presentar capacidades de carga relativamente bajas. (Cruz, 2017)

Los estudiantes Ponce y Carranza en su investigación: “Zonificación estratigráfica del sector tres en el lugar del El Milagro”, realizaron una investigación en la Provincia de Trujillo en el cual como objetivo de la investigación, tomaron la decisión de realizar 11 prospecciones y sondeos usando la metodología de penetración estándar tomando en cuenta que sean suelos cohesivos, en el proceso se encontraron con diferentes estratos que limitaron la realización del estudio integral llegando a obtener resultados de solo 4 penetraciones, entre ellos como resultado 2.43 kg/cm², 1.99 kg/cm², 3.01 kg/cm² y 2.08 kg/cm² (Capacidad portante) llegando a la conclusiones de que, a pesar que la zona presentaba estratos heterogéneos con presencia de material granular, no necesariamente significaba que el suelo podría tener buena resistencia a la penetración. De igual manera también concluyeron que los ensayos convencionales in situ no son recomendados en estratos con presencia de material granular, ya que en muchos de los lugares designados no se pudieron ejecutar las penetraciones o simplemente se suspendieron por la constante fatiga que presentaba el equipo de penetración dinámica, sobre todo el barreno ubicado en el eje central. Finalmente, también concluyeron que los equipos de desarrollo in situ no necesariamente son prácticos. (Carranza Morales & Ponce Torres, 2017)

Huanca, Flores y Mendoza, en su trabajo denominado: “Análisis geotécnico para tres grupos de asentamiento humano en el departamento de Tacna”, consideraron como uno de sus objetivos básicos plantear una adecuada alternativa de cimentación a partir de la realización de estudios geotécnicos a través de pruebas en ambientes especiales, usando como

metodología sondeos de campo con DPL normalizado en 03 asociaciones ubicados en las asociaciones del distrito Coronel Gregorio A. L., obteniendo resultados en capacidad de carga mediante DPL superiores en 10% en comparación a los estudios geofísicos, llegando a la conclusión que: y cito, “A pesar que los estudios geofísicos indirectos cuentan con procesos electrónicos de alta precisión, los métodos directos in situ como el ensayo DPL siempre presentaran una mayor confiabilidad” (Huanca Cutipa, Flores Terrazas, & Mendoza Ramírez, 2019)

El autor Aqise, en compañía de su coautor, realizaron una investigación a la que se interpreta como: “División de áreas geotécnicas para construcción con zapatas superficiales en la zona de Juliaca”, en la cual tuvieron como objeto principal la zonificación del área de estudio en función a las características estratigráficas del terreno y a las capacidades de resistencia que pudieran presentar usando como metodología el estudio de sondeo por penetración dinámica PDL, tomando en cuenta la versatilidad del barrenado y la capacidad de penetración que presentan en suelos cohesivos medio saturados, obteniendo como resultados q_{adm} entre 2.34 kg/cm² y 4.58kg/cm², llegando a la conclusión específica de que los suelos cohesivos parcialmente saturados presentan una resistencia mayor al promedio, siempre y cuando presenten una considerable cantidad de arcilla y limo arenoso, también concluyeron que la presencia de humedad aumenta de alguna manera la resistencia del suelo. (Yanapa Mamani & Aqise Calloapaza, 2018)

Antecedente Regional.

Rocío Bombilla, jefa de laboratorio de ensayo de materiales de setcom, en 2024, en un estudio denominado “Estudio de suelos con fines de cimentación para la Obra: Mejoramiento del servicio de educación inicial en la I.E. N° 170 María Parado de Bellido, en el distrito de Huancarani, Paucartambo” usando DPL convencional y aplicando las metodología de

cálculo de Terzaghi, clasifica a los suelos como suelo de plasticidad media arenosa (CL) y obtiene como resultado de capacidad portante promedio $\sigma = 1,35 \text{ kg/cm}^2$, dando como conclusión que los suelos con granulometría fina parcialmente saturadas presentan capacidades de carga bajas. (Bombilla Aragon, 2024)

Antecedente Local.

Sergio I. Liendo, en su laboratorio Pro&con Silver SCRL, 2016, realizó la evaluación de capacidad portante de suelos cohesivos en el proyecto; “Mejoramiento de la transitabilidad peatonal y vehicular en la avenida Vilcanota del sector de Accosca, distrito de Calca, provincia de Calca”, aplicando en sayo de DPL y usando métodos de cálculo de Terzaghi para suelos cohesivos, obteniendo capacidades portantes del suelos entre los 1.20 kg/cm^2 y 1.35 kg/cm^2 , concluyendo que los suelos cohesivos parcialmente saturados presentan capacidades portantes inferiores al promedio requerido. (Liendo, 2016)

3.2. Bases teóricas

Bases teóricas para variables independientes:

Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) – Norma DIN4094 y NTP 339.159:2001

- **Definición:** El equipo en mención se encuentra normalizado en base a nuestra Norma Técnica Peruana, por tal motivo podemos interpretar que a pasado por rigurosos procesos de control de calidad monitoreados por SENCICO y otras entidades relacionadas. Así mismo es muy útil para la evaluación de áreas de terreno destinadas para construcción con procesos in situ.

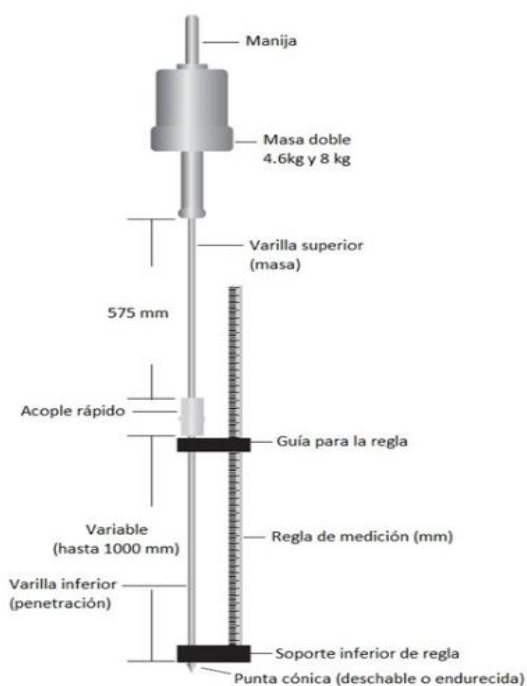
Básicamente el equipo está compuesto por acero, en su eje central por acero liso que funciona como barreno anclado a una puna que sirve para

penetrar el terreno. Este cono tiene un grado de inclinación lo suficiente para no generar una pérdida de penetración por fricción.

Por otro lado también se cuenta con un dado de acero tipo martillete que a través de una caída genera una fuerza perpendicular que hace que el barrenado en conjunto con la punta empiecen a penetrar. Es muy importante considerar que la penetración ocurre solo en suelos cohesivos. No son lo suficientemente apretados para que puedan penetrar en suelos granulares, esto debido a la presencia de rocas fijas y sueltas. Para encontrar los resultados de cómo cuantificar el número de golpes que se utilizan por cada 10 cm de penetración dinámica del equipo en mención, una de las características más resaltantes de este equipo es el uso que se le da en el lugar del trabajo, ya que muchos de los ensayos de esta naturaleza se producen en laboratorio y presentan ciertos resultados que pudieran ser útiles (Agustín Saavedra, 2019)

Figura 1.

Componentes de un DPL convencional



Fuente: (Ulate, 2020)

Tabla 2.

Partes de un equipo DPL

Características del equipo	Factor	DPL
Características del martillo	Peso del martillete normalizado (kg)	10 ± 0.1
	Altura de caída (m)	0.5 ± 0.01
	Yunque (kg)	6
	Rebote (max.)%	50
	Relación larga a Diámetro (D) del martillo	1 < 2
	Diámetro del yunque (d), mm	100 < d < 0.5D
Características de la varilla	Longitud de la varilla, m	1 ± 0.1%
	Masa máxima de la varilla, kg/m	3
	Desviación máxima de la varilla en los primeros 5 m, %	0.1
	Desviación máxima de la varilla debajo de los 5 m, %	0.2
	Excentricidad de la varilla (máx.), mm	0.2
	Diámetro exterior de la varilla, mm	22 ± 0.2
	Diámetro interior de la varilla, mm	6 ± 0.2
Características del cono	Ángulo del cono, grados	90
	Área nominal del cono, cm ²	10
	Diámetro del cono nuevo, mm	35.7 ± 0.3
	Diámetro del cono gastado, mm	34
	Longitud tramo recto del cono, mm	35.7 ± 0.1
	Ángulo de la parte inclinada del cono, grados	11
	Longitud de la punta del cono, mm	17.9 ± 0.1
	Desgaste máx. de la longitud de la punta del cono, mm	3
Penetración	Número de golpes por cm. De penetración	10 CM, N10
	Rango estándar del N° de golpes	Mar-50
Energía de golpe	Trabajo específico por golpe, MgH/ A KJ/m ²	50

Fuente: (Agustin Saavedra, 2019)

Una vez obtenido el número de golpes (Ndpl) con el DPL, se procede a determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, en este proyecto de investigación se usará la fórmula propuesta por Osaki (1959), existen diversas fórmulas empíricas propuestas por diversos autores, sin embargo, la de Osaki es la más usada en ensayos DPL por sus resultados conservadores.

OSAKI (1959)	$\theta = \sqrt{20 \times N_{spt} + 15}$
--------------	------------------------------------------

- **Dimensiones:** Las dimensiones están caracterizadas por el equipo denominado Dynamic Probing Light, o por sus siglas “DPL”, las especificaciones técnicas y características morfológicas están normalizados.
- **Indicadores:** Los indicadores están en función a la penetración generada por impactos de fuerza generada por golpes en el eje del equipo.

Normalización del Cálculo de capacidad de carga con Dynamic Probing Light (DPL).

La NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.159, fue producto de la Normalización de denominado Dynamic Probing Light, o DPL por sus siglas en inglés, así mismo la comisión de reglamentos y comerciales de INDECOPI fue la entidad involucrada en el proceso de normalización.

Proceso de normalización:

- La presente Norma Técnica Peruana fue elaborado por el Comité Técnico de Normalización de Geotecnia, mediante Sistema 2 u Ordinario, durante los meses de febrero a noviembre del 2000, periodos en los cuales era de vital importancia implementar equipos normalizado de fácil acceso en el Mercado.
- El comité Técnico de Normalización de Geotecnia, presentó a la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – CRT, con fecha 2000 – 12 – 27 el PNTP 339.159;2000, para su revisión y aprobación; siendo sometido a la etapa de Discusión Pública el 2001 – 03-29, después de que no se presentara ningún tipo de observación durante todo el proceso, fue oficializada como Norma Técnica Peruana NTP 339,159;2001 SUELO. Método de ensayo normalizado para la auscultación con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica (DPL), 1ª Edición, el 17 de junio del 2001.
- Esta Norma técnica peruana tomó en su totalidad a la Norma DIN 4094-90 BAUGRUND. Erkundung durch Sondierungen. Es muy importante entender que esta norma aprobada, durante todo el periodo transcurrido fue presentando

modificaciones, no solo en su estructura como instrumento, sino también en los procesos de aplicación in situ.

- La Institución que participó en la elaboración de la Norma Técnica Peruana fue, adicionalmente a INDECOPI, el Servicio Nacional de capacitación para la Industria de la Construcción SENCICO, una entidad con mayor presencia en la industria de la construcción.

Métodos de Normalización:

Objeto

- Esta Norma Técnica Peruana establece procedimientos y equipos para la prospección indirecta de suelo realizada con una sonda, como parte de las Investigaciones Geotécnicas según la Norma Técnica nacional E-050. (Suelos y cimentaciones).
- Esta Norma Técnica Peruana describe también el análisis de los resultados de la auscultación del suelo, tomando en cuenta la naturaleza de la zona en estudio.
- Además de las prospecciones indirectas, se requiere de prospecciones directas como calicatas o perforaciones con dimensiones accesibles a dichas situaciones.
- La NPT tiene como objetivo evitar estimaciones erradas de las condiciones de los suelos y cimentaciones, ya que son un aspecto muy importante para el diseño.
- Con los equipos descritos en esta NTP se pueden alcanzar profundidades de hasta 8m tomando en cuenta el alcance de la longitud del barreno.

Referencias

Las referencias estuvieron en base a las normas DIN 4020, DIN 4022 Teil1, DIN 4022 teil 3, DIN 4094, DIN 18196, DIN 50 049.

Términos aplicados en el equipo DPL

Auscultación de suelo: La auscultación de Suelos con Sonda es un proceso indirecto de prospección de suelos de cimentaciones, que está redirigido en colocar un equipo de sondeo de manera perpendicular, midiendo los parámetros de resistencia de penetración.

Determinación de la resistencia a la penetración: La determinación de la resistencia a la penetración, consiste en introducir una sonda en el suelo empleando un martinete con una altura de caída invariable, registrando el número de golpes para conseguir el terreno y con una profundidad de penetración definida en función al suelo estructurado.

Sonda: La sonda es una serie de varilla con una de 90 grados.

Equipo: El equipo para realizar la auscultación de suelos está compuesto por una sonda, un equipo de medición y un dispositivo de introducción.

Profundidad límite: La profundidad límite es la profundidad desde el cual la resistencia a la penetración permanece casi constante cuando las condiciones son las mismas. La resistencia a la penetración del suelo hasta la profundidad límite.

Nomenclatura: Para la nomenclatura se emplearán las abreviaturas DPL, seguido de un número que identifica a la auscultación, así, por ejemplo, para la auscultación de número 5 de un suelo con un penetrómetro ligero DPL tendríamos:

Equipos de penetración con punta cónica.

- El material de la punta de la sonda debe corresponder como mínimo al acero tipo St 37-2.
- El equipo para determinar la resistencia a la penetración de los suelos se selecciona de la Tabla 1 según el objetivo de la exploración, la profundidad de exploración requerida y el tipo de condición de suelo.

Justificación del uso del ensayo DPL:

Si bien, según lo establecido en la tabla No 2 del artículo 10 “Técnicas de Investigación” de la Norma E.050, el método de ensayo normalizado para la

auscultación con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica, se utiliza en suelos friccionantes con partículas arenosas, limosas y gravas consistentes. En la presente investigación se aplica este método debido a que el área de investigación presenta estratos de suelos con presencia parcial de arena y limo, tal como se aprecia en la tabla de resultados N°12 (Clasificación de suelos), así mismo, la aplicación del método de auscultación en esta investigación, está en virtud a la similitud que este guarda con el DPL artesanal (PDLA). Finalmente, la aplicación a este método se da por la propia simplicidad que guarda el proceso de ensayo que facilita a los constructores a una comprensión rápida y al uso correcto del mismo.

Justificación del ensayo de corte directo.

Si bien, el ensayo de corte directo se aplica de gran manera a suelos arcillosos. También son usados en suelos limosos de plasticidad media debido a que estos representan resistencia al corte horizontal. Así mismo, la aplicación del ensayo en la presente investigación se fundamenta en la determinación de los parámetros del ángulo de fricción y cohesión tal y como se menciona en el acápite E del “Manual de uso de PDLA para ensayo de penetración dinámica ligera artesanal” adjunto en los anexos de la presente tesis.

Justificación de la aplicación del ensayo DPL en suelos friccionantes

Según Joel Cruz, ingeniero de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, en su tesis titulada “Pérdida de energía en la Auscultación con penetrómetro dinámico ligero (DPL)”, en su página 30 y 31 menciona la aplicación del ensayo en suelos limosos, arcillosos y mezcla de arena con clasificación SUCS (SM, SC, SC-SM) que forman parte del tipo friccionante¹, así mismo delimita los parámetros de uso considerando las ecuaciones de comparación relativa, parámetros de auscultación tomando en cuenta la descripción de los tipos de

¹ Cruz, Joel. Pérdida de energía en la Auscultación con penetrómetro dinámico ligero DPL, Perú, 2015, UNSAAC.

suelos (Muy suelo, suelto, medio, denso y muy denso) en su página 28. (Crus Quintanilla, 2015)

Ejecución de la auscultación de suelos:

Revisión del PDL: Antes de cada medición se debe revisar que las puntas de la sonda cumplan con lo establecido en la norma. Las varillas empleadas en la determinación de la resistencia a la penetración de suelos deben ser básicamente rectas. La máxima desviación axial por cada metro de varilla no debe exceder a 1 mm tomando en cuenta las circunstancias establecidas. Se debe revisar la precisión de los instrumentos de medición por lo menos a cada seis meses a través de empresas de calibración debidamente certificadas, en caso de que los fabricantes no hayan establecido un periodo más corto y se deben cambiar las partes defectuosas. El informe de la revisión debe llenarse paralelamente a la revisión del equipo.

Penetrómetros: El Penetrómetro deber ser revisando de manera periódica con el fin de garantizar su funcionalidad, así mismo debe contar con inspecciones visuales durante su uso. Para revisar los equipos con funcionamiento neumático, se debe medir directamente la energía de compactación relativa a la sección transversal de la punta por cada golpe. Sta. energía no debe desviarse del valor teórico de la tabla 3 en más de 3%. El fabricante de equipos debe adjuntar a cada equipo una certificación de fábrica para la determinación de la compactación con funcionamiento neumático. Se recomienda al usuario realizar la revisión del equipo cada cierto periodo.

Instalación del equipo de auscultación:

- Los equipos para auscultar suelos se deben colocar de manera exclusiva a nivel vertical y se debe mantener esta posición durante todo el ensayo. La Inclinação de dispositivo de introducción y del varillaje que sale del suelo no debe ser mayor

al 2.5%; en caso contrario, se deberá iniciar nuevamente con todo el proceso de estudio definitivo.

- Para la auscultación de suelos con varillaje libre, por ejemplo, en aguas y perforaciones, se debe evitar que éste se doble durante todo el ensayo de prueba especificada.

Velocidad de ejecución de la auscultación del suelo

La velocidad de ejecución del proceso se debe mantener constante dentro de los límites obtenidos a partir de las mediciones realizadas en un proyecto. El cambio de varillaje debe llevarse a cabo sin demora y registrarse en el informe de medición. Un retraso de más de dos minutos de duración en la ejecución de la prueba se considera como una interpretación, la misma que se debe registrar en el informe y diagrama de medición indicando la duración tomando en cuenta exclusivamente el retraso considerado en el ensayo planteado.

Velocidad de ejecución de la prueba

La prueba se debe ejecutar con una secuencia de 15 a 30 golpes por minuto. En suelos de grano con alta permeabilidad al agua la secuencia puede aumentar aún máximo de 60 golpes por minuto.

Movimiento giratorio de varillaje

Al ejecutar la prueba se debe girar el varillaje cada metro por lo menos una vuelta y media en sentido horario con el fin exclusivo de garantizar la mecánica del proceso de ensayo in situ determinado en cada situación especificada en el momento.

Ensayo de penetración dinámica ligera artesanal (PDLA).

El equipo denominado penetrómetro dinámico ligero artesanal (PDLA), será un equipo fabricado con materiales en acero, accesibles en cualquier ferretería local. Con este equipo se podrá realizar ensayos PDLA con métodos

de prospección indirecta (auscultación) que permitan estimar la capacidad de carga de un suelo a través del número de golpes.

El equipo estará compuesto por un fierro circular liso de $\frac{3}{4}$ " de diámetro por 1.00 de longitud. La punta de este fierro circular tendrá un Angulo de 50°. Este fierro circular se introducirá al suelo a través de una energía de un martillo de acero que será adecuado de una comba de 25 lbs disponibles en el mercado. Este martillo se dejará caer desde una altura de 0.50m, medido desde la parte inferior del soporte de acero, para profundizar tramos cada 10 cm., contabilizando el número de golpes (Npdla). Tabla N° 02.

La auscultación se detendrá cuando el número de golpes "Npdla" sea mayor a 50 en 10 cm.

A diferencia del DPL, el ensayo con PDLA se realizará dentro de una calicata de 1.50 mts de profundidad como mínimo, ya que la pérdida de confinamiento de compensa con la punta del fierro circular que es 10° menos que del PDL

Tabla 3.

Partes de un equipo DPL artesanal

Características del equipo	factor	PDL
Características del martillo	Peso del Martillo (comba en Kgr)	11.34
	Altura de caída (m)	0.6
	Peso del soporte de martillo (kgr)	0.06
Características de la varilla (Fierro liso de acero)	Longitud de la varilla (m)	1
	Peso del fierro de 3/4"/metro	2.235
	Diámetro exterior de la varilla	3/4"
	Resistencia a la flexión fy (kgr)	4200
Características de la punta del barreno	Ángulo de la punta (°)	50
Penetrómetro	Número de golpes por cm de penetración	10cm
	Rango estándar del N° de golpes	3.-.10

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el número de golpes (Npdla) con el PDLA, se procederá a determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, en este proyecto de investigación se usará las fórmulas propuestas por varios autores en función al Nspt (Cuadro 01) y se seleccionará la que más se acerque a los resultados del DPL convencional.

Tabla 4.

Cuadro de ecuaciones de determinación de ángulo de fricción interna propuesto por varios

Nacionalidad	Referencia	Ángulo de fricción interna
JAPÓN	OSAKI (1959)	$\theta = \sqrt{20 \times Nspt} + 15$
	KISHIDA (1969)	$\theta = 15 + \sqrt{20 \times Nspt}$
	KATANAKA Y UCHIDA (1996)	$\theta = \sqrt{20 \times Nspt} + 20$
	MUROMACHI (1974)	$\theta = 3.5 \times \sqrt{Nspt} + 20$
REP. CHECA	TERZAGHI & PECK (1984)	$\theta = 28.5 + 0.25Nspt$
EE.UU.	PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	$\theta = 27.1 + (0.3 \times Nspt) - 0.00054 \times Nspt^2$
	MONTENEGRO & GONZALES (2014)	$\theta = 12.79 + \sqrt{25.86 \times Nspt}$
	DUMHAM	$\theta = \sqrt{12 \times Nspt} + 25$
ALEMANIA	MEYERHOF (1965)	$\theta = 23.7 + 0.57 \times Nspt - 0.0006 \times Nspt^2$

Fuente: Elaboración propia

Justificación técnica de las medidas y pesos asumidos en el Penetrómetro Dinámico Ligero Artesanal (PDLA)

- **Martillo o Martillete de 11.34 kilos (25 Libras)**

Corresponde a una pieza tubular de hierro fundido distribuido comercialmente como comba de 25 lbs que tiene como fin generar la energía mecánica requerida para la inca del cono y penetración del barreno a través de un impacto gravitacional a una altura de 60 cm.

La aplicación física – mecánica del martillo de 11.34 kilos, se basa en que, según la norma DIN 4022 Teil1, para que un penetrómetro de esta naturaleza tenga la capacidad de penetrar a un ritmo no menor a 0.30 segundos, se debe aplicar un esfuerzo de al menos 4 kg/cm². En ese sentido, aplicando la ecuación de esfuerzo que es:

$$\text{Esfuerzo } (\sigma) = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}}$$

- Esfuerzo** : Es la carga de impacto requerida mínimamente (4 kg/cm²)
- Fuerza** : Es el peso que debe tener el Martillo (x)
- Área** : Es el área de la sección del barreno (En este caso fierro liso de 3/4" de diámetro tiene un área de 2.8502 cm²)

Si reemplazamos los valores, tenemos:

$$4 \text{ kg/cm}^2 = \frac{\text{Peso del martillo}}{2.8502 \text{ cm}^2}$$

Resolviendo la ecuación:

$$\text{Peso del martillo} = 2.8502 \text{ cm}^2 * 4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Peso del martillo} = 11.4008 \text{ kg}$$

Evaluando el resultado, podemos observar que se requiere un peso de 11.40 kgr. Tomando en cuenta que la comba pesa 11.34 y el soporte acondicionado a 0.06, podemos lograr los 11,40 kg requerido para la aplicación del martillo tipo comba.

- **Caída libre del martillo o martillete en 60 cm y Angulo de la punta del barreno**
Similar al caso anterior, tomando en cuenta la norma DIN 4022 Teil1, considerando un tiempo de caída mínima de 0.30 segundos, podemos aplicar un tiempo de 0.3498 segundos. Así, considerando la gravedad de 9.80665 m/seg², una velocidad de 3.4303 m/s y una velocidad inicial de 0, ya que es caída libre, obtenemos una altura requerida de 0.6 m (60 cm).

Finalmente, considerando un coeficiente de fricción de 0.09 del fierro liso, mínimamente se debe considerar un ángulo de relación 1 a 1, es decir, mínimamente 45°, por lo que se aplica 50°.

- **Dimensiones:** Las dimensiones están caracterizadas por el equipo al cual denominamos en la presente investigación Penetrómetro Dinámico Ligero Artesanal o sus siglas en español "PDLA", las

especificaciones técnicas y características morfológicas están planteadas para su funcionamiento según requerimientos de la hipótesis.

- **Indicadores:** Los indicadores están en función a la penetración generada por impactos de fuerza generada por golpes en el eje del equipo.

Correlación Ndpl con el Npdla y estimación del ángulo de fricción interna.

Una vez obtenido los resultados del ángulo de fricción interna del suelo por el ensayo del PDL convencional y artesanal, se correlacionará con el fin de obtener una ecuación matemática de compensación que pueda otorgar sustento técnico y aceptación al ensayo DPL artesanal (PDLA).

En base a las características del terreno se utilizará una fórmula empírica que relaciona los parámetros de los equipos de DPL y DPL artesanal (PDLA), tales como; peso del martillo, altura de caída del martillo, área de la punta cónica, el espesor de la hinca y el número de golpes obtenidos, tal como se detalla a continuación:

$$N_1 = N_2 \frac{W_1 * H_1 * A_2 * e_2}{W_2 * H_2 * A_1 * e_1}$$

Dónde:

N1= Número de golpes equivalente en DPL

N2= Número de golpes obtenidos en PDLA

W1= Peso del martillo del PDLA

W2= Peso del martillo del PDL

H1 = Altura de caída del DPLA

H2 = Altura de caída del DPL

A1 = Área de la punta cónica del PDLA

A2 = Área de la punta cónica del SPT

e.1 = Espesor de la hinca del PDLA

e.2 = Espesor de la hinca del DLP.

Bases teóricas para variables dependientes:

Capacidad de carga del suelo:

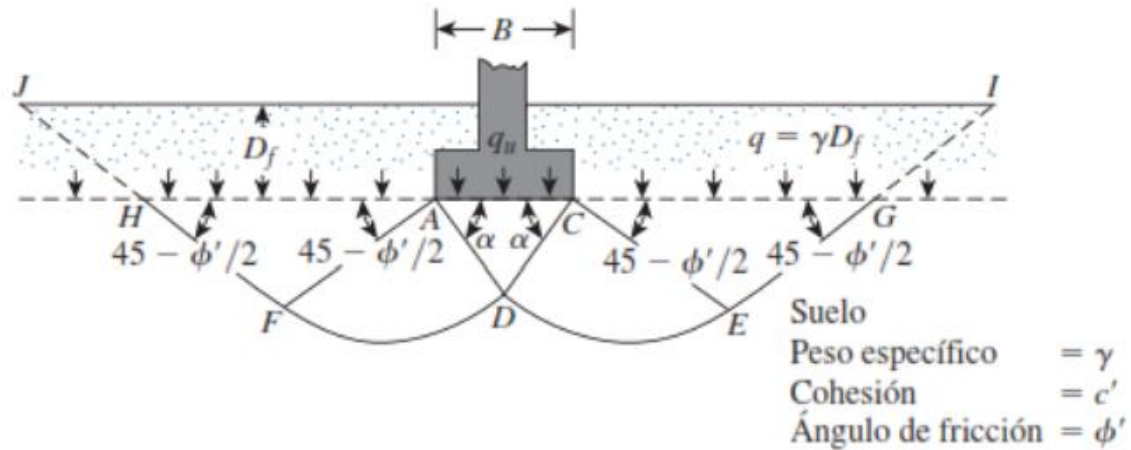
- **Definición:** Teoría de Terzaghi (1943) fue el primero en presentar una teoría completa para evaluar la capacidad de carga última en cimentaciones aproximadamente superficiales. De acuerdo con su teoría, una cimentación es superficial si su profundidad, D_f figura, es menor que o igual a su ancho. Sin embargo, investigadores posteriores sugirieron que las cimentaciones con D_f igual a tres o cuatro veces su ancho se podían definir como cimentaciones superficiales. (Das, 2012, pág. 136)

Estas capacidades de carga definidas del suelo son fundamentales ya conforman la columna vertebral del diseño estructural de las edificaciones y obras civiles en general. Así mismo nos ayudan a determinar las características mecánicas de los estratos del suelo destinado a la construcción de infraestructuras específica en función a la utilidad al cual fueron normalmente destinadas. De igual manera nos brindan una visión general de las naturales del terreno en mención para tomar en cuenta las consideraciones técnicas de manera específica.

Terzaghi sugirió que para una cimentación continua o corrida (es decir, cuando su relación ancha a longitud tiende a cero), la superficie de falla en el suelo ante carga última se puede suponer similar a la que se muestra en la figura (Observe que este es el caso de falla general por corte según se define en la figura). El efecto del suelo arriba del fondo de la cimentación también se puede suponer que se reemplaza por una sobrecarga equivalente, $q = \gamma D_f$ (donde γ es el peso específico del suelo). La zona de falla bajo la cimentación se puede separar en tres partes (consulte la figura). (Das, 2018)

Figura 2.

Falla de capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación rígida continua



Fuente: (Das, 2018)

- La zona triangular ACD inmediatamente abajo de la cimentación.
- Las zonas de radiales de corte ADF y CDE, con las curvas DE y DF como arcos de una espiral logarítmica.
- Dos zonas triangulares pasivas de Rankine FH y CEG.

Los ángulos CAD y ACD se suponen iguales al ángulo de fricción del suelo ϕ' . Observe que, con el reemplazo del suelo arriba del fondo de la cimentación por una sobrecarga equivalente q , se ignoró la resistencia cortante del suelo a lo largo de las superficies de falla GI y HJ. Aplicando un análisis de equilibrio, Terzaghi expresó la capacidad de carga última en la forma. (Das, 2012, pág. 138).

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

Donde:

c' = cohesión del suelo (kg/cm^2)

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo.

$q = \gamma D_f$ (carga por área unitaria sobre la cimentación) (kg/cm^2)

γ = peso específico del suelo (kg/cm^3)

D_f = profundidad de la cimentación (m, cm, etc.)

B = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

Los factores de capacidad de carga N_c , N_q , N_γ se definen mediante las expresiones.

$$N_c = \cot\phi' \left[\frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi'}{2}\right)\tan\phi'}}{2 \cos^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2}\right)} - 1 \right] = \cot\phi'(N_q - 1)$$

$$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi'}{2}\right)\tan\phi'}}{2 \cos^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)}$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{k_{p\gamma}}{\cos^2\phi'} - 1 \right) \tan\phi'$$

Donde:

ϕ' = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)

N_c , N_q , N_γ = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo (adimensional)

$K_{p\gamma}$ = coeficiente de presión pasiva (adimensional)

π = constante matemática fundamental $\approx 3,141592$

e = número irracional cuyo valor aproximado es 2,71828

Donde $K_{p\gamma}$ = coeficiente de presión pasiva.

$$K_{p\gamma} = \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)$$

Donde:

ϕ' = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)

$K_{p\gamma}$ = coeficiente de presión pasiva (adimensional)

Para cimentaciones que presentan el modo de falla local por corte en suelos Terzaghi sugirió las modificaciones siguientes para las ecuaciones:

$$q_u = \frac{2}{3}c'N'_c + qN'_q + \frac{1}{2}\gamma BN'_\gamma \quad (\text{cimentación continua})$$

$$q_u = 0.867c'N'_c + qN'_q + 0.4\gamma BN'_\gamma \quad (\text{cimentación cuadrada})$$

$$q_u = 0.867c'N'_c + qN'_q + 0.3\gamma BN'_\gamma \quad (\text{cimentación circular})$$

N'_c, N'_q y N'_γ , los factores de capacidad de carga modificados, se pueden calcular utilizando las ecuaciones de los factores de capacidad de carga (para N'_c, N'_q y N'_γ , respectivamente) reemplazando ϕ por $\tan\phi' = 2/3\tan\phi$ y $c' = 2/3c$. La variación de N'_c, N'_q y N'_γ con el ángulo de fricción del suelo ϕ' se da en la siguiente tabla. (Das, 2012, pág. 139)

Tabla 5.

Factores de capacidad de carga modificados por Terzaghi

ϕ'	N'_c	N'_q	N'_γ	ϕ'	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	5.90	1.07	0.005	27	16.30	6.54	2.88
2	6.10	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.30	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.30	0.055	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.074	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.10	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.128	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.70	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.70	0.16	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.30	37	28.51	15.32	10.90
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.50	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.70	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.50
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.90	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.40
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36.00
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.70

Fuente: (Das, 2018)

- **Factor de seguridad:** “El cálculo de la capacidad de carga permisible bruta de cimentaciones superficiales requiere aplicar un factor de seguridad (FS) a la capacidad de carga última bruta, o” (Das, 2012, pág. 140).

$$q_{perm} = \frac{q_u}{FS}$$

Donde:

q_{perm} = capacidad de carga permisible (kg/cm²)

q_u = capacidad de carga ultima (kg/cm²)

FS = factor de seguridad (adimensional)

➤ **Dimensiones:**

a. Propiedades del suelo:

- **Obtención de muestras:** Es aquella que en cuestión de encarga de preservar las muestras tomando en cuenta sus características física y químicas de origen, es decir que no haya perdido partículas de suelo durante el proceso de muestreo. Se lleva a cabo extrayendo las muestras del estrato respectivo en las paredes de la calicata, haciendo el uso de herramientas manuales; la muestra se colocará en envases herméticos. (Das, 2018)

Los análisis de mecánica se determinan en función al tamaño de las partículas, expresados como un porcentaje del peso seco total. Los principios básicos del análisis de tamiz y el análisis de hidrómetro se describen a continuación. (Das, 2018)

- **Contenido de humedad:** En términos simples, el contenido de humedad representa la porción de agua que contiene una determinada muestra de suelo, considerando su saturación y otras consideraciones. La humedad o contenido de agua de la muestra básicamente, también es la relación del peso del agua contenida en la muestra respecto al peso de la muestra secada al horno, expresada en porcentaje. A continuación, se expresa su fórmula específica en %:

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

Dónde:

W%	:	Contenido de Humedad
Ww	:	Peso del Agua
Ws	:	Peso del Suelo Seco

Equipo:

- ✓ Balanza de precisión.
- ✓ Cápsula de metal.
- ✓ Espátula.
- ✓ Horno Eléctrico.

Procedimiento:

- ✓ Primeramente, pesar las cápsulas metálicas vacías en la balanza de precisión.
- ✓ Se toma toda una porción de la muestra de suelo y se introduce en cada cápsula.
- ✓ Pesar las cápsulas con la muestra de suelo en la balanza de precisión.
- ✓ Después de esto, se introducir las cápsulas con la muestra al horno y someterlo a temperatura de 110°C en un día (24 horas).
- ✓ Pesar nuevamente las cápsulas con las muestras de suelo secas en la balanza de precisión. (Das, 2018)
- **Granulometría:** La característica granular del material llamado también análisis mecánico, se basa específicamente en la determinación de los porcentajes de piedra, grava, arena, limo y arcilla que hay en una cierta masa de suelo.

Si el suelo contiene un porcentaje apreciable de material fino que pasa el tamiz N° 200 se utilizará métodos basados en el principio de sedimentación, siendo el método hidrométrico que es el más empleado.

Los resultados obtenidos en un análisis mecánico se presentan, sobre un papel semilogarítmico, los diámetros de las partículas se grafican a escala logarítmica en el eje de las abscisas y el porcentaje que pasa por el tamiz en escala aritmética en el eje de las ordenadas.

Una vez dibujada la curva granulométrica de un suelo se procede a determinar el diámetro efectivo, su coeficiente de uniformidad y su coeficiente de curvatura.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Donde:

Cu : Coeficiente de Uniformidad.

Cc : Coeficiente de curvatura.

D10 : Diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso del suelo.

D60 : Tamaño tal que el 60%, en peso del suelo sea igual o menor.

D30 : Tamaño tal que el 30%, en peso del suelo sea igual o menor.

Equipo:

- ✓ Una balanza de precisión
 - ✓ Un cucharón.
 - ✓ Un juego de mallas: 2", 1", 3/4", 3/8", 1/4", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y Cazuela.
 - ✓ Horno eléctrico.
 - ✓ 2 pocillos en acero Inox
 - ✓ Brocha para limpieza
 - ✓ Tamizado eléctrico (También puede ser manual)
 - ✓ Balanza de precisión.
 - ✓ Combo de goma (Muy usado en mecánica de suelos)
- **Límites de consistencia o de atterberg.**

Límite Líquido (L.L): Es el contenido de agua del material en el límite superior de su estado plástico es decir a su estado maleable.

El ensayo consiste en encontrar el número de golpes necesarios para cerrar el surco en la cuchara de Casagrande, obteniendo así, diferentes contenidos de humedad que corresponderán a diferentes números de golpes, estos datos se llevan a una gráfica, de la que se obtiene el "Límite Líquido". (AASHTO-T89-68, ASTM-423-66)

Equipo:

- ✓ Balanza de precisión.
- ✓ Cuchara de Casagrande.
- ✓ Recipiente de metal.
- ✓ Mortero de porcelana.
- ✓ Escalímetro o vernier.
- ✓ Tamiz N° 40.
- ✓ Cápsulas.
- ✓ Horno.
- ✓ Equipo necesario para el moldeo de la muestra.

Límite Plástico (L.P): Es el contenido de agua del material en el límite inferior de su estado plástico. Se usan para este ensayo muestras extraídas del ensayo de límite líquido, con éstas se forman rollitos hasta observar su desmoronamiento y agrietamiento, en ese momento se determina el contenido de humedad, que viene a ser el límite plástico. (AASHTO T90-70, ASTM D424-59.)

Equipo:

- ✓ Balanza de precisión.
- ✓ Placa de vidrio esmerilado.
- ✓ Escalímetro y/o vernier.
- ✓ 20 cm de alambre con un diámetro de 3mm.

✓ Cápsulas.

Índice de plasticidad (I.P.): La variación del contenido de agua entre los límites líquidos y plástico se le llama índice de plasticidad, que es un parámetro muy importante para medir el comportamiento plástico de los suelos.

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

Un I.P. es igual a 5, indica que un pequeño cambio en el contenido de humedad, cambiará el suelo de una condición semisólida a una líquida. Un suelo así es muy sensible a los cambios de humedad, a menos que el contenido de limo y arcilla sea < 20%. Un IP elevado como 20, indica que se le puede añadir una considerable cantidad de humedad antes que cambie de la condición semisólida a la líquida. Cuando el LL o el LP no pueden determinarse o cuando el LP es mayor que LL, el IP se incluirá como No Plástico (NP). (Gutierrez Rodriguez, 2023)

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. (Casagrande, 1981)

Es muy importante considerar que la clasificación que realiza Casagrande es en función a las características morfológica de las partículas del suelo, al comportamiento mecánico y a la estructura física que esto representa en ciertas circunstancias consideradas en la propia identificación de los materiales a momento de realizar los muestreos y los posteriores análisis para su clasificación específica.

De igual manera, es muy importante tomar en cuenta la diversidad de estratos que se presenta en un solo sondeo, ya que esto podría ocasionar una

variación en los resultados alejándolos de la exactitud específica en los propios ensayos específicos.

Así mismo es muy importante conocer los procedimientos de interpretación de los mismos estudios.


Clasificación S.U.C.S: Esta clasificación de suelos, es empleada para estudios de suelos con fines de cimentación es decir para diseñar la cimentación de las estructuras de edificaciones o todos aquellos que estén relacionado a zapatas, vigas de cimentación, plateas de cimentación entre otros. De igual manera para las Obras viales en su capítulo de obras de arte puentes en específico. (Casagrande, 1981)

Para la separación de suelos gruesos y finos se emplea la malla N° 200, que menor de 50% pasa la malla N° 200, el suelo es granular y mayor de 50% pasa la malla N° 200, el suelo es fino. (Casagrande, 1981)

Los suelos granulares está conformado de grava y arena, para la separación se basa en el tamiz N°4. Menor de 50% pasa la malla N° 4 el suelo es grava y mayor de 50% pasa la malla N° 4 el suelo es Arena, y siguiendo la carta de flujo para la clasificación de suelos granulares se llega a clasificar el suelo, Los símbolos de grupo para suelotipo grava de grano grueso son GW, GP, GM, GC, GC - GM, GW - GM, GW - GC, GP- GM y GP-GC. (Casagrande, 1981)

En el siguiente cuadro se muestra el cuadro para la clasificación por la SUCS

Tabla 6.
Tabla de clasificación SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% -> GW, GP, SW, SP. >12% -> GM, GC, SM, SC. 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo.	
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW		Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
			Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SP		Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
			Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM		Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
		SC		Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		
	SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.		
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.		
			OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.		
		Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.		
CH			Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.			
OH			Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.			
PT			Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.			
Suelos muy orgánicos		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.			

Fuente: (Casagrande, 1981)

Ante la diversidad de clasificación de suelos, en los EE.UU. se ha establecido, la recomendada en 1944 por el Highway Research Board, cuyas siglas son H.R.B. y

la AASHTO que representa a todos los Departamentos de carreteras en ese País, han adoptado la clasificación que se denomina clasificación de suelos AASHTO.

La clasificación AASHTO toma como base, el análisis granulométrico, límite líquido y Índice de plasticidad de un suelo, la evaluación de cada grupo se hace por medio de su índice de grupo, el cual es calculado mediante la fórmula empírica que indicamos más adelante.

Los suelos se clasifican en 7 grupos, de A-1 al A-7, los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2, A-3, son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasa el tamiz N° 200. Los suelos más del 35% pasa el tamiz N° 200 son materiales limo arcillosas, y están dentro de este grupo los suelos A-4, A-5, A-6, A-7.

Los porcentajes máximos y mínimos que pasa el tamiz N° 10, N° 40, N° 200, nos permite clasificar el suelo en subgrupos, A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 y A-4, A-5, A-6, A-7. Seguidamente se debe tener en cuenta las características del material que pasa el tamiz N° 40 (0.425 mm). Los porcentajes máximos y mínimos de límite líquido y índice de plasticidad nos permite clasificar los suelos en subgrupos. A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7, y A-4, A-5, A-7-5, A-7-6.

En el siguiente cuadro se muestra una manera más sintética la clasificación de suelos por el método del AASHTO.

Tabla 7.
Tabla de clasificación AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3					A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx				- - 36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Limite líquido Indice de plasticidad	- 6 máx		- NP (1)	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			

Fuente: (Casagrande, 1981)

- **Perfil del suelo:** Una vez conocido los perfiles topográficos de la zona donde se realiza el estudio, y fijada, es conveniente conocer el perfil del subsuelo, es decir conocer los diferentes tipos de materiales que forma el subsuelo a diferentes profundidades. Un perfil del subsuelo, nos permite conocer la estratigrafía, espesor, clase de suelo y roca existente en el subsuelo, así mismo nos indica la profundidad a que se encuentra las aguas subterráneas.
- **Determinación de la densidad natural del suelo:** La determinación de la densidad natural del suelo estará sujeto a los elementos:

-Función de la curva:

$$Y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma} \right)^2}$$

Tomando en cuenta el tamaño de la muestra, la media y la desviación estándar de los resultados. Luego reemplazamos estos valores en la función para obtener cada uno de los valores Y.

$$Y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma} \right)^2}$$

b. Características mecánicas:

- **Ensayo de corte directo – ASTM – D3080 – 72:** Las muestras de suelo pueden ser cuadradas o circulares. El tamaño de las muestras utilizadas generalmente es alrededor de 20 a 25 cm² de sección transversal y de 25 a 30 mm de altura. La caja se divide horizontalmente en dos mitades. La fuerza normal sobre la muestra se aplica desde la parte superior de la caja de corte. El esfuerzo normal sobre las muestras puede ser tan grande como 1000 kN/m. La fuerza cortante se aplica moviendo una mitad de la caja con respecto a la otra para provocar una falla en la muestra de suelo. (Braja, 2015, pág. 233).

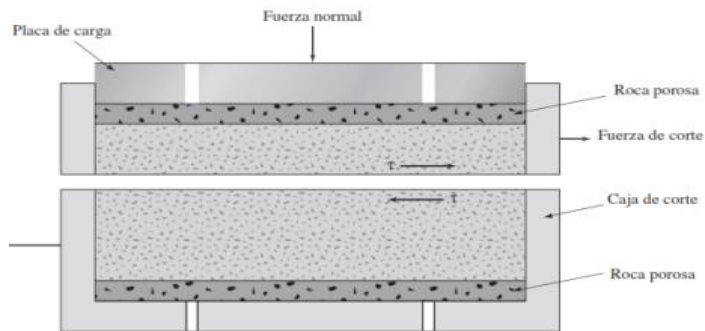
Dependiendo del equipo, la prueba de corte puede ser de esfuerzo controlado o deformación controlada. En las pruebas de esfuerzo controlado, la fuerza de corte es aplicada en incrementos iguales hasta que la muestra falla y ésta ocurre a lo largo del plano de división de la caja de corte. Después de la aplicación de cada carga incremental, el desplazamiento cortante de la mitad superior de la caja se mide con un indicador horizontal. El cambio en la altura de la muestra (y por lo tanto el cambio de volumen) durante la prueba se puede obtener a partir de las lecturas de un indicador que mide el movimiento vertical de la placa superior de carga. (Braja, 2015, pág. 233).

En las pruebas de deformación controlada, por medio de un motor que actúa a través de engranajes se aplica una velocidad constante de desplazamiento de cizalladura a una mitad de la caja. La constante de velocidad de desplazamiento de corte se mide mediante un indicador de cuadrante horizontal. La fuerza de resistencia cortante del suelo correspondiente a cualquier desplazamiento de cizalladura se puede medir por un anillo de prueba horizontal o celda de carga. El

cambio de volumen de la muestra durante la prueba se obtiene de una manera similar a las pruebas de esfuerzo controlado. (Das, 2018)

Figura 3.

Diagrama de arreglo de prueba de corte directo



Fuente: (Das, 2018)

Es muy importante considerar que el ensayo de corte directo de esta naturaleza tiene garantiza una mayor confiabilidad a los resultados, considerando que esta evaluación se realiza en los laboratorios, en su gran mayoría con muestras alteradas. Así mismo las respuestas que brindan son muy útiles, no solo para estudios de suelo con fines de cimentación, sino también para otro tipo de estudios como es por ejemplo la estabilidad de taludes en cortes de terreno natura, para el mejoramiento de estabilidad de taludes y mejoramiento de otro tipo de mecanismos como sub base, sub rasante entre otros de gran importancia estratégica y de vanguardia en el rubro de la mecánica de suelos.

Para una prueba determinada en suelo seco, el esfuerzo normal se puede calcular como

$$\sigma = \sigma' = \text{esfuerzo normal} = \frac{\text{fuerza normal}}{\text{área de la sección transversal de la muestra}}$$

La resistencia al esfuerzo cortante para cualquier desplazamiento de cizalladura es

$$\tau = \text{esfuerzo cortante} = \frac{\text{resistencia al esfuerzo de corte}}{\text{área de la sección transversal de la muestra}}$$

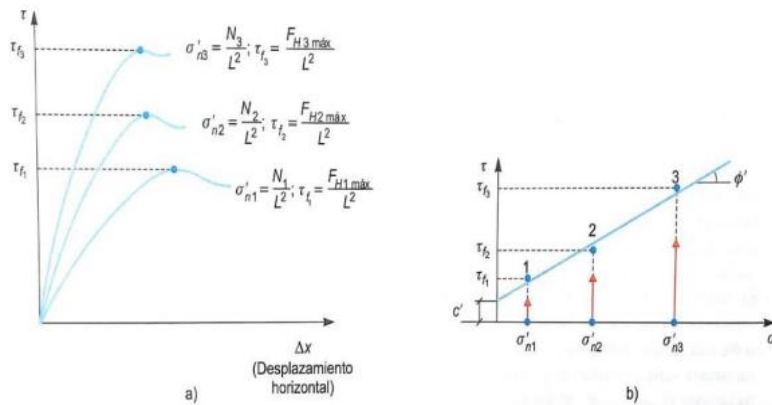
Con relación a la movilización de resistencia al corte, se muestra cualitativamente los resultados de un ensayo de un ensayo drenado completo con el descrito. En abscisas se representa el desplazamiento horizontal (Δx) de la parte inferior de la caja de corte y en ordenadas la tensión tangencial (τ) medida para cada valor de dicho desplazamiento. Se pueden observar los siguientes aspectos de interés. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 77)

- ✓ Sea cual sea la tensión efectiva normal aplicada, la tensión tangencial movilizada aumenta progresivamente a medida que progresa el desplazamiento de la caja de corte hasta que se alcanza un máximo (τ_f).
- ✓ Cuando mayor es la tensión efectiva normal inicial, mayor es la tensión tangencial máxima alcanzada.
- ✓ La pendiente inicial de la curva tensión tangencial-desplazamiento horizontal es más pronunciada cuanto mayor es la tensión efectiva normal inicial, lo que indica que el suelo aumenta la rigidez con el nivel de tensiones. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 77)

En la figura se muestra las tensiones tangenciales máximas de las curvas anteriores junto con las tensiones efectivas normales iniciales. Como puede apreciarse, los puntos los puntos representativos (σ'_n, τ_f) de los tres ensayos se puede unir de forma bastante aproximada con una recta, que sería la línea de resistencia intrínseca o envolvente de rotura de la que se pueden fácilmente obtener los parámetros (c', ϕ'). (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 77).

Figura 4.

Envolvente de rotura y parámetros de resistencia al corte



Fuente: (Gonzales G., 2018)

c. Resistencia al desplazamiento:

- Por corte Directo:** A través del ensayo de corte directo se determinará el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo, este método es realizado en laboratorio usando muestras que son sometidas a fuerzas horizontales opuestas que al ejercer presión generan una falla horizontal denominada “fuerza límite al desplazamiento del suelo”. (Das, 2018)
 - Por DPL:** Este método está basado en el uso de un equipo normalizado que penetra el suelo mediante un número determinado de golpes por cada 10 cm de auscultación. Una vez cuantificado el número de golpes, se aplica diferentes fórmulas matemáticas que permiten la estimación del ángulo de fricción insitu. (Das, 2018)
 - Por DPLA:** Si bien el procedimiento es similar al DPL, el equipo es un instrumento casero de fácil manipulación.
- d. Capacidad de carga admisible:** La capacidad de carga admisible del suelo está dada por el factor de seguridad “FS” aplicado a la capacidad de carga última, determinado mediante las ecuaciones de Terzaghi.

El FS está dado en función a la norma E.050 del RNE que en este caso es 3.

3.3. Definición de términos

La cohesión c : Es la fuerza de unión entre las partículas minerales que forman el suelo” (Das, 2018)

La capacidad de carga última: Se define como la presión máxima por unidad de área de la cimentación que puede ser soportada por el suelo debida al exceso de presión causada por el suelo circundante al nivel de la cimentación”. (Das, 2018)

Capacidad de carga permisible: El cálculo de la capacidad de carga permisible bruta de cimentaciones poco profundas requiere la aplicación de un factor de seguridad (FS) a la capacidad última de carga bruta”. (Das, 2018)

Ensayo de penetración dinámica: se realiza en el interior de sondeos durante la perforación. Permite obtener un valor N de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento, la carga admisible. (Agustin Saavedra, 2019)

Suelo orgánico: Los suelos orgánicos suelen encontrarse en áreas de poca altura donde el nivel de agua freática está cerca o arriba de la superficie del terreno. (Carranza Morales & Ponce Torres, 2017)

Clasificación del suelo según su granulometría: se clasifican los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría, gravas, arenas, limos y arcillas”. (Gutierrez Rodriguez, 2023)

DPL: Penetrómetro dinámico ligero. (Agustin Saavedra, 2019)

PDLA: Penetrómetro dinámico ligero artesanal.

Depósitos aluviales: se derivan de la acción de los arroyos y ríos, y se pueden dividir en dos categorías principales: (1) depósitos en secuencias trenzadas y (2) depósitos causados por el cinturón de meandros de los ríos. (Das, 2018)

LL Límite Líquido: se define como el contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo al enrollarse en hilos de 3.2 mm de diámetro se desmorona. (Das, 2018)

LP Límite Plástico: Es el límite inferior del escenario plástico del suelo. (Das, 2018)

Zona Urbana: Es un área con una gran concentración de población y con la infraestructura propia de una ciudad. (Instituto de la Construcción y Gerencia - ICG, 2023)

Edificación: Resultado de construir una obra cuyo distinto es albergar al hombre en el desarrollo de sus actividades. (Huerta Ayala, 2022)

Edificación nueva: Aquella que se ejecuta totalmente o por etapas, sobre un terreno sin construir. (Ley de Regulación y habilitaciones urbanas y de edificaciones., 2024)

IV. Metodología

En la presente investigación se utiliza el método Hipotético – Deductivo - Inductivo. Para lo cual se ha planteado la hipótesis siguiente: Los resultados de ensayo con DPL artesanal presentará un resultado más eficaz en la obtención de la capacidad de carga de suelos cohesivos.

“Consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos” (Bernal, 2018)

4.1. Tipo y nivel de Investigación

La presenta investigación tiene un enfoque cuantitativo del tipo experimental de orientación aplicada y nivel explicativo, de la cual no se creó ninguna situación y no se manipuló deliberadamente las variables de estudio, ya que se recolectaron los datos en un momento indicado y con el propósito de conocer la capacidad portante del suele subyacente. (Méndez Álvarez, 2018)

4.2. Ámbito temporal y espacial

Ámbito de influencia espacial de la tesis

➤ Ubicación geográfica

La tesis denominada “Análisis comparativo de la Capacidad de Carga de Suelos Cohesivos, usando Ensayo DPL Convencional y Artesanal en el sector de Urco – Calca”, está ubicado en el sector de Urco, distrito de Calca.

Tabla 8.

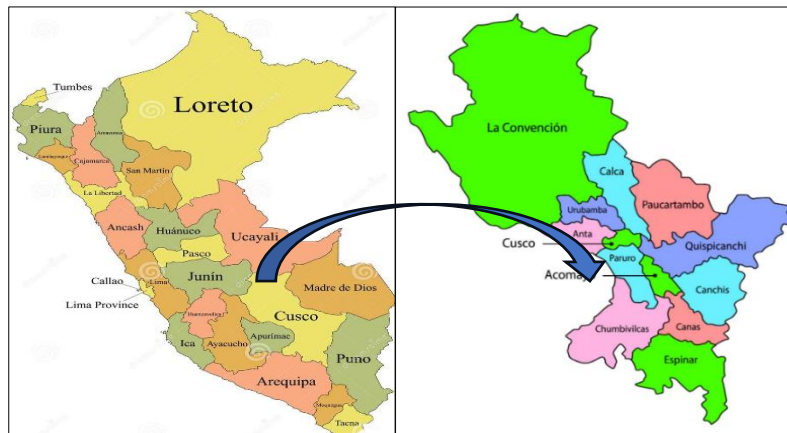
Cuadro de ubicación de la tesis de investigación

Región	: Cusco
Provincia y Distrito	: Calca
Sector	: Urco
Altitud	: 2919.45 m.s.n.m.
Coordenadas UTM	: N: 177784.74; E: 8524922.02

La tesis de investigación se encuentra dentro de la región Cusco al sur del territorio peruano, en la provincia de Calca, departamento del Cusco

Figura 5.

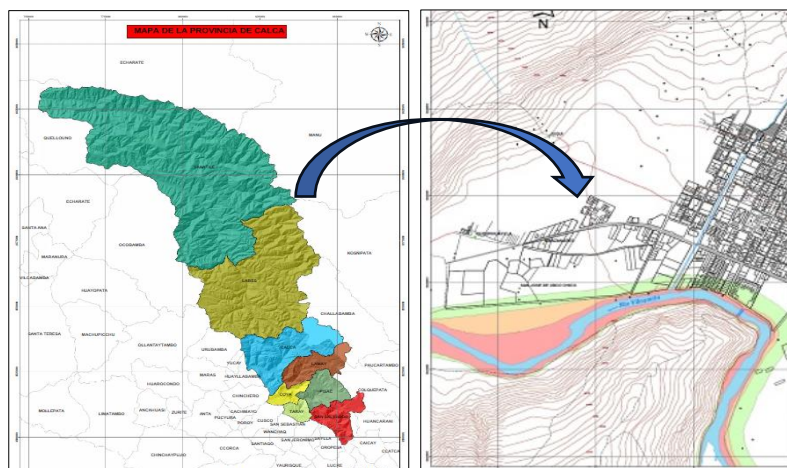
Ubicación departamental de la región Cusco



Fuente: Instituto Geográfico Nacional

Figura 6.

Ubicación provincial y distrital



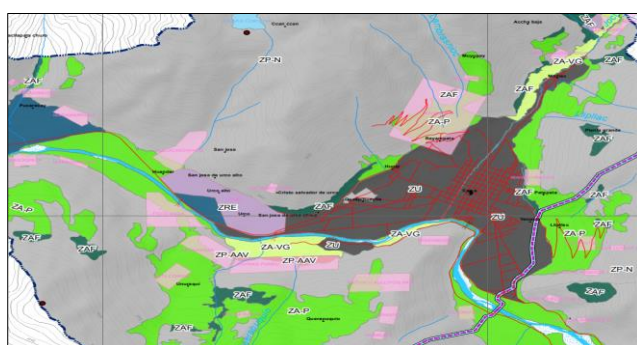
Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

➤ **Zonificación del área de estudio**

De acuerdo al Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Calca, en el año 2017 se desarrolló la zonificación del suelo rural – Al donde establece que el sector de Urco (Comunidad de Urco) tiene una clasificación de suelo denominado ZRE que lo zonifica como “Zona de reglamentación especial”, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 7.

Zonificación del Área de estudio



Fuente: (Municipalidad Provincial de Calca, 2017).

Tabla 9.

Tabla de clasificación de zona

DESCRIPCION	SIGLA	COLOR
Zonas Urbanas.	ZU	■
ZONAS AGRICOLAS		
Zonas Agrícolas Vivienda Granja.	ZA-VG	■
Zonas Agrícolas de Protección.	ZA-P	■
Zonas Agroforestales.	ZAF	■
ZONAS DE PROTECCION		
Zonas de protección Agrícolas Arqueológicas Vivienda.	ZP-AAV	■
Zonas de Protección Natural.	ZP-N	■
Zonas de Reglamentación Especial.	ZRE	■
Zonas de Protección de Sitios Arqueologicos.	ZP-SA	■

Fuente: (Municipalidad Provincial de Calca, 2017).

El área urbana en proceso de expansión y consolidación, se encuentra conformada por la prolongación Av. Vilcanota (Por el Sur), Comunidad de

Urco por el Norte, por el Oeste con la provincia de Calca y por el este con el sector de Arin.

➤ ***Extensión de la investigación***

Los fines de investigación de la presente tesis se enmarcan en la determinación de la capacidad de carga de diversos puntos a través de dos tipos de ensayos, el ensayo de DPL convencional y artesanal. La determinación de la capacidad de carga del suelo estará enfocada en cimentaciones de tipo superficial aplicando la teoría de Terzaghi y ecuaciones de diversos autores para determinar el ángulo de fricción interna.

Ámbito de influencia temporal de la tesis

El ámbito temporal de la presente investigación está basado en el año 2024, dando inicio en junio del 2024 con la etapa de formulación del Pla de Investigación y culminándose en agosto del 2024 con el informe final.

Nivel de Investigación

El alcance de la presente investigación es correlacional.

La investigación correlacional es un tipo de método de investigación en el cual un investigador mide dos variables. Entiende y evalúa la relación estadística entre ellas sin influencia de ninguna variable extraña. (Méndez Álvarez, 2018).

4.3. Población y muestra

Población

En el campo de la investigación, la población se refiere al conjunto total de eventos o elementos que poseen características comunes y que son objeto de estudio. (Paulina Iveth, 2023)

La población está constituida por el suelo existente en todo el territorio del sector de Urco, Distrito de Calca, Provincia de Calca, departamento del Cusco.

Muestra

La muestra considerada para la presente investigación abarca un territorio de 48,795.00 m², ubicado en el sector de Urco, distrito de Calca, provincia de Calca, departamento del Cusco.

Muestreo

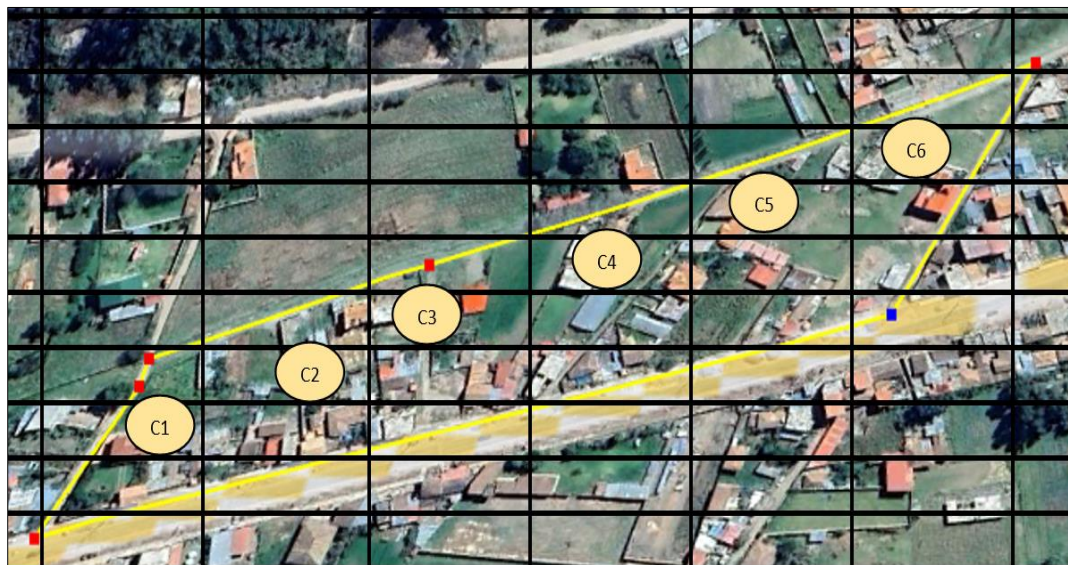
En base a la norma E.050 "Suelos y Cimentaciones", para la presente tesis se realizó el sondeo de 6 puntos a través de calicatas tomando en cuenta el área y las características geomorfológicas de la zona.

Así mismo, se recolectó 10 kg de muestra de material por calicata los cuales fueron trasladados en recipientes herméticos a laboratorio.

El proceso de selección de áreas de sondeo se ha considerado tomando en cuenta la zonificación y sectorización por estratigrafía de acuerdo al siguiente gráfico:

Tabla 10.

Programa de ensayo de campo y laboratorio



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11.

Código de calicatas

CÓDIGO DE CALICATA		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Caracterización del Suelo	Contenido de humedad	3		3	3	3	3
	Límite líquido	4		4	4	4	4
	Límite Plástico	2		2	2	2	2
	Índice de Plasticidad	1	1	1	1	1	1
	Peso específico	2		2	2	2	2
	Granometría	1	1	1	1	1	1
Ensayo de Corte Directo	Determinación del ángulo de fricción interna	1	1	1	1	1	1
	Determinación de la cohesión del suelo	1	1	1	1	1	1
Ensayo de penetración dinámica con DPL convencional	Determinación del ángulo de fricción interna mediante ecuación matemática	DUMHAM	1	1	1	1	1
		TERZAGHI & PECK (1984)	1	1	1	1	1
		OSAKI (1959)	1	1	1	1	1
		MEYERHOF (1965)	1	1	1	1	1
		KISHIDA (1969)	1	1	1	1	1
		MUROMACHI (1974)	1	1	1	1	1
		PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	1	1	1	1	1
		KATANAKA Y UCHIDA (1996)	1	1	1	1	1
		MONTENEGRO & GONZALES (2014)	1	1	1	1	1
		Determinación de la capacidad de carga con la teoría de terzaghi	1	1	1	1	1
		DUMHAM	1	1	1	1	1
Ensayo de penetración dinámica con DPL artesanal	Determinación del ángulo de fricción interna mediante ecuación matemática	TERZAGHI & PECK (1984)	1	1	1	1	1
		OSAKI (1959)	1	1	1	1	1
		MEYERHOF (1965)	1	1	1	1	1
		KISHIDA (1969)	1	1	1	1	1
		MUROMACHI (1974)	1	1	1	1	1
		PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	1	1	1	1	1
		KATANAKA Y UCHIDA (1996)	1	1	1	1	1
		MONTENEGRO & GONZALES (2014)	1	1	1	1	1
		Determinación de la capacidad de carga con la teoría de terzaghi	1	1	1	1	1
		Determinación de la capacidad de carga compensada	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

4.4. Instrumentos

Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos está dado por fichas de laboratorio donde nos permite la recolección de datos de forma sistemática y ordenada de las pruebas o ensayos realizados.

En el presente trabajo de investigación, los instrumentos metodológicos se encuentran en los anexos.

Instrumentos de ingeniería

➤ Vidrio esmerilado para límite plástico

Esta herramienta se utiliza para extraer la humedad excedente contenida en un suelo cuando se realiza el límite plástico, se utiliza hasta que la muestra alcance un diámetro cilíndrico de 3mm aproximadamente, hasta que se agriete la superficie.

Figura 8.

Vidrio esmerilado para limite plástico



➤ **Probeta graduada**

La probeta es un instrumento de uso en laboratorio que tiene como fin contener volúmenes de líquidos, las probetas son graduadas o escaladas para una mayor precisión.

Figura 9.

Probeta graduada para peso específico



➤ **Balanza electrónica**

Este instrumento nos permite conocer el peso de la muestra de suelo, la balanza debe tener una precisión (sensibilidad) de 0.1 g.

Figura 10.

Balanza eléctrica de precisión 0.1 gr



➤ **Horno eléctrico**

El Horno eléctrico es un instrumento que tiene como objetivo principal quitar la humedad del material mediante la evaporación del agua expuesto a una temperatura constante de 105 °C. (Recomendable no superar esta temperatura para no alterar la composición de la muestra).

Figura 11.

Horno eléctrico normalizado



➤ **Cuchara Casagrande**

Este es un instrumento mecánico cuyas dimensiones y composición están de acuerdo a la norma, es utilizado para la determinación del límite líquido del suelo, básicamente consiste en un recipiente hecho de bronce diseñado para controlar su caída desde una altura de 1 cm. Tiene el objetivo de encontrar una relación de golpes con respecto al contenido de humedad.

Figura 12.

Cuchara de Casagrande normalizado



➤ **Tamices ASTM**

El ensayo de granulometría requiere el uso de una serie de tamices bajo estándares de la norma, mediante el cual se pone a tamizar la muestra de suelos para su posterior clasificación, la serie de tamices están enumerados de forma: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y fondo, el tamiz N° 200 es el más pequeño.

Figura 13.

Tamices ASTM normalizado



➤ **Agitador mecánico de tamices**

Este instrumento nos permite realizar el tamizado de una muestra, el agitador genera un movimiento vertical para que las partículas del suelo más pequeñas pasen al siguiente tamiz.

Figura 14.

Agitador mecánico de tamices ASTM normalizado



➤ **Aparato de corte directo**

Este equipo se usa para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo, el método que usa el “no consolidado no drenado”, se basa en colocar la muestra inalterada previamente tallada en las dimensiones establecidas por el equipo, se aplica una carga y al mismo tiempo una fuerza de corte para hacer fallar la muestra.

Figura 15.

Aparato de corte directo normalizado



➤ **Equipo DPL (Dynamic Probing Light)**

El equipo DPL convencional (Dynamic Probing Light), es un instrumento normalizado que determina el número de golpes por cada 10cm de penetración de la varilla. Esta cantidad de golpes se reemplaza en una ecuación matemática con el fin de obtener el Angulo de fricción interna (En este caso la ecuación de Osaki) y con la aplicación de la teoría de Terzaghi se determina la capacidad de carga del suelo.

Figura 16.

Equipo DPL (Dynamic Probing Light) convencional



➤ ***Equipo DPL artesanal (Penetrómetro dinámico ligero artesanal – PDLA)***

El equipo DPL artesanal, o como lo denominamos en la presente tesis “equipo PDLA”, es un equipo que no se encuentra normalizado debido a su fabricación artesanal. Tiene como objetivo determinar el número de golpes por cada 10 cm de penetración de la varilla de fierro liso de $\frac{3}{4}$ ". Esta cantidad de golpes de reemplaza con todas las ecuaciones matemáticas planteadas para la determinación más aproximada del Angulo de fricción interna, para posteriormente con la teoría de Terzaghi determinar la capacidad de carga del suelo.

Figura 17.

Equipo DPL artesanal (Penetrómetro Dinámico ligero Artesanal - DPLA)



4.5. Procedimiento

Procedimiento para investigación y exploración de campo

El artículo 11 de la norma E.050 Suelos y Cimentaciones menciona que un programa de investigación de campo y laboratorio se define mediante:

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

a) Instrumentos utilizados

- Pico
- Pala
- Escalera para acceso.

b) Procedimiento

Para realizar el muestreo del material se procedió a excavar calicatas en el área de estudio, las dimensiones establecidas de excavación fueron de 0.60 m x 1.20 m. para la profundidad se tomó como referencia lo indicado en la Norma E.050 de Suelos y Cimentaciones y el alcance del DPL artesanal (1.00 m). Para muestras de suelo inalteradas fueron obtenidas a 1.0 m de profundidad, las que fueron talladas en bloques y embaladas para su transporte.

Figura 18.
recolección de muestras alteradas en calicatas



Figura 19.
Excavación manual de calicatas



Figura 20.
Exploración de campo



Figura 21.
Perfil estratigráfico de la calicata n° 01



Figura 22.

Muestras inalteradas embaladas



Ensayo de determinación de la capacidad de carga o presión máxima usando DPL convencional (Dynamic Probing Light)

a) Instrumentos utilizados

- Equipo DPL convencional
- Pizarra Acrílica
- Libreta de campo

b) Procedimiento: El DPL convencional es un instrumento basado en la norma NTP 339.159-2001. Este ensayo consiste en hincar una punta maciza mediante una maza de golpe normalizado que cae desde una altura predeterminada. Es un ensayo útil para determinar la resistencia a la penetración dinámica de suelos cohesivos (capacidad de carga).

En principio se define la ubicación de la zona a ensayar, tomando en cuenta la estratigráfica homogénea del terreno que contengan partículas parcialmente finas con parámetros de un suelo cohesivo.

A continuación, se procede a realizar el ensayo, entre dos personas, la primera sostiene la varilla principal de forma horizontal, mientras que la segunda deja caer el maso contando el número de golpes por cada 10cm de penetración.

Ensayo de determinación de la carga o presión máxima usando DPL artesanal (Penetrómetro dinámico ligero PDLA).

a) Instrumentos utilizados

- Equipo DPL Artesanal (PDLA)
- Pizarra Acrílica
- Libreta de campo

b) Procedimiento: El DPL artesanal, denominado “penetrómetro dinámico ligero artesanal”, por sus siglas PDLA, es un instrumento artesanal no normado, fabricado específicamente para la presente investigación. Al igual que un DPL convencional, el ensayo con este equipo consiste en hincar una punta maciza de $\frac{3}{4}$ ” de fierro liso con punta mediante una maza casera de golpe que cae desde una altura de 60cm con el objetivo de determinar la resistencia a la penetración dinámica de los suelos cohesivos.

Al igual que el DPL convencional, se define la ubicación, y en este caso se realiza el ensayo dentro de la calicata a una altura de -1.00m (Profundidad de excavación de la calicata).

A diferencia del DPL convencional, con el DPL artesanal se procede a realizar el ensayo dentro de la calicata, entre dos personas, la primera sostiene la varilla principal de $\frac{3}{4}$ ”, mientras que la segunda deja caer el maso contando el número de golpes por cada 10 cm de penetración.

Ensayo para determinar el contenido de humedad**a) Instrumentos utilizados**

- Horno de secado (110 °C).
- Balanza de precisión de 0.1
- Taras de metal
- Espátula

b) Procedimiento: Se determina el peso de la tara, se toma una muestra del suelo natural en la tara y se pesa en la balanza, se procede a etiquetar los

recipientes que contiene las muestras para su fácil identificación, se lleva al horno para el secado durante 12 horas como mínimo.

Luego se procede a retirar las muestras del suelo, se deja enfriar las muestras durante un tiempo, se pesa las muestras secas para posteriormente calcular el contenido de humedad.

Figura 23.

Muestras de suelo para contenido de humedad



Ensayo para determinar límite líquido

a) Instrumentos utilizados

- Cuchara de Casagrande
- Espátula pequeña
- Acanalador
- Mortero
- Horno de secado que pueda mantener la temperatura de 110 °C
- Balanza de precisión 0.1g

b) Procedimiento: Se extrae una muestra representativa del suelo y se incorpora en el mortero, se incluye agua y se mezcla con la espátula para obtener una masa homogénea, luego se coloca una porción en la cuchara Casagrande, preparando una superficie de 1 cm aproximadamente, se usa el acanalador para separar la muestra de suelo en dos mitades iguales, después se gira la manivela hasta que la porción de suelo del acanalador se cierre en $\frac{1}{2}$ " de longitud de medio de la cuchara del equipo y se anota el número de golpes, esto se repite de 40 a 30 golpes, 25 a 30 golpes, 20 a

25 golpes y 20 a 15 golpes, una vez realizado las pruebas se extrae una muestra de suelo de la cuchara de Casagrande, para cada intervalo, las muestras son pesadas cuando están húmedas, luego, después de sacar del horno se vuelven a pesar y se calcula el % de contenido de humedad.

Para poder graficar la curva de fluidez se representa la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica.

Ensayo para determinar límite plástico

a) Instrumentos utilizados

- Taras de metal
- Varilla de 3mm
- Placa de vidrio esmerilado
- Horno de secado que pueda mantener la temperatura a 110 °C
- Balanza de precisión 0.1 g

b) Procedimiento: El mismo material del límite líquido, se amasa sobre el vidrio esmerilado para que pierda humedad, se va enrollando hasta alcanzar un diámetro de 3.2 mm (1/8"), la prueba continua hasta que el rodillo amasado empiece a rajarse y pueda quebrarse. A continuación, se pesa el rodillo húmedo y se lleva al horno con el fin de eliminar la humedad para finalmente calcular el límite plástico.

Ensayo de peso volumétrico del suelo

a) Equipo utilizado

- Espátula pequeña
- Cocina eléctrica
- Balanza de precisión de 0.1 g
- Horno de secado que pueda mantener la temperatura a 110 °C

b) Procedimiento: Se inicia con el derretimiento de la parafina en una cocina eléctrica, se talla la muestra de suelo con un tamaño específico que pueda

introducirse dentro de la probeta de 250 ml, se pesa la muestra de suelo y se sumerge dentro de la parafina, después se deja enfriar la muestra y se registra el peso, se llena la probeta hasta un volumen específico, se introduce la muestra de suelo en la probeta, la cual producirá aumento de volumen, esta variación se anota para calcular el peso volumétrico.

Ensayo de granulometría

a) Instrumentos utilizados

- Agitador mecánico
- Balanza electrónica
- Horno de secado que pueda mantener la temperatura a 110 °C
- Tamices N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200

b) Procedimiento: Con la muestra de suelo cohesivo se procede a pesar en la balanza, luego se procede a lavar la muestra para después pasar por el tamiz N° 200.

Ensayo de corte directo

Instrumentos utilizados

- Espátula pequeña
- Arco de sierra

Procedimiento

Una porción de la muestra de suelo, en un contenedor circular se procede a colocar en el equipo de corte directo, considerando la densidad natural del mismo para luego proceder a aplicar dos fuerzas opuestas de manera horizontal. La fuerza aplicada al momento de la falla es la resistencia del suelo al corte que representa el ángulo de fricción del mismo.

4.6. Análisis de datos

Programa de investigación y exploración de campo

Se realizó la excavación manual de calicatas en las zonas establecidas en la presente investigación, las dimensiones corresponden a un ancho de

0.60 m, largo de 1.20 m y una profundidad de 1.00 m que es el alcance del DPL artesanal y 2.00 m para el DPL convencional.

Procesamiento de datos (cálculo).

El procesamiento de datos en la investigación es el proceso de recopilación de datos y su transformación en información utilizable para múltiples partes interesadas. Aunque los datos pueden verse de muchas maneras y a través de varios objetivos, el procesamiento de datos ayuda a probar o refutar teorías, a tomar decisiones o incluso a avanzar en la mejora del planteamiento. (questionpro logo, 2023)

Los ensayos realizados para el procesamiento de cálculo son:

- Ensayo de penetración dinámica ligera DPL – Norma DIN4094 Y NTP 339.159:2001
- Ensayo e Penetración dinámica ligera artesanal – PDLA.
- Correlación N_{dpl} con el N_{pdla} y estimación del ángulo de fricción interna.
- Ensayos para la determinación de capacidad de carga del suelo.
- Procesos de obtención de muestras.
- Determinación del contenido de humedad.
- Determinación de la granulometría.
- Determinación de la densidad natural del suelo.
- Ensayo del corte directo – ASTM D3080 – 72.

El procesamiento de cálculo para la obtención de resultados de la presente investigación se encuentra en los anexos adjuntos.

4.7. Consideraciones éticas.

No ha mediado ningún inconveniente en la investigación y se ha considerados los procesos éticos.

V. Resultados y discusión







Resultados

➤ Resumen de resultados

Resultados de la exploración de campo

Tabla 12.

Resultados de la exploración campo

	PROF. MUESTRA	SIMBOLO	CLASIFICACIÓN	
			SUCS	AASHTO
Calicata N° 01	0.10		CL	A-2-6
	0.20			
	0.30			
	0.40			
	0.50			
	0.60			
	0.70			
	0.80			
	0.90			
	1.00			
Calicata N° 02	0.10		CH	A-2-7
	0.20			
	0.30			
	0.40			
	0.50			
	0.60			
	0.70			
	0.80			
	0.90			
	1.00			
Calicata N° 03	0.10		CH	A-2-7
	0.20			
	0.30			
	0.40			
	0.50			
	0.60			
	0.70			
	0.80			
	0.90			
	1.00			
Calicata N° 04	1.10		CL	A-2-6
	1.20			
	1.30			
	1.40			
	1.50			
	1.60			
	1.70			
	1.80			
	1.90			
	2.00			
Calicata N° 05	2.10		CH	A-2-7
	2.20			
	2.30			
	2.40			
	2.50			
	2.60			
	2.70			
	2.80			
	2.90			
	3.00			
Calicata N° 06	3.10		CL	A-2-6
	3.20			
	3.30			
	3.40			
	3.50			
	3.60			
	3.70			
	3.80			
	3.90			
	4.00			

➤ Resultados de la caracterización del suelo

- a) **Resultados del contenido de humedad:** Si bien la mayoría de los puntos de estudio a través de las calicatas presentan resultados similares, la zona 03 representado por la calicata C3 está ubicado en un punto relativamente alto por lo que es de esperar que sea una zona con una humedad relativamente baja.

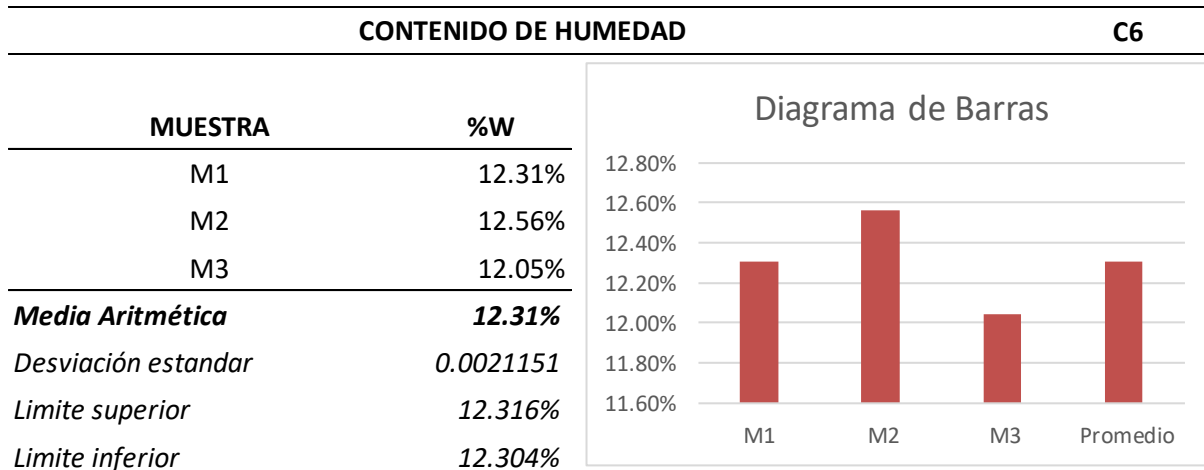
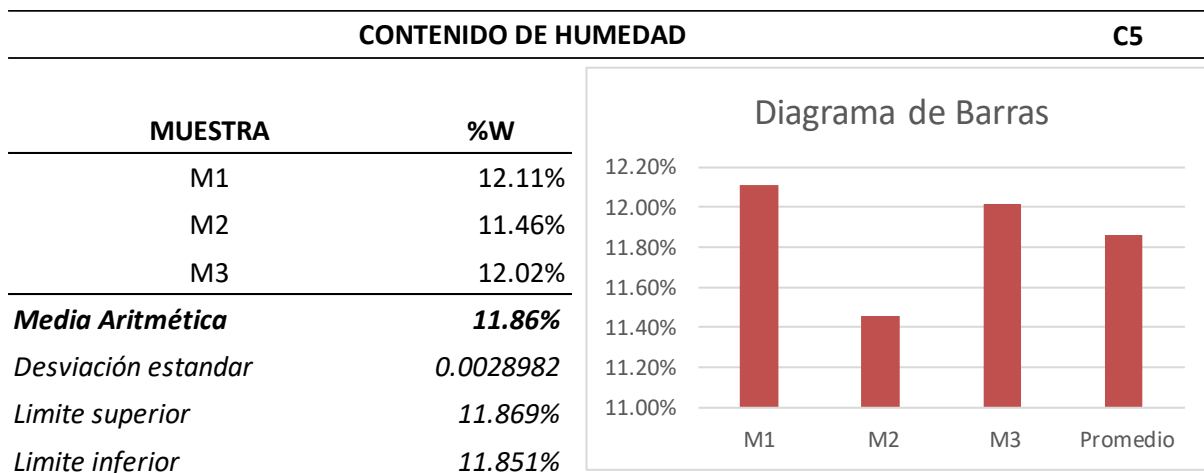
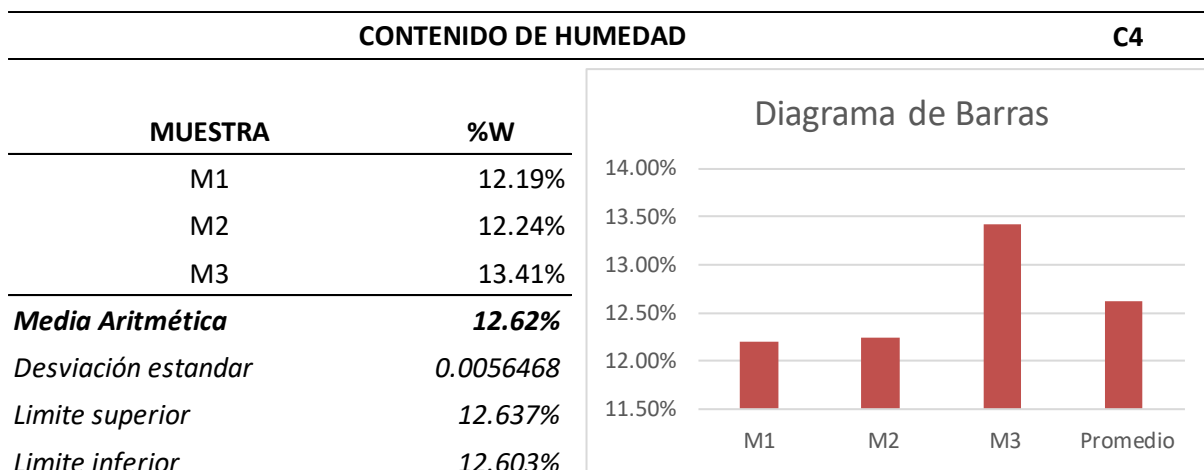
Tabla 13.

Cuadro de resultados de contenido de humedad.

CONTENIDO DE HUMEDAD		C1										
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>%W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>11.98%</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>10.78%</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>12.28%</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>11.68%</td> </tr> </tbody> </table>	Muestra	%W	M1	11.98%	M2	10.78%	M3	12.28%	Promedio	11.68%
Muestra	%W											
M1	11.98%											
M2	10.78%											
M3	12.28%											
Promedio	11.68%											
M1	11.98%											
M2	10.78%											
M3	12.28%											
Media Aritmética	11.68%											
<i>Desviación estandar</i>	<i>0.0065107</i>											
<i>Limite superior</i>	<i>11.700%</i>											
<i>Limite inferior</i>	<i>11.660%</i>											

CONTENIDO DE HUMEDAD		C2										
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>%W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>12.01%</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>12.16%</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>11.79%</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>11.99%</td> </tr> </tbody> </table>	Muestra	%W	M1	12.01%	M2	12.16%	M3	11.79%	Promedio	11.99%
Muestra	%W											
M1	12.01%											
M2	12.16%											
M3	11.79%											
Promedio	11.99%											
M1	12.01%											
M2	12.16%											
M3	11.79%											
Media Aritmética	11.99%											
<i>Desviación estandar</i>	<i>0.0015547</i>											
<i>Limite superior</i>	<i>11.995%</i>											
<i>Limite inferior</i>	<i>11.985%</i>											

CONTENIDO DE HUMEDAD		C3										
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>%W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>10.24%</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>11.35%</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>10.93%</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>10.84%</td> </tr> </tbody> </table>	Muestra	%W	M1	10.24%	M2	11.35%	M3	10.93%	Promedio	10.84%
Muestra	%W											
M1	10.24%											
M2	11.35%											
M3	10.93%											
Promedio	10.84%											
M1	10.24%											
M2	11.35%											
M3	10.93%											
Media Aritmética	10.84%											
<i>Desviación estandar</i>	<i>0.0045747</i>											
<i>Limite superior</i>	<i>10.854%</i>											
<i>Limite inferior</i>	<i>10.826%</i>											

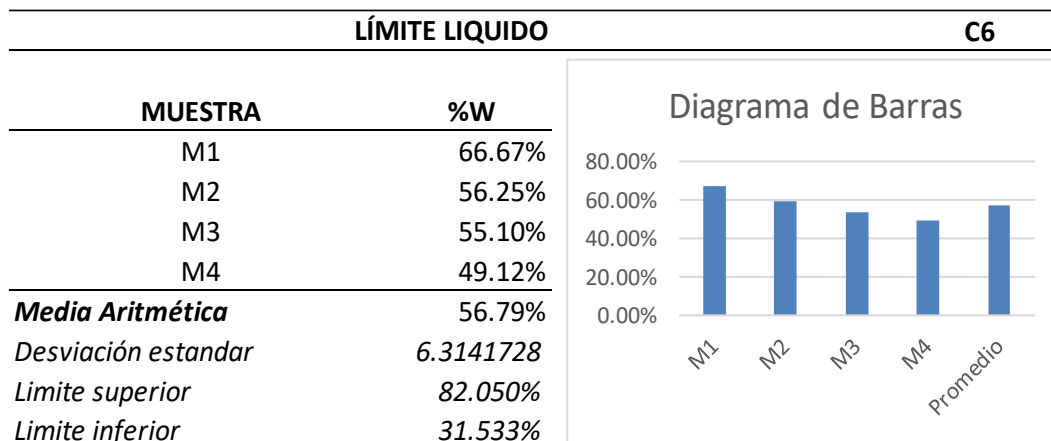
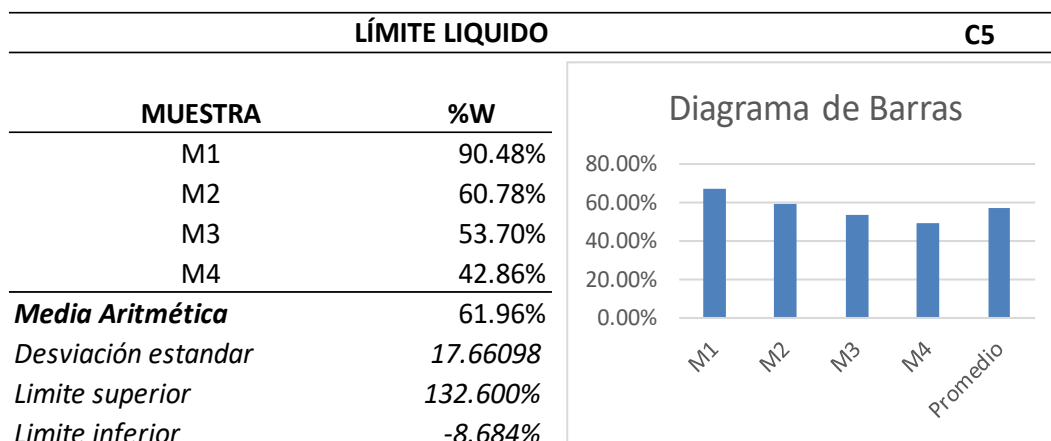
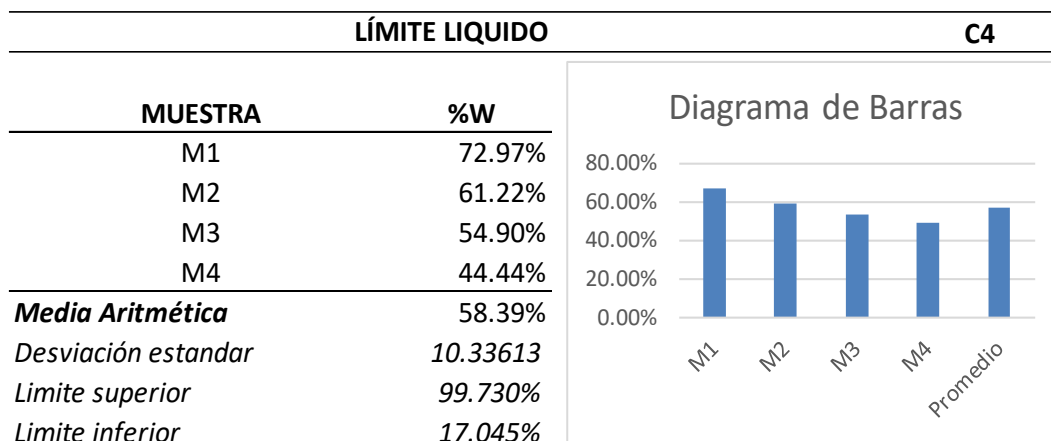


b) Resultados del límite líquido: Considerando los valores relativamente altos en los resultados se puede concluir que los suelos son bastante cohesivos, requieren una cantidad considerable de humedad para cambiar el estado plástico al líquido. Así mismo comparando los seis puntos de estudio, el sexto resulta el más bajo.

Tabla 14.

Cuadro de resultados del límite líquido

LÍMITE LIQUIDO		C1
MUESTRA	%W	
M1	66.67%	
M2	59.38%	
M3	53.45%	
M4	49.06%	
Media Aritmética	57.14%	
<i>Desviación estandar</i>	6.6091353	
<i>Limite superior</i>	83.580%	
<i>Limite inferior</i>	30.703%	
LÍMITE LIQUIDO		C2
MUESTRA	%W	
M1	97.73%	
M2	62.75%	
M3	56.60%	
M4	44.00%	
Media Aritmética	65.27%	
<i>Desviación estandar</i>	19.920881	
<i>Limite superior</i>	144.950%	
<i>Limite inferior</i>	-14.413%	
LÍMITE LIQUIDO		C3
MUESTRA	%W	
M1	71.11%	
M2	61.82%	
M3	53.57%	
M4	50.91%	
Media Aritmética	59.35%	
<i>Desviación estandar</i>	7.8907615	
<i>Limite superior</i>	90.910%	
<i>Limite inferior</i>	27.787%	

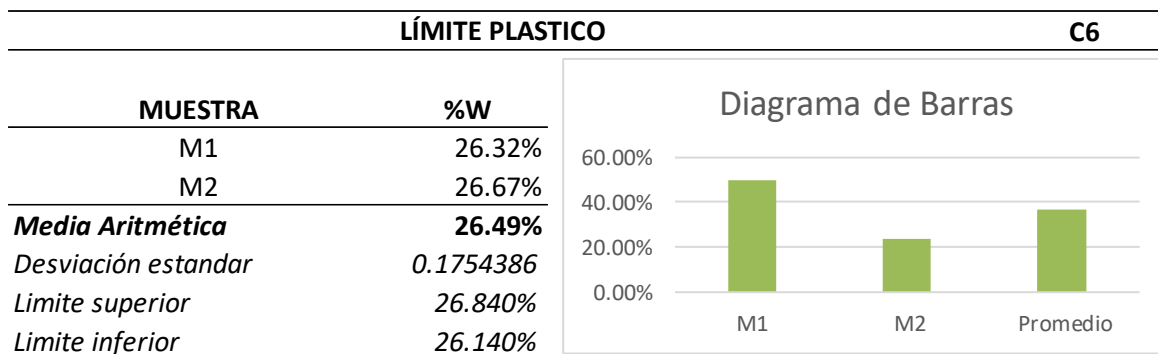
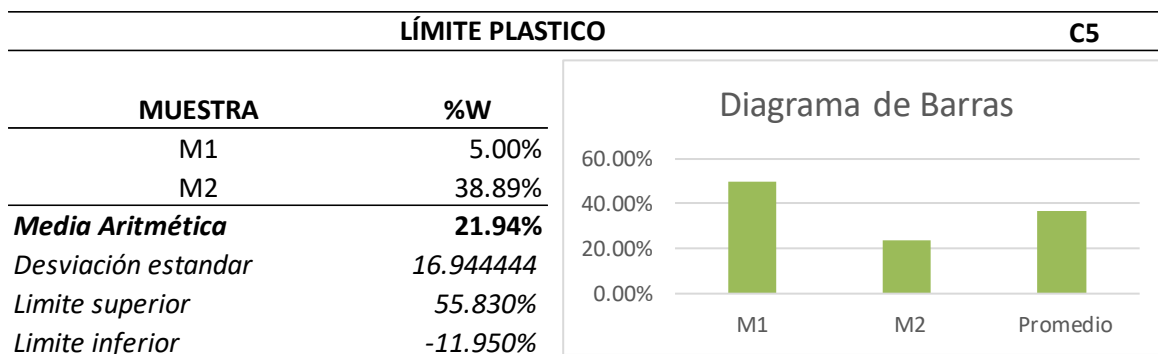


c) **Resultados del límite plástico:** De los resultados podemos observar que la calicata N° 6 (C6) presenta un menor índice de plasticidad, esto es de esperarse debido a que en la zona se puede evidenciar que es el suelo menos cohesivo.

Tabla 15.

Cuadro de resultados de limite plástico

LÍMITE PLÁSTICO		C1								
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p> <table border="1"> <tr><th>Muestra</th><th>%W</th></tr> <tr><td>M1</td><td>50.00%</td></tr> <tr><td>M2</td><td>23.81%</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>36.90%</td></tr> </table>	Muestra	%W	M1	50.00%	M2	23.81%	Promedio	36.90%
Muestra	%W									
M1	50.00%									
M2	23.81%									
Promedio	36.90%									
M1	50.00%									
M2	23.81%									
Media Aritmética	36.90%									
<i>Desviación estandar</i>	13.095238									
<i>Limite superior</i>	63.090%									
<i>Limite inferior</i>	10.710%									
LÍMITE PLÁSTICO		C2								
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p> <table border="1"> <tr><th>Muestra</th><th>%W</th></tr> <tr><td>M1</td><td>41.67%</td></tr> <tr><td>M2</td><td>31.82%</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>36.74%</td></tr> </table>	Muestra	%W	M1	41.67%	M2	31.82%	Promedio	36.74%
Muestra	%W									
M1	41.67%									
M2	31.82%									
Promedio	36.74%									
M1	41.67%									
M2	31.82%									
Media Aritmética	36.74%									
<i>Desviación estandar</i>	4.9242424									
<i>Limite superior</i>	46.590%									
<i>Limite inferior</i>	26.890%									
LÍMITE PLÁSTICO		C3								
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p> <table border="1"> <tr><th>Muestra</th><th>%W</th></tr> <tr><td>M1</td><td>35.71%</td></tr> <tr><td>M2</td><td>40.00%</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>37.86%</td></tr> </table>	Muestra	%W	M1	35.71%	M2	40.00%	Promedio	37.86%
Muestra	%W									
M1	35.71%									
M2	40.00%									
Promedio	37.86%									
M1	35.71%									
M2	40.00%									
Media Aritmética	37.86%									
<i>Desviación estandar</i>	2.1428571									
<i>Limite superior</i>	42.146%									
<i>Limite inferior</i>	33.574%									
LÍMITE PLÁSTICO		C4								
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p> <table border="1"> <tr><th>Muestra</th><th>%W</th></tr> <tr><td>M1</td><td>36.84%</td></tr> <tr><td>M2</td><td>42.11%</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>39.47%</td></tr> </table>	Muestra	%W	M1	36.84%	M2	42.11%	Promedio	39.47%
Muestra	%W									
M1	36.84%									
M2	42.11%									
Promedio	39.47%									
M1	36.84%									
M2	42.11%									
Media Aritmética	39.47%									
<i>Desviación estandar</i>	2.6315789									
<i>Limite superior</i>	44.730%									
<i>Limite inferior</i>	34.210%									



Tomando en cuenta los resultados del límite líquido y límite plástico tenemos como resultado los siguientes índices de plasticidad:

	<i>IP - C1</i>	<i>IP - C2</i>	<i>IP - C3</i>	<i>IP - C4</i>	<i>IP - C5</i>	<i>IP - C6</i>
	%	%	%	%	%	%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	20.23	28.36	22.45	21.48	25.05	19.88

d) Resultados del ensayo de peso específico del suelo con humedad natural:

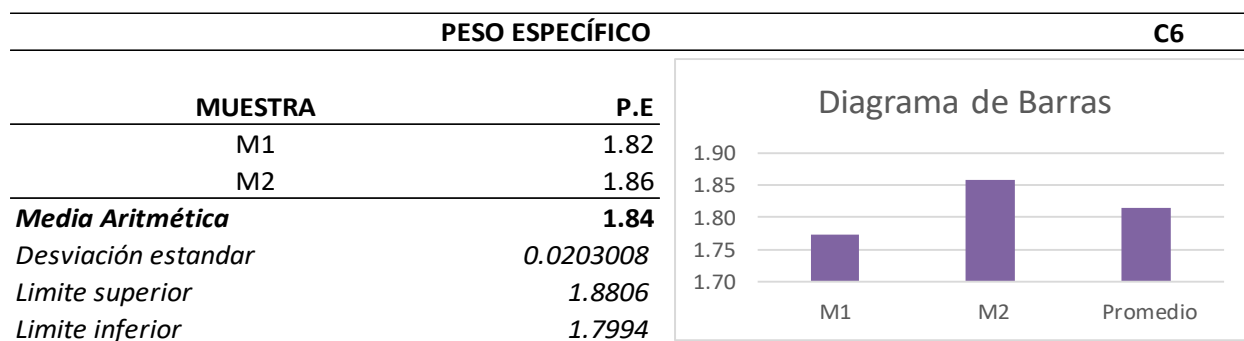
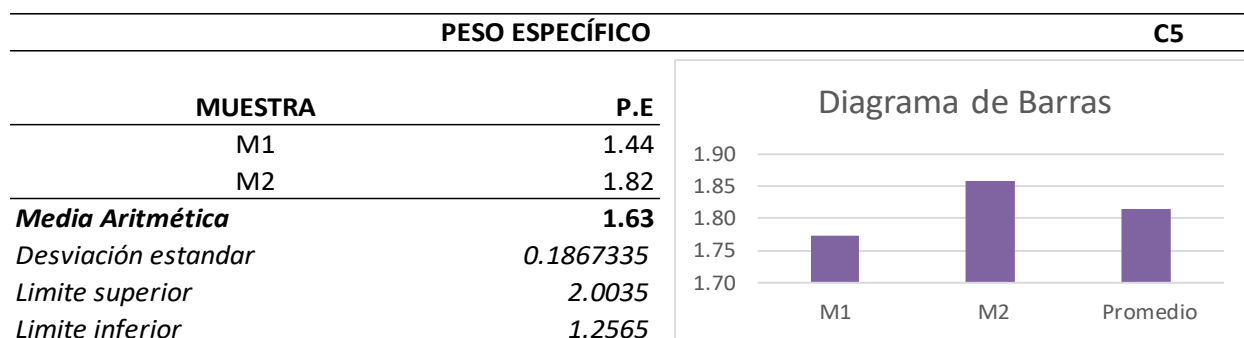
Considerando que el peso específico del suelo es la relación entre el peso del mismo y el volumen que ocupa, podemos mencionar que los resultados obtenidos en cada calicata refieren a muestras con mediano grado de volumen respecto al peso que esto representa, como es el caso de la calicata N° 5.

Las muestras de suelo con este tipo de resultados suelen ser cohesivos ya que no presentan vacíos sustanciales en su composición, de igual manera su capacidad de absorción incrementa los pesos mostrados respecto al volumen.

Tabla 16.

Resultados del ensayo de peso específico con humedad natural.

PESO ESPECÍFICO		C1	
MUESTRA	P.E	<p>Diagrama de Barras</p> <p>Y-axis: 1.70, 1.75, 1.80, 1.85, 1.90</p> <p>X-axis: M1, M2, Promedio</p>	
M1	1.77		
M2	1.86		
Media Aritmética	1.81		
<i>Desviación estandar</i>	0.0428526		
<i>Limite superior</i>	1.8957		
<i>Limite inferior</i>	1.7243		
PESO ESPECÍFICO			C2
MUESTRA	P.E		<p>Diagrama de Barras</p> <p>Y-axis: 1.70, 1.75, 1.80, 1.85, 1.90</p> <p>X-axis: M1, M2, Promedio</p>
M1	1.99		
M2	1.88		
Media Aritmética	1.93		
<i>Desviación estandar</i>	0.0558016		
<i>Limite superior</i>	2.0416		
<i>Limite inferior</i>	1.8184		
PESO ESPECÍFICO		C3	
MUESTRA	P.E	<p>Diagrama de Barras</p> <p>Y-axis: 1.70, 1.75, 1.80, 1.85, 1.90</p> <p>X-axis: M1, M2, Promedio</p>	
M1	1.94		
M2	2.05		
Media Aritmética	1.99		
<i>Desviación estandar</i>	0.0523714		
<i>Limite superior</i>	2.0947		
<i>Limite inferior</i>	1.8853		
PESO ESPECÍFICO			C4
MUESTRA	P.E		<p>Diagrama de Barras</p> <p>Y-axis: 1.70, 1.75, 1.80, 1.85, 1.90</p> <p>X-axis: M1, M2, Promedio</p>
M1	1.61		
M2	1.89		
Media Aritmética	1.75		
<i>Desviación estandar</i>	0.1365125		
<i>Limite superior</i>	2.0230		
<i>Limite inferior</i>	1.4770		



d) **Resultados del ensayo de granulometría de los suelos:**

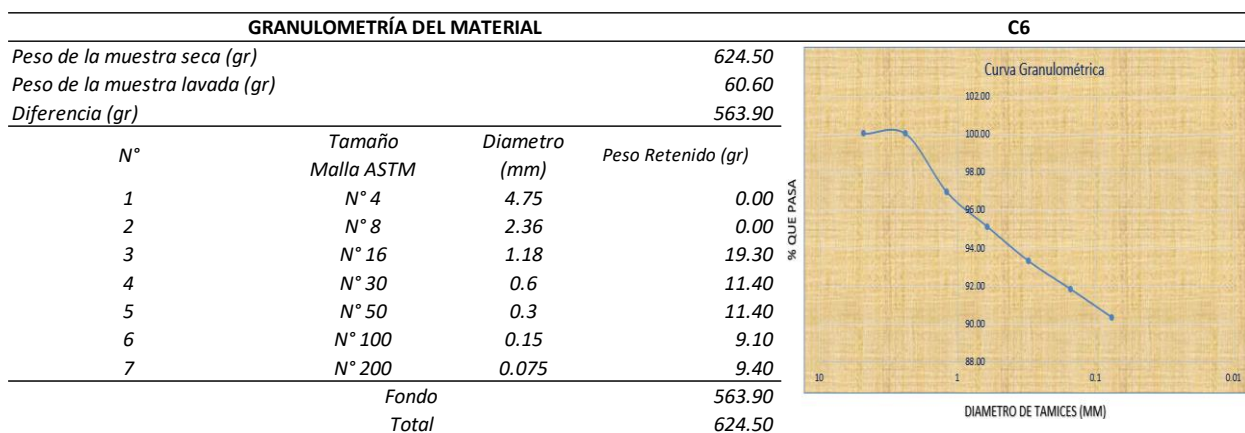
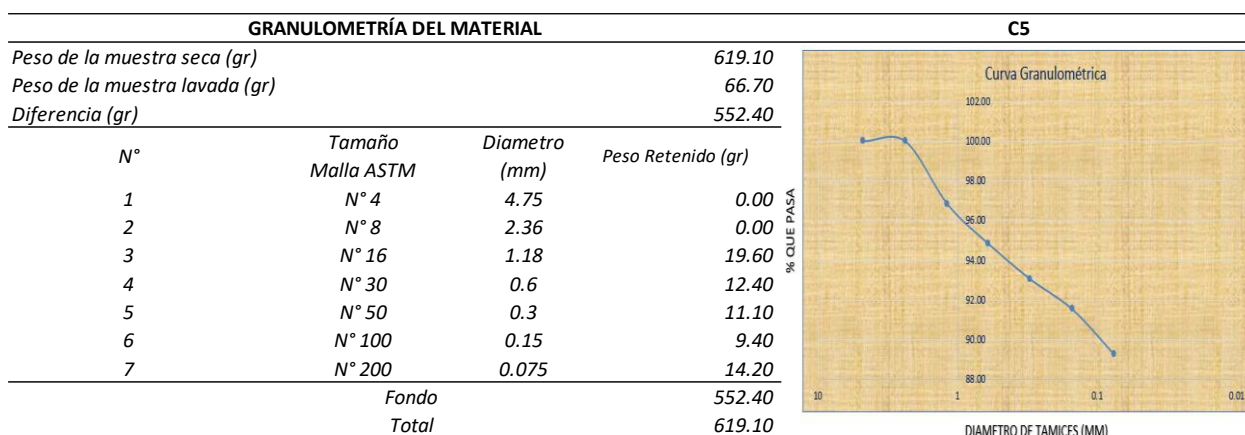
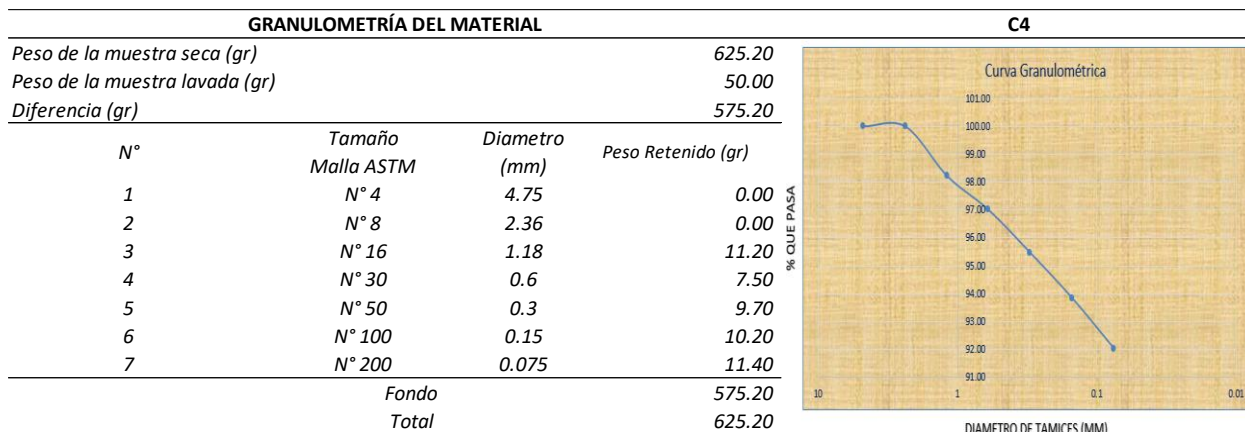
Tomando en cuenta los pesos retenidos de la granulometría del suelo y observando la curva ponemos identificar a las muestras en su gran mayoría como partículas finas con presencia de limos y arcillas que definen la plasticidad.

Es importante identificar los suelos cohesivos debido a que los ensayos de DPL y PDLA requieren de suelos de este tipo.

Tabla 17.

Resultados obtenidos para ensayo de granulometría

GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL				C1
Peso de la muestra seca (gr)		635.76		
Peso de la muestra lavada (gr)		65.32		
Diferencia (gr)		570.44		
N°	Tamaño Malla ASTM	Diametro (mm)	Peso Retenido (gr)	
1	N° 4	4.75	0.00	
2	N° 8	2.36	0.00	
3	N° 16	1.18	21.01	
4	N° 30	0.6	12.01	
5	N° 50	0.3	7.90	
6	N° 100	0.15	10.10	
7	N° 200	0.075	14.30	
Fondo		570.44		
Total		635.76		
GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL				C2
Peso de la muestra seca (gr)		615.12		
Peso de la muestra lavada (gr)		55.20		
Diferencia (gr)		559.92		
N°	Tamaño Malla ASTM	Diametro (mm)	Peso Retenido (gr)	
1	N° 4	4.75	0.00	
2	N° 8	2.36	0.00	
3	N° 16	1.18	14.60	
4	N° 30	0.6	9.50	
5	N° 50	0.3	6.70	
6	N° 100	0.15	13.20	
7	N° 200	0.075	11.20	
Fondo		559.92		
Total		615.12		
GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL				C3
Peso de la muestra seca (gr)		701.02		
Peso de la muestra lavada (gr)		79.50		
Diferencia (gr)		621.52		
N°	Tamaño Malla ASTM	Diametro (mm)	Peso Retenido (gr)	
1	N° 4	4.75	0.00	
2	N° 8	2.36	0.00	
3	N° 16	1.18	18.40	
4	N° 30	0.6	12.50	
5	N° 50	0.3	10.20	
6	N° 100	0.15	16.30	
7	N° 200	0.075	22.10	
Fondo		621.52		
Total		701.02		

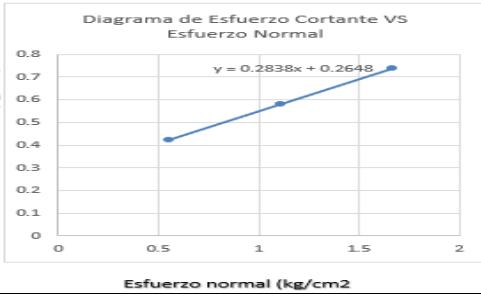
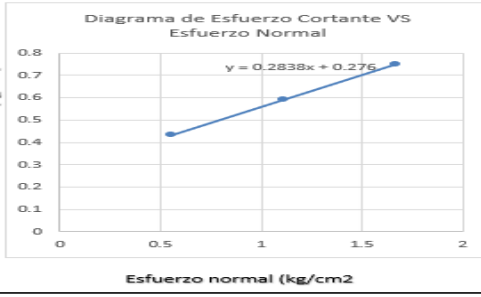
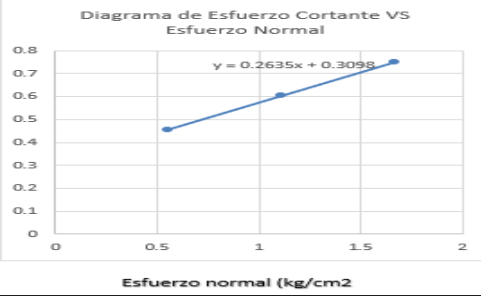
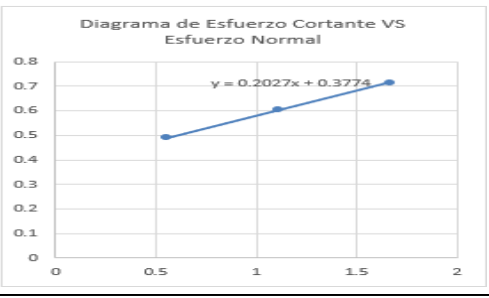


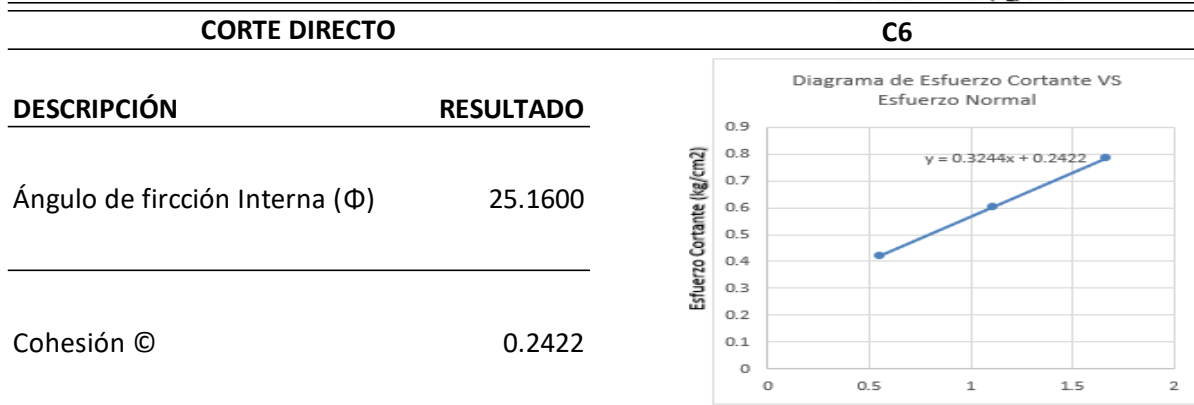
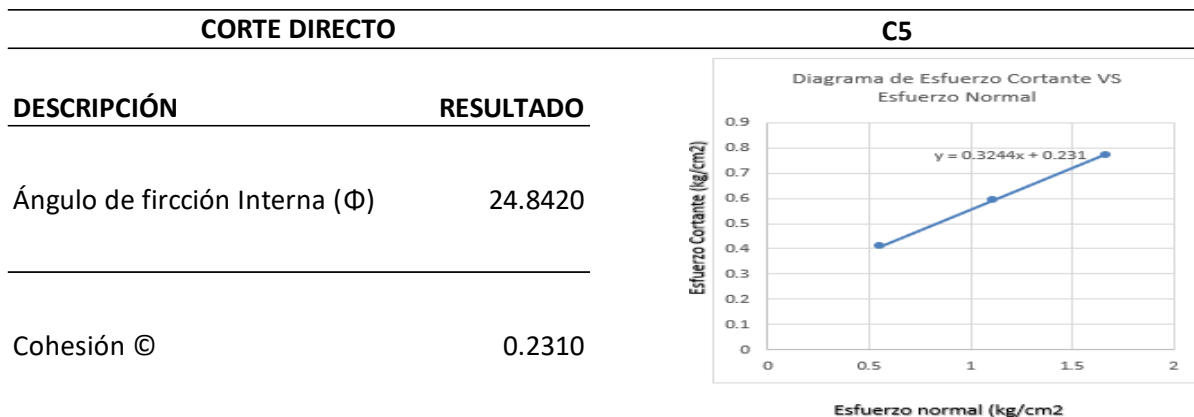
f) Resultados del ensayo de corte directo:

Considerando los resultados del ángulo de fricción podemos identificar los parámetros importantes en la determinación de la resistencia y estabilidad del suelo, es decir: Cuanto mayor sea el ángulo de fricción interna, mayor será la resistencia al deslizamiento del suelo. En este caso los resultados de todos los ensayos se encuentran en un parámetro de 25° lo cual demuestra una resistencia algo considerable al deslizamiento.

Tabla 18.

Datos obtenidos del ensayo de corte directo

CORTE DIRECTO		C1
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	
Ángulo de fricción Interna (Φ)	23.8781	
Cohesión c	0.2648	
CORTE DIRECTO		C2
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	
Ángulo de fricción Interna (Φ)	24.2010	
Cohesión c	0.2760	
CORTE DIRECTO		C3
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	
Ángulo de fricción Interna (Φ)	24.2010	
Cohesión c	0.3098	
CORTE DIRECTO		C4
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	
Ángulo de fricción Interna (Φ)	23.2274	
Cohesión c	0.3774	

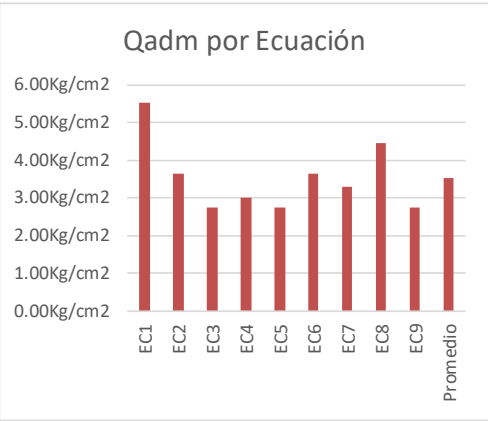
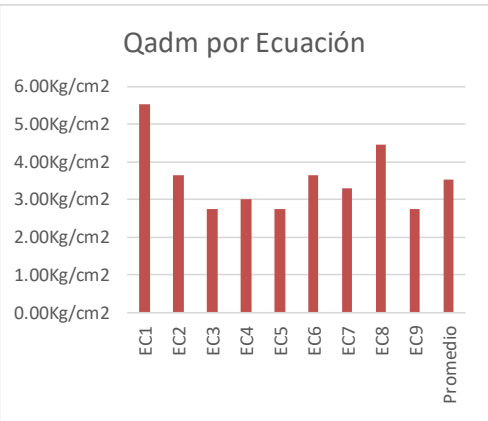
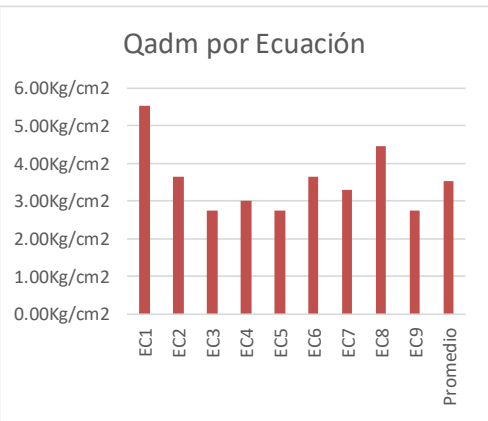


g) Resultados del ensayo de DPL convencional:

Los resultados de capacidad de carga admisible de cada una de las calicatas tienen valores superiores a 3 kg/cm² lo cual representa una resistencia óptima considerando que son suelos cohesivos. Así mismo podemos observar que el suelo con menor capacidad de carga es el de la calicata C5

Tabla 19.

Resultados obtenidos del ensayo de DPL convencional

ENSAYO CON DPL CONVENCIONAL		C1
N° ECUACIÓN	Qadm	
EC1 DUMHAM	5.52Kg/cm2	
EC2 TERZAGHI & PECK (1984)	3.64Kg/cm2	
EC3 OSAKI (1959)	2.75Kg/cm2	
EC4 MEYERHOF (1965)	3.01Kg/cm2	
EC5 KISHIDA (1969)	2.75Kg/cm2	
EC6 MUROMACHI (1974)	3.64Kg/cm2	
EC7 PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	3.31Kg/cm2	
EC8 KATANAKA Y UCHIDA (1996)	4.45Kg/cm2	
EC9 MONTENEGRO & GONZALES (2014)	2.75Kg/cm2	
Media Aritmética	3.54Kg/cm2	
<i>Desviación estandar</i>	<i>0.880014006</i>	
<i>Limite superior</i>	<i>11.4600</i>	
<i>Limite inferior</i>	<i>-4.3800</i>	
ENSAYO CON DPL CONVENCIONAL		C2
N° ECUACIÓN	Qadm	
EC1 DUMHAM	5.78Kg/cm2	
EC2 TERZAGHI & PECK (1984)	3.81Kg/cm2	
EC3 OSAKI (1959)	2.87Kg/cm2	
EC4 MEYERHOF (1965)	3.15Kg/cm2	
EC5 KISHIDA (1969)	2.87Kg/cm2	
EC6 MUROMACHI (1974)	3.81Kg/cm2	
EC7 PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	3.46Kg/cm2	
EC8 KATANAKA Y UCHIDA (1996)	4.66Kg/cm2	
EC9 MONTENEGRO & GONZALES (2014)	2.87Kg/cm2	
Media Aritmética	3.70Kg/cm2	
<i>Desviación estandar</i>	<i>0.922476041</i>	
<i>Limite superior</i>	<i>12.0020</i>	
<i>Limite inferior</i>	<i>-4.6020</i>	
ENSAYO CON DPL CONVENCIONAL		C3
N° ECUACIÓN	Qadm	
EC1 DUMHAM	5.72Kg/cm2	
EC2 TERZAGHI & PECK (1984)	3.83Kg/cm2	
EC3 OSAKI (1959)	2.93Kg/cm2	
EC4 MEYERHOF (1965)	3.19Kg/cm2	
EC5 KISHIDA (1969)	2.93Kg/cm2	
EC6 MUROMACHI (1974)	3.50Kg/cm2	
EC7 PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	3.50Kg/cm2	
EC8 KATANAKA Y UCHIDA (1996)	4.66Kg/cm2	
EC9 MONTENEGRO & GONZALES (2014)	2.69Kg/cm2	
Media Aritmética	3.66Kg/cm2	
<i>Desviación estandar</i>	<i>0.917396596</i>	
<i>Limite superior</i>	<i>11.9170</i>	
<i>Limite inferior</i>	<i>-4.5970</i>	

ENSAYO CON DPL CONVENCIONAL		C4
Nº ECUACIÓN	Qadm	
EC1 DUMHAM	7.36Kg/cm2	
EC2 TERZAGHI & PECK (1984)	4.94Kg/cm2	
EC3 OSAKI (1959)	3.77Kg/cm2	
EC4 MEYERHOF (1965)	3.77Kg/cm2	
EC5 KISHIDA (1969)	3.77Kg/cm2	
EC6 MUROMACHI (1974)	4.50Kg/cm2	
EC7 PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	4.11Kg/cm2	
EC8 KATANAKA Y UCHIDA (1996)	5.99Kg/cm2	
EC9 MONTENEGRO & GONZALES (2014)	3.46Kg/cm2	
Media Aritmética	4.63Kg/cm2	
<i>Desviación estandar</i>	1.214502175	
<i>Limite superior</i>	15.5600	
<i>Limite inferior</i>	-6.3000	

ENSAYO CON DPL CONVENCIONAL		C5
Nº ECUACIÓN	Qadm	
EC1 DUMHAM	4.84Kg/cm2	
EC2 TERZAGHI & PECK (1984)	3.19Kg/cm2	
EC3 OSAKI (1959)	2.41Kg/cm2	
EC4 MEYERHOF (1965)	2.64Kg/cm2	
EC5 KISHIDA (1969)	2.41Kg/cm2	
EC6 MUROMACHI (1974)	3.19Kg/cm2	
EC7 PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	2.90Kg/cm2	
EC8 KATANAKA Y UCHIDA (1996)	3.90Kg/cm2	
EC9 MONTENEGRO & GONZALES (2014)	2.41Kg/cm2	
Media Aritmética	3.10Kg/cm2	
<i>Desviación estandar</i>	0.773914693	
<i>Limite superior</i>	10.0650	
<i>Limite inferior</i>	-3.8650	

ENSAYO CON DPL CONVENCIONAL		C6
Nº ECUACIÓN	Qadm	
EC1 DUMHAM	5.78Kg/cm2	
EC2 TERZAGHI & PECK (1984)	3.38Kg/cm2	
EC3 OSAKI (1959)	2.79Kg/cm2	
EC4 MEYERHOF (1965)	2.79Kg/cm2	
EC5 KISHIDA (1969)	2.79Kg/cm2	
EC6 MUROMACHI (1974)	3.38Kg/cm2	
EC7 PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	3.07Kg/cm2	
EC8 KATANAKA Y UCHIDA (1996)	4.62Kg/cm2	
EC9 MONTENEGRO & GONZALES (2014)	2.79Kg/cm2	
Media Aritmética	3.49Kg/cm2	
<i>Desviación estandar</i>	0.980876223	
<i>Limite superior</i>	12.3180	
<i>Limite inferior</i>	-5.3380	

h) Resultados del ensayo de DPL artesanal:

Los ensayos con PDLA presentan resultados de capacidad de carga admisible superiores a los ensayados con DPL lo cual generan un margen de confiabilidad aplicable a una ecuación matemática de compensación. Igual que en el ensayo DPL, en este caso también

podemos observar que el suelo con menor capacidad de carga es el de la calicata C5.

Tabla 20.

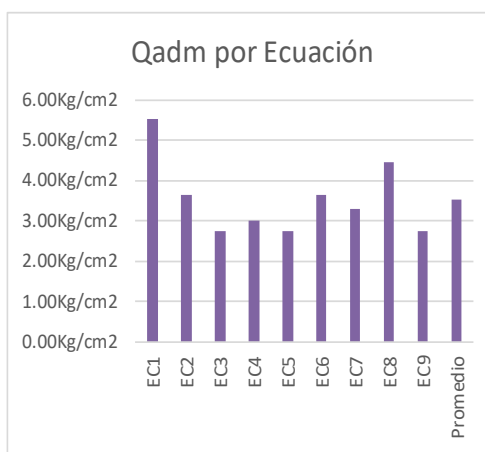
Resultados obtenidos del ensayo de DPL artesanal

ENSAYO CON DPL ARTESANAL - PDLA		C1
N° ECUACIÓN	Qadm	
EC1 DUMHAM	8.02Kg/cm2	
EC2 TERZAGHI & PECK (1984)	5.17Kg/cm2	
EC3 OSAKI (1959)	3.83Kg/cm2	
EC4 MEYERHOF (1965)	3.83Kg/cm2	
EC5 KISHIDA (1969)	3.83Kg/cm2	
EC6 MUROMACHI (1974)	4.67Kg/cm2	
EC7 PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	4.22Kg/cm2	
EC8 KATANAKA Y UCHIDA (1996)	6.40Kg/cm2	
EC9 MONTENEGRO & GONZALES (2014)	3.48Kg/cm2	
Media Aritmética	4.83Kg/cm2	
<i>Desviación estandar</i>	<i>1.415420859</i>	
<i>Limite superior</i>	<i>17.5700</i>	
<i>Limite inferior</i>	<i>-7.9090</i>	
ENSAYO CON DPL ARTESANAL - PDLA		C2
N° ECUACIÓN	Qadm	
EC1 DUMHAM	8.45Kg/cm2	
EC2 TERZAGHI & PECK (1984)	5.44Kg/cm2	
EC3 OSAKI (1959)	4.02Kg/cm2	
EC4 MEYERHOF (1965)	4.02Kg/cm2	
EC5 KISHIDA (1969)	4.02Kg/cm2	
EC6 MUROMACHI (1974)	4.91Kg/cm2	
EC7 PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	4.44Kg/cm2	
EC8 KATANAKA Y UCHIDA (1996)	6.74Kg/cm2	
EC9 MONTENEGRO & GONZALES (2014)	3.66Kg/cm2	
Media Aritmética	5.08Kg/cm2	
<i>Desviación estandar</i>	<i>1.492759103</i>	
<i>Limite superior</i>	<i>18.5150</i>	
<i>Limite inferior</i>	<i>-8.3550</i>	
ENSAYO CON DPL ARTESANAL - PDLA		C3
N° ECUACIÓN	Qadm	
EC1 DUMHAM	8.15Kg/cm2	
EC2 TERZAGHI & PECK (1984)	5.33Kg/cm2	
EC3 OSAKI (1959)	3.98Kg/cm2	
EC4 MEYERHOF (1965)	4.38Kg/cm2	
EC5 KISHIDA (1969)	3.98Kg/cm2	
EC6 MUROMACHI (1974)	4.82Kg/cm2	
EC7 PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	4.82Kg/cm2	
EC8 KATANAKA Y UCHIDA (1996)	6.55Kg/cm2	
EC9 MONTENEGRO & GONZALES (2014)	3.63Kg/cm2	
Media Aritmética	5.07Kg/cm2	
<i>Desviación estandar</i>	<i>1.365748521</i>	
<i>Limite superior</i>	<i>17.3620</i>	
<i>Limite inferior</i>	<i>-7.2220</i>	

ENSAYO CON DPL ARTESANAL - PDLA

C4

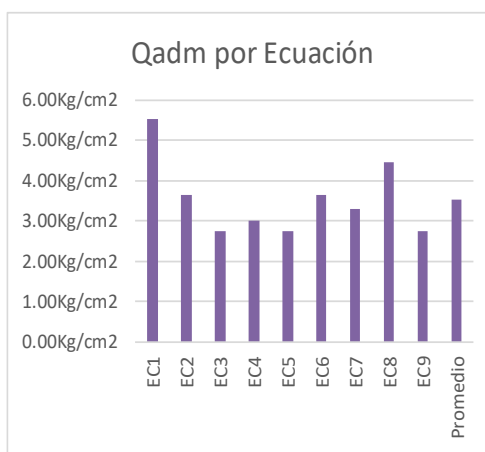
Nº ECUACIÓN	Qadm
EC1 DUMHAM	9.78Kg/cm ²
EC2 TERZAGHI & PECK (1984)	6.41Kg/cm ²
EC3 OSAKI (1959)	4.81Kg/cm ²
EC4 MEYERHOF (1965)	4.81Kg/cm ²
EC5 KISHIDA (1969)	4.81Kg/cm ²
EC6 MUROMACHI (1974)	5.81Kg/cm ²
EC7 PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	5.28Kg/cm ²
EC8 KATANAKA Y UCHIDA (1996)	7.87Kg/cm ²
EC9 MONTENEGRO & GONZALES (2014)	4.39Kg/cm ²
Media Aritmética	5.99Kg/cm²
<i>Desviación estandar</i>	1.678521157
<i>Limite superior</i>	21.0970
<i>Limite inferior</i>	-9.1170



ENSAYO CON DPL ARTESANAL - PDLA

C5

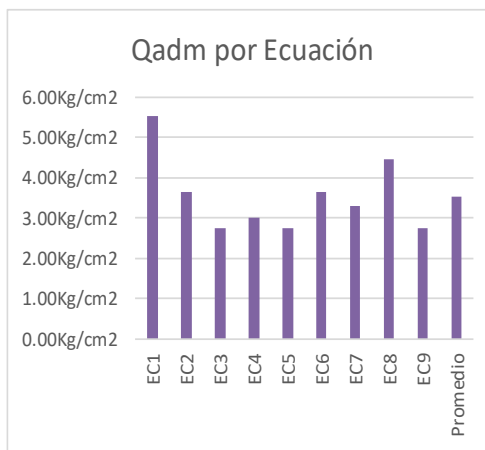
Nº ECUACIÓN	Qadm
EC1 DUMHAM	7.10Kg/cm ²
EC2 TERZAGHI & PECK (1984)	4.56Kg/cm ²
EC3 OSAKI (1959)	3.38Kg/cm ²
EC4 MEYERHOF (1965)	3.38Kg/cm ²
EC5 KISHIDA (1969)	3.38Kg/cm ²
EC6 MUROMACHI (1974)	4.12Kg/cm ²
EC7 PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	3.72Kg/cm ²
EC8 KATANAKA Y UCHIDA (1996)	5.66Kg/cm ²
EC9 MONTENEGRO & GONZALES (2014)	3.07Kg/cm ²
Media Aritmética	4.26Kg/cm²
<i>Desviación estandar</i>	1.254138585
<i>Limite superior</i>	15.5470
<i>Limite inferior</i>	-7.0270



ENSAYO CON DPL ARTESANAL - PDLA

C6

Nº ECUACIÓN	Qadm
EC1 DUMHAM	7.71Kg/cm ²
EC2 TERZAGHI & PECK (1984)	4.94Kg/cm ²
EC3 OSAKI (1959)	3.64Kg/cm ²
EC4 MEYERHOF (1965)	4.02Kg/cm ²
EC5 KISHIDA (1969)	3.64Kg/cm ²
EC6 MUROMACHI (1974)	4.94Kg/cm ²
EC7 PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	4.45Kg/cm ²
EC8 KATANAKA Y UCHIDA (1996)	6.13Kg/cm ²
EC9 MONTENEGRO & GONZALES (2014)	3.64Kg/cm ²
Media Aritmética	4.79Kg/cm²
<i>Desviación estandar</i>	1.290754683
<i>Limite superior</i>	16.4070
<i>Limite inferior</i>	-6.8270



➤ **Resumen de los resultados de la caracterización del suelo.**

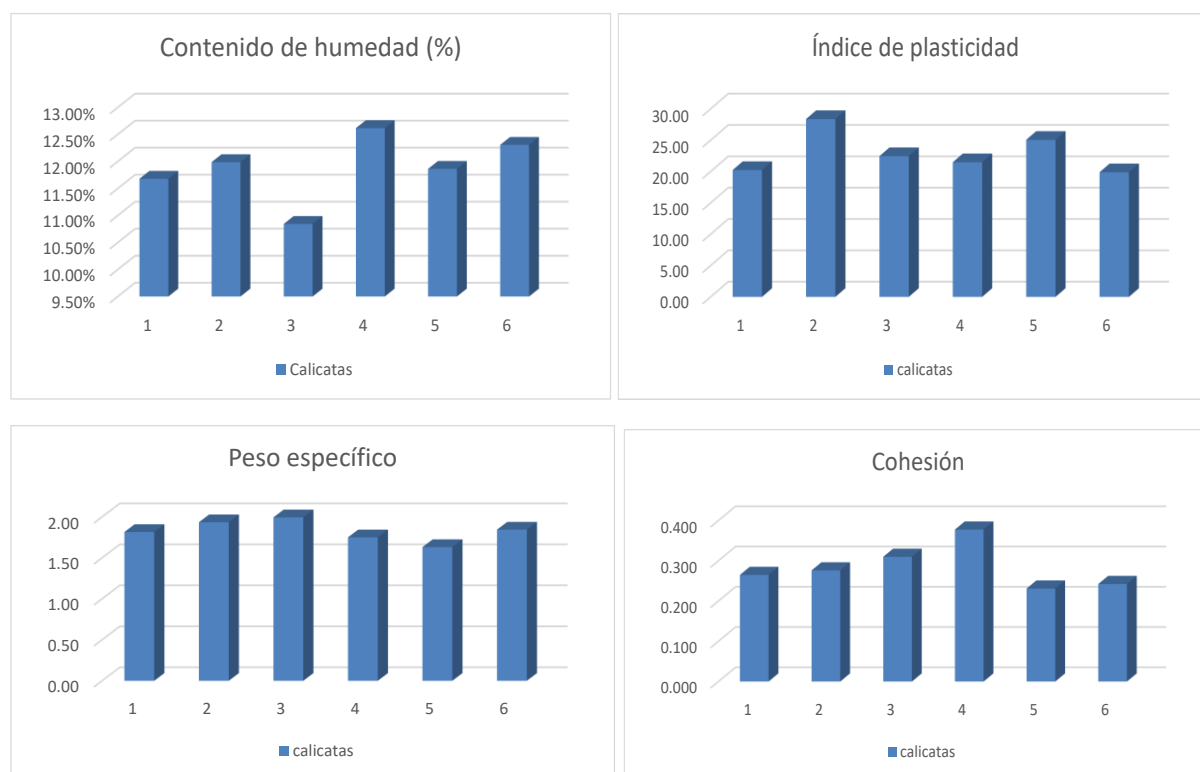
Tabla 21.

Resumen de resultados de la caracterización del suelo

Calicata	Contenido de humedad	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad	Peso específico	Cohesión
1	11.68%	57.14 %	36.90 %	20.23	1.81	0.265
2	11.99%	65.27 %	36.74 %	28.36	1.93	0.276
3	10.84%	59.35 %	37.86 %	22.45	1.99	0.310
4	12.62%	58.39 %	39.47 %	21.48	1.75	0.377
5	11.86%	61.96 %	21.94 %	25.05	1.63	0.231
6	12.31%	56.79 %	26.49 %	19.88	1.84	0.242
Media Aritmética	11.88%	59.81 %	33.24%	22.91	1.83	0.284
<i>Desviación estandar</i>	0.00555589	2.970293808	6.570837085	2.970293808	0.118425493	0.048948839
<i>Límite superior</i>	11.9130	77.6300	72.6700	40.7300	2.5406	0.5777
<i>Límite inferior</i>	11.8470	41.9900	-6.1850	5.0880	1.1194	-0.0097

Figura 24.

Gráfico de los resultados de Contenido de humedad, Índice de plasticidad, peso específico y cohesión.



➤ **Resultados de la determinación de la capacidad de carga con DPL convencional**

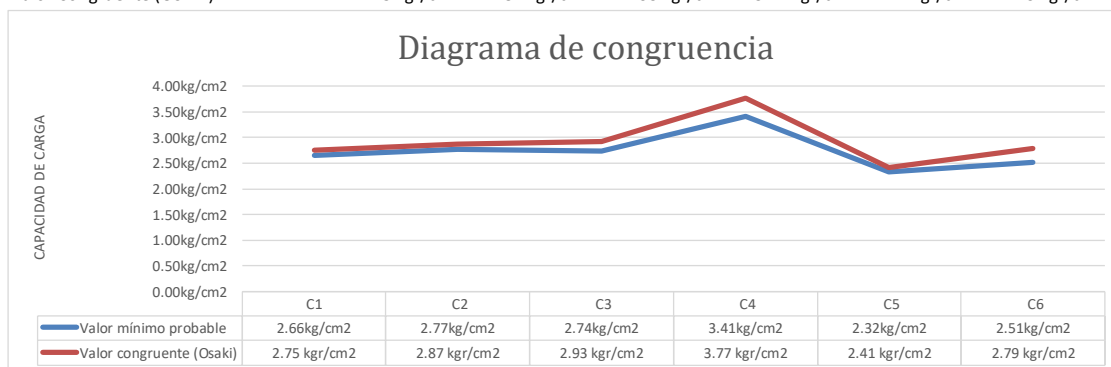
Tabla 22.

Resumen de resultados de la determinación de la capacidad con el DPL convencional.

		Calicata					
		1	2	3	4	5	6
Capacidad de carga del suelo	DUMHAM	5.52 kgr/cm ²	5.78 kgr/cm ²	5.72 kgr/cm ²	7.36 kgr/cm ²	4.84 kgr/cm ²	5.78 kgr/cm ²
	TERZAGHI & PECK (1984)	3.64 kgr/cm ²	3.81 kgr/cm ²	3.83 kgr/cm ²	4.94 kgr/cm ²	3.19 kgr/cm ²	3.38 kgr/cm ²
	OSAKI (1959)	2.75 kgr/cm ²	2.87 kgr/cm ²	2.93 kgr/cm ²	3.77 kgr/cm ²	2.41 kgr/cm ²	2.79 kgr/cm ²
	MEYERHOF (1965)	3.01 kgr/cm ²	3.15 kgr/cm ²	3.19 kgr/cm ²	3.77 kgr/cm ²	2.64 kgr/cm ²	2.79 kgr/cm ²
	KISHIDA (1969)	2.75 kgr/cm ²	2.87 kgr/cm ²	2.93 kgr/cm ²	3.77 kgr/cm ²	2.41 kgr/cm ²	2.79 kgr/cm ²
	MUROMACHI (1974)	3.64 kgr/cm ²	3.81 kgr/cm ²	3.50 kgr/cm ²	4.50 kgr/cm ²	3.19 kgr/cm ²	3.38 kgr/cm ²
	PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	3.31 kgr/cm ²	3.46 kgr/cm ²	3.50 kgr/cm ²	4.11 kgr/cm ²	2.90 kgr/cm ²	3.07 kgr/cm ²
	KATANAKA Y UCHIDA (1996)	4.45 kgr/cm ²	4.66 kgr/cm ²	4.66 kgr/cm ²	5.99 kgr/cm ²	3.90 kgr/cm ²	4.62 kgr/cm ²
	MONTENEGRO & GONZALES (2014)	2.75 kgr/cm ²	2.87 kgr/cm ²	2.69 kgr/cm ²	3.46 kgr/cm ²	2.41 kgr/cm ²	2.79 kgr/cm ²

Considerando los múltiples resultados obtenidos según la ecuación, procedemos a seleccionar el método matemático más confiable según el siguiente análisis inferencial:

		Calicata					
		1	2	3	4	5	6
Capacidad de carga del suelo	DUMHAM	5.52 kgr/cm ²	5.78 kgr/cm ²	5.72 kgr/cm ²	7.36 kgr/cm ²	4.84 kgr/cm ²	5.78 kgr/cm ²
	TERZAGHI & PECK (1984)	3.64 kgr/cm ²	3.81 kgr/cm ²	3.83 kgr/cm ²	4.94 kgr/cm ²	3.19 kgr/cm ²	3.38 kgr/cm ²
	OSAKI (1959)	2.75 kgr/cm ²	2.87 kgr/cm ²	2.93 kgr/cm ²	3.77 kgr/cm ²	2.41 kgr/cm ²	2.79 kgr/cm ²
	MEYERHOF (1965)	3.01 kgr/cm ²	3.15 kgr/cm ²	3.19 kgr/cm ²	3.77 kgr/cm ²	2.64 kgr/cm ²	2.79 kgr/cm ²
	KISHIDA (1969)	2.75 kgr/cm ²	2.87 kgr/cm ²	2.93 kgr/cm ²	3.77 kgr/cm ²	2.41 kgr/cm ²	2.79 kgr/cm ²
	MUROMACHI (1974)	3.64 kgr/cm ²	3.81 kgr/cm ²	3.50 kgr/cm ²	4.50 kgr/cm ²	3.19 kgr/cm ²	3.38 kgr/cm ²
	PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	3.31 kgr/cm ²	3.46 kgr/cm ²	3.50 kgr/cm ²	4.11 kgr/cm ²	2.90 kgr/cm ²	3.07 kgr/cm ²
	KATANAKA Y UCHIDA (1996)	4.45 kgr/cm ²	4.66 kgr/cm ²	4.66 kgr/cm ²	5.99 kgr/cm ²	3.90 kgr/cm ²	4.62 kgr/cm ²
	MONTENEGRO & GONZALES (2014)	2.75 kgr/cm ²	2.87 kgr/cm ²	2.69 kgr/cm ²	3.46 kgr/cm ²	2.41 kgr/cm ²	2.79 kgr/cm ²
Media Aritmética	3.54kg/cm ²	3.70kg/cm ²	3.66Kg/cm ²	4.63Kg/cm ²	3.10kg/cm ²	3.49Kg/cm ²	
Desviación estandar	0.88001401	0.92247604	0.917396596	1.214502175	0.77	0.980876223	
Límite superior	11.46000	12.00	11.9170	15.5600	10.07	12.3180	
Límite inferior	-4.38000	-4.60	-4.5970	-6.3000	-3.87	-5.3380	
Valor Mínimo Probable	2.66kg/cm²	2.77kg/cm²	2.74kg/cm²	3.41kg/cm²	2.32kg/cm²	2.51kg/cm²	
Valor Congruente (Osaki)	2.75 kgr/cm ²	2.87 kgr/cm ²	2.93 kgr/cm ²	3.77 kgr/cm ²	2.41 kgr/cm ²	2.79 kgr/cm ²	



De los resultados del análisis podemos concluir que la ecuación más congruente para esta investigación corresponde a la de OSAKI considerando los siguientes resultados:

Tabla 23.

Resumen de resultados de la determinación de la capacidad con el DPL convencional por OSAKI.

	Calicata					
	1	2	3	4	5	6
Capacidad de Carga del suelo (Osaki)	2.75 kgr/cm ²	2.88 kgr/cm ²	2.93 kgr/cm ²	3.77 kgr/cm ²	2.41 kgr/cm ²	2.79 kgr/cm ²

➤ **Resultados de la determinación de la capacidad de carga con DPL Artesanal (PDLA)**

Tabla 24.

Resultados de la determinación de la capacidad con el DPL artesanal usando la ecuación de diferentes autores

	Calicata					
	1	2	3	4	5	6
DUMHAM	8.02 kgr/cm ²	8.45 kgr/cm ²	8.15 kgr/cm ²	9.78 kgr/cm ²	7.10 kgr/cm ²	7.71 kgr/cm ²
TERZAGHI & PECK (1984)	5.17 kgr/cm ²	5.44 kgr/cm ²	5.33 kgr/cm ²	6.41 kgr/cm ²	4.56 kgr/cm ²	4.94 kgr/cm ²
OSAKI (1959)	3.83 kgr/cm ²	4.02 kgr/cm ²	3.98 kgr/cm ²	4.81 kgr/cm ²	3.38 kgr/cm ²	3.64 kgr/cm ²
MEYERHOF (1965)	3.83 kgr/cm ²	4.02 kgr/cm ²	4.38 kgr/cm ²	4.81 kgr/cm ²	3.38 kgr/cm ²	4.02 kgr/cm ²
KISHIDA (1969)	3.83 kgr/cm ²	4.02 kgr/cm ²	3.98 kgr/cm ²	4.81 kgr/cm ²	3.38 kgr/cm ²	3.64 kgr/cm ²
MUROMACHI (1974)	4.67 kgr/cm ²	4.91 kgr/cm ²	4.82 kgr/cm ²	5.81 kgr/cm ²	4.12 kgr/cm ²	4.94 kgr/cm ²
PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	4.22 kgr/cm ²	4.44 kgr/cm ²	4.82 kgr/cm ²	5.28 kgr/cm ²	3.72 kgr/cm ²	4.45 kgr/cm ²
KATANAKA Y UCHIDA (1996)	6.40 kgr/cm ²	6.74 kgr/cm ²	6.55 kgr/cm ²	7.87 kgr/cm ²	5.66 kgr/cm ²	6.13 kgr/cm ²
MONTENEGRO & GONZALES (2014)	3.48 kgr/cm ²	3.66 kgr/cm ²	3.63 kgr/cm ²	4.39 kgr/cm ²	3.07 kgr/cm ²	3.64 kgr/cm ²

Análisis de resultados

➤ **Análisis de resultados de la exploración de campo.**

Analizando los resultados de la tabla 80, para las calicatas N° 01, 02, 03, 04, 05 y 06 de dimensiones 0.60 m x 1.20 m x 1.00 m de profundidad, según se evidencian los estratos y resultados de la granulometría; se puede observar que las muestras en estudio corresponden a suelos cohesivos tal y como se plantea en la presente investigación. Así mismo, en base a su clasificación podemos interpretar que estos suelos presentan contenidos considerables de arcilla de plasticidad media – alta mezclada con arena. Así mismo, los datos

de prospección indican que no se presenta nivel freático en ninguna de las calicatas.

➤ **Análisis de resultados de la caracterización del suelo.**

Análisis de resultados del contenido de humedad.

Analizando los resultados de la tabla 81, para las calicatas N° 01, 02, 03, 04, 05 y 06, se puede ver que la mayoría de los suelos muestreados presentan un contenido de humedad congruente entre sí, como se observa en la tabla N°55.

Tabla 25.

Análisis de resultados del contenido de humedad

Contenido de humedad en porcentajes (%)	
Calicata	Contenido de humedad (%)
1	11.68%
2	11.99%
3	10.84%
4	12.62%
5	11.86%
6	12.31%
Promedio	11.88%

De las cuales el contenido de humedad promedio es 11.88% lo cual indica que el suelo presenta poca humedad, esto es de suponer ya que nos encontramos en época de sequía. Así mismo podemos estimar que la baja humedad aumentará la capacidad de carga del suelo debido a su cohesión.

Análisis de resultados del índice de plasticidad.

Analizando los resultados de la tabla 81, para las calicatas N° 01, 02, 03, 04, 05 y 06, respecto a los límites de consistencia, se puede ver que los límites líquidos y plástico son altos, así mismo que la variación promedio entre ambos es superior al 20% (índice de plasticidad), lo cual nos deja en evidencia que los suelos son altamente cohesivos conformados sobre todo por arcilla de plasticidad media.

Análisis de resultados del peso específico.

La determinación del peso específico del suelo se realizó con muestras de suelo húmedo natural con el objetivo de utilizar los resultados en la determinación de la capacidad de carga del suelo.

Tal como se muestra en la tabla 81, los pesos específicos varían entre 1.75 a 1.99 los cual nos indica la relación que existe entre el peso sobre el volumen, entendiéndose que estas muestras en su mayoría presentan una densidad relativamente media.

Análisis de resultados del ensayo de corte directo.

Si bien es cierto, el ensayo de corte directo nos brinda el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo, sin embargo, el objetivo específico de este ensayo en la presente investigación es únicamente la obtención de la cohesión por ser un dato indispensable para determinar la capacidad de carga usando DPLs.

El ángulo de fricción interna obtenido por este ensayo no será considerado en la determinación de la capacidad de carga, ya que se utilizarán métodos y fórmulas matemáticas de diferentes autores para la obtención del mismo.

Siendo así, analizando los resultados expuestos en la Tabla 81, se puede apreciar cohesiones entre 0.231 y 0.377 lo cual nos indica que los suelos muestreados son bastante cohesivos debido a su conformación, en gran parte de arcilla.

➤ **Análisis de resultados de la determinación de la capacidad de carga con DPL convencional**

Analizando los resultados de la tabla 23, para las calicatas N° 01, 02, 03, 04, 05 y 06, se puede observar que las zonas en ensayo presentan capacidades de carga regularmente resistentes ya que superan los 2.4 kgr/cm², esto es de esperar ya que son suelos cohesivos con baja presencia de humedad.

➤ **Análisis de resultados de la determinación de la capacidad de carga con DPL Artesanal (DPLA)**

Como se muestra en la tabla 24, se ha determinado la capacidad de carga del suelo en 6 calicatas con el ensayo DPL artesanal (PDLA). A diferencia del DPL convencional, estos fueron ensayados dentro de la calicata, a una profundidad de 1.00 m. Así mismo, adicionalmente al uso de la teoría de Terzaghi, se utilizaron nueve fórmulas matemáticas para el cálculo del ángulo de fricción interna de diferentes autores con el fin de tratar de identificar un resultado de capacidad de carga similar al del DPL convencional.

En la tabla siguiente se muestra una comparación de resultados entre los ensayos DPL convencional y artesanal, identificando en este último la ecuación matemática que más similitud guarda.

Tabla 26.

Comparación de resultados entre el ensayo con el DPL convencional y artesanal

Ecuación	DPL Convencional (KGr/cm2)			DPL Artesanal - PDLA (Kgr/cm2)							
	OSAKI	DUMHAM	TERZAGHI & PECK (1984)	OSAKI (1959)	MEYERHOF (1965)	KISHIDA (1969)	MUROMACHI (1974)	PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	KATANAKA Y UCHIDA (1996)	MONTENEGRO & GONZALES (2014)	
Calicata N°01	2.75	8.02	5.17	3.83	3.83	3.83	4.67	4.22	6.40	3.48	
Calicata N° 02	2.88	8.45	5.44	4.02	4.02	4.02	4.91	4.44	6.74	3.66	
Calicata N° 03	2.93	8.15	5.33	3.98	4.38	3.98	4.82	4.82	6.55	3.63	
Calicata N° 04	3.77	9.78	6.41	4.81	4.81	4.81	5.81	5.28	7.87	4.39	
Calicata N° 05	2.41	7.10	4.56	3.38	3.38	3.38	4.12	3.72	5.66	3.07	
Calicata N° 06	2.79	7.71	4.94	3.64	4.02	3.64	4.94	4.45	6.13	3.64	

Como se observa en la tabla 26, el resultado de capacidad de carga con el ensayo de DPL artesanal que más relación guarda con el DPL convencional es con la ecuación planteada por Montenegro & Gonzales en 2014, con la variación detallada en la siguiente tabla:

Tabla 27.

Resultados de la capacidad de carga con el DPL convencional con la ecuación de OSAKI y DPL artesanal con la ecuación de Montenegro & Gonzales

Ecuación	DPL Convencional (KGr/cm ²)	DPL Artesanal - PDLA (Kgr/cm ²)	VARIACIÓN
	OSAKI	MONTENEGRO & GONZALES (2014)	
Calicata N°01	2.75	3.48	0.73
Calicata N° 02	2.88	3.66	0.78
Calicata N° 03	2.93	3.63	0.71
Calicata N° 04	3.77	4.39	0.62
Calicata N° 05	2.41	3.07	0.66
Calicata N° 06	2.79	3.64	0.85

De la analogía mostrada en la tabla 27, podemos deducir el siguiente gráfico:

Figura 25.

Capacidad de carga del suelo con PDL convencional y artesanal (Osaki-Montenegro & Gonzales)

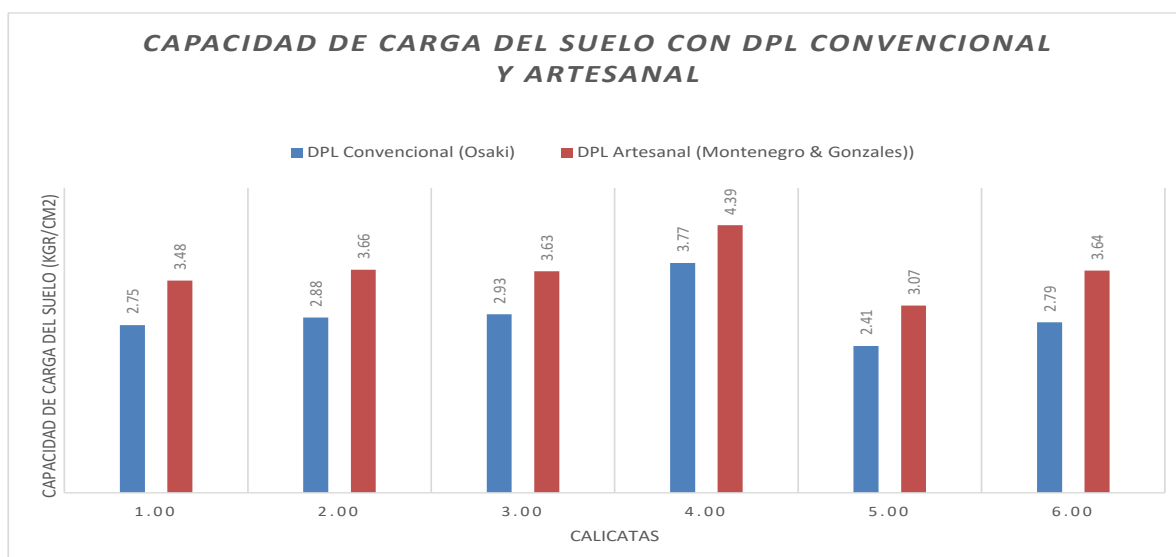
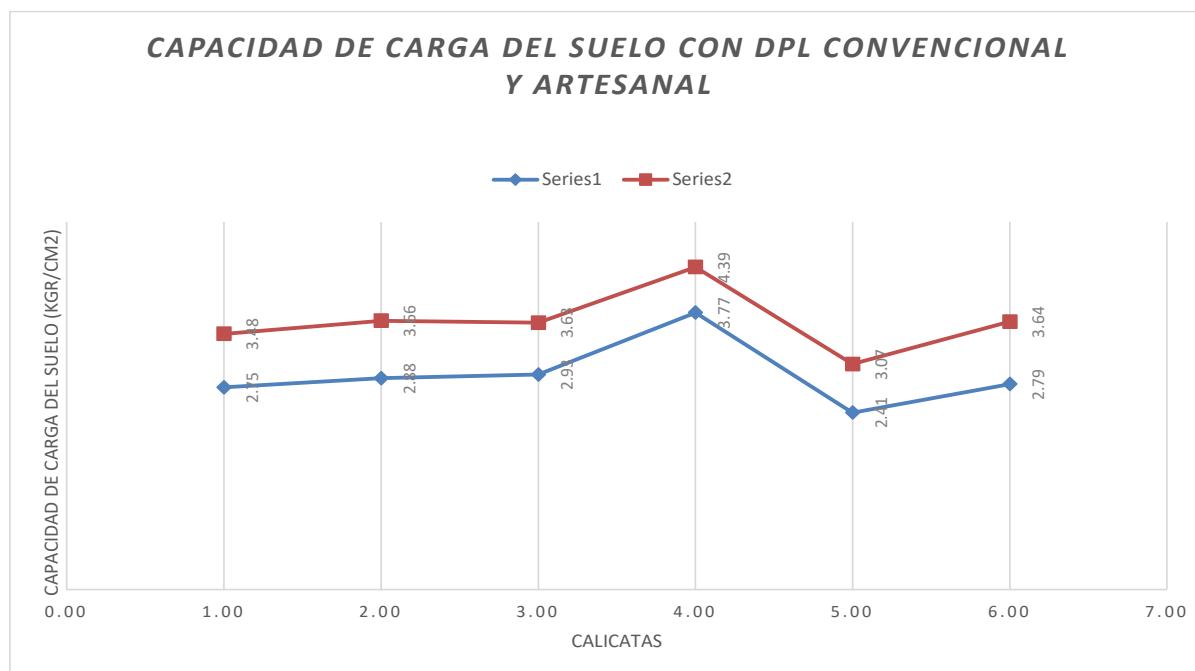
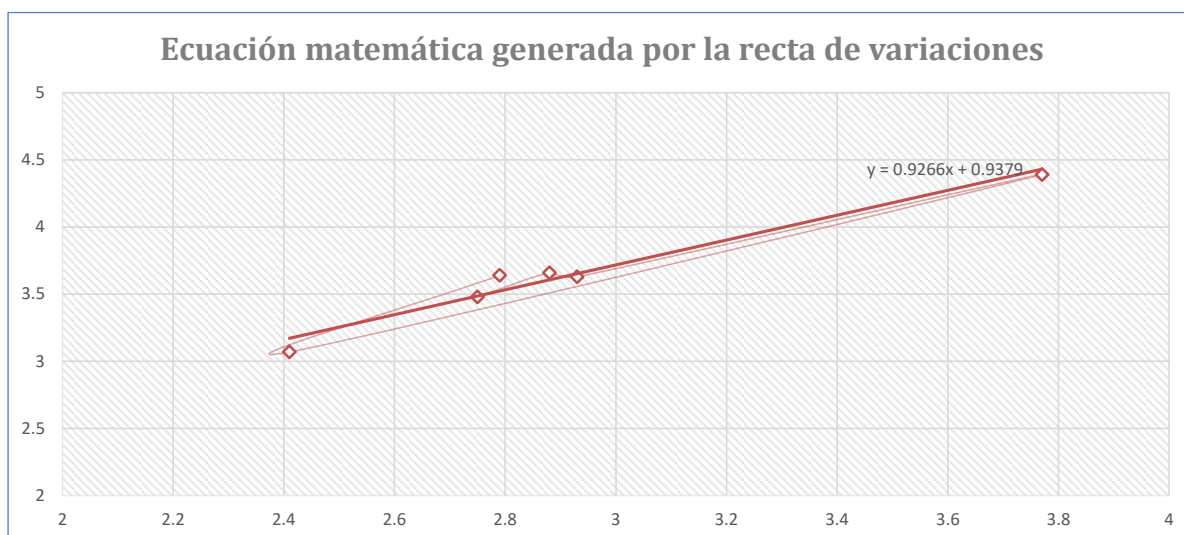


Figura 26.

Variación de la capacidad de carga del suelo con DPL convencional y artesanal (Osaki - Montenegro & Gonzales)

**Figura 27.**

Ecuación matemática de la variación de resultados (Osaki - Montenegro & Gonzales)



En la tabla 27 se puede ver una constante de 0.724 kgr/cm² adicional en el ensayo PDL artesanal respecto al convencional, por lo que para el Uso comercial del DPL artesanal (PDLA) se plantea las siguientes condiciones:

- a) El ensayo se realizará dentro de la calicata.

- b) El ángulo de fricción interna del suelo se determinará con la ecuación matemática de Montenegro & Gonzales).
- c) La Determinación de la capacidad de carga última del suelo se determinará aplicando la teoría de Terzaghi.
- d) La determinación de capacidad de carga admisible del suelo se determinará considerando un factor de seguridad de 3 (FS=3), esto de acuerdo a la norma E.050 Suelos y cimentaciones.
- e) La ecuación de la determinación del ángulo de fricción para la capacidad de carga admisible compensada del suelo será:

$$Q_{admPDLA} = (0.9266(Q_{admMG}) + 0.9379) - f_c$$

Donde:

- $Q_{admPDLA}$ = Capacidad de carga admisible del suelo con ensayo PDLA.
- Q_{admMG} = Capacidad de Carga admisible del suelo con la ecuación de Montenegro y Gonzales.
- * F_c = Factor de compensación producto de la media aritmética de la variación de resultados equivalente a 0.724.
- 0.9266 y 0.9379 = valores generados por la ecuación de la recta de variaciones entre DPL y DPLA.

Respecto al análisis de costos para la ejecución de los ensayos DPL convencional y artesanal, se ha hecho un estudio de mercado para la adquisición de los equipos resultando el siguiente gráfico:

Figura 28.

Costos de adquisición de los equipos DPL convencional y artesanal

ADQUISICIÓN DEL DPL CONVENCIONAL (Penetrómetro dinámico ligero)			S/ 7,581.83	<p>Costo: DPL Convencional VS Artesanal</p> <p>5% 95%</p> <p>■ DPL Convencional ■</p>
Empresas distribuidoras				
JMR EQUIPOS S.A.C.	S/	7,648.50		
PINZUAR S.A.C.	S/	7,148.50		
RICELI S.R.L.	S/	7,948.50		
FABRICACIÓN DEL DPL ARTESANAL (Penetrómetro dinámico ligero artesanal - PDLA)			S/ 411.70	
Recursos				
Martillo de comba de acero de 25 libras	S/	85.00		
1.75 ml de fierro liso de 3/4"	S/	37.80		
Tudo circular de fierro LAC de 1"	S/	26.40		
0.60 ml de fierro corrugado de 3/8" para manijas	S/	12.50		
Servicio de fabricación	S/	250.00		

Del gráfico N°03 podemos visualizar que el DPL artesanal, por mucho, resulta ser más económico.

➤ **Discusión**

a) Discusión de la formulación interrogativa de los problemas:

Resultados del análisis de la capacidad de carga de suelos

cohesivos usando DPL convencional y artesanal:

Los datos obtenidos en la comparación de capacidad de carga de suelos cohesivos ensayados con DPL convencional y artesanal resultan congruentes entre sí usando ambos la teoría de Terzaghi y ecuaciones matemáticas de determinación del ángulo de fricción interna diferentes para cada ensayo; En el ensayo con DPL convencional se aplica la fórmula matemática de Osaki, y en el ensayo con DPL artesanal la fórmula matemática de Montenegro & Gonzales. Así mismo la aplicación del ensayo con DPL artesanal está sujeto al uso de una ecuación de compensación.

b) Análisis de la eficacia en la obtención de la capacidad de carga de

suelos cohesivos: Si bien es cierto, el ensayo con DPL convencional, al ser un ensayo normalizado presenta un procedimiento de cálculo

mecánico, simple que facilita la obtención de resultados en gabinete, Sin embargo, al mismo tiempo presenta ciertas dificultades en los ensayos de campo debido a que el penetrómetro tiene un eje armado considerablemente largo lo que dificulta el transporte, ensamblaje, penetración y extracción del del equipo. Por otro lado, el ensayo con DPL artesanal resulta ser más eficaz debido a que el equipo no requiere ensamblaje, la penetración y la extracción es rápida por su penetrómetro de 1.00 m de largo, respecto al procedimiento de cálculo, resulta muy similar a la del DPL convencional con la adición de una ecuación de compensación.

c) Correlación matemática generada por la comparación de resultados de la capacidad de carga de suelos cohesivos:

Efectivamente existe una correlación matemática producto de una variación constante en todos los ensayos que permite elaborar una fórmula de compensación.

d) Corrección de los resultados generados por la comparación de los ensayos de la capacidad de carga de suelos cohesivos:

La identificación de una variación constante en todos los resultados de ensayo DPL convencional respecto al ensayo DPL artesanal, nos permitirá formular una ecuación matemática de corrección que nos ayude a llegar al mismo resultado.

e) Viabilidad económica de los ensayos DPL convencional y DPL artesanal:

Analizando el gráfico N° 30, podemos visualizar que el equipo DPL convencional normalizado ya cuenta con un precio casi fijo en el mercado que bordea los s/ 7,500.00 (Siete mil quinientos con 00/100 soles), sin embargo, la adquisición de materiales y fabricación del equipo DPL artesanal en total tiene un costo de s/. 411.70

(Cuatrocientos once con 70/100 soles), lo cual el costo, es por mucho inferior al DPL convencional.

- f) Discusión de la formulación de los objetivos: Proceso de determinación del análisis de capacidad de carga de suelos cohesivos con DPL convencional y artesanal:** En definitiva, nuestro principal objetivo fue conocer el resultado de la capacidad de carga por medio de los dos ensayos procesos mecánicos in situ y de laboratorio en base a la norma y aplicando fórmulas matemáticas para la determinación del ángulo de fricción y la teoría de Terzaghi para la capacidad de carga. Si bien, para el caso del DPL normalizado se usó solo la ecuación de Osaki, fue porque los resultados fueron los más conservadores según el análisis inferencial, mientras que en el PDLA se usó nueve ecuaciones con el fin de identificar el resultado más congruente al planteado por el PDL.
- g) Proceso de identificación de la eficacia de los dos ensayos en la obtención de la capacidad de carga de suelos cohesivos:** El proceso de identificación del ensayo más eficaz en la presente investigación fue crucial, ya que pretender que el PDLA sea más eficaz que el DPL normalizado nos permite viabilizar de mejor manera la hipótesis planteada.
- h) Proceso de identificación de la correlación matemática de la comparación de resultados de capacidad de carga de suelos cohesivos usando DPL convencional y artesanal:** Si bien, la comparación de resultados entre los dos ensayos nos permitió conocer el factor promedio de variación, esto no era suficiente, ya que el objetivo estaba basado en plantear un método matemático para poder obtener una fórmula adecuada que nos permita compensar de manera adecuada los resultados del PDLA. En ese sentido la decisión más

adecuada fue determinar la ecuación matemática a través de la prolongación de una recta a partir de los resultados para finalmente a esta fórmula descontar la media aritmética de la variación generada entre los resultados.

- i) Proceso de identificación de la ecuación de corrección en los cálculos de capacidad de carga de suelos cohesivos entre DPL convencional y artesanal:** En definitiva, la ecuación de corrección determinada nos permite compensar la variación que presenta el ensayo PDLA respecto al ensayo DPL considerando los resultados más conservadores tomando en cuenta lo planteado por Montenegro y Gonzales.
- j) Proceso de identificación del ensayo más económico usando DPL convencional y artesanal:** Para dar viabilidad a la hipótesis planteada en la presente investigación es muy importante sustentar que el ensayo DPLA es mucho más económico, en ese entender se ha realizado una serie de cotizaciones a los diferentes laboratorios de la región con el fin de conocer los costos de ensayo del DPL. Así mismo, respecto del DPLA, se ha calculado el costo de fabricación y ensayo.
- k) De los antecedentes:** De la mucha información identificada en los antecedentes, la mayoría plantea la viabilidad del uso del DPL normalizado en los ensayos de estudio de suelos con fines de cimentación, sin embargo, en muchos de los casos, se menciona la parcial complejidad que representa ejecutar el ensayo, así mismo la dependencia de los laboratorios para poder acceder al equipo. En cambio, el presente equipo planteado (PDLA) es un equipo simple y fácil de usar, fabricado de manera artesanal lo cual lo hace accesible a todo usuario y fácil de transportar.

VI. Conclusiones

Conclusión 1:

Hipótesis general:

Se pudo comprobar que efectivamente existe un resultado en el análisis comparativo de capacidad de carga de suelos cohesivos donde el uso del DPL artesanal es mejor que el convencional por las siguientes razones:

- El equipo del DPL artesanal resulta ser más efectivo que el DPL convencional, debido a que cuenta con un penetrómetro de 1.00 m de longitud que le permite venir ya armado, así mismo la longitud corta le permite penetrar de manera rápida en el estrato.
- El ensayo con DPL artesanal requiere una penetración dentro de la calicata lo cual le da mayor ventaja en el alcance respecto al DPL convencional que exige que la penetración sea desde la superficie. Si bien es cierto, la penetración desde el nivel superficial se debe a la conservación de la densidad del estrato, el DPL artesanal cuenta con una punta de ángulo mayor (50°) que le permite realizar la penetración desde dentro de la calicata.
- El costo de adquisición del Equipo DPL artesanal es mucho más económico que el convencional.
- El trabajo en gabinete de la determinación de la capacidad de carga con el ensayo DPL artesanal es similar al del DPL convencional con la única adición de una fórmula matemática de compensación que le permite llegar al mismo resultado.

Conclusión 2:

H.E.1. Se pudo comprobar que la obtención del resultado de capacidad de carga del suelo es mucho más eficaz con el ensayo DPL artesanal ya que para la determinación del ángulo de fricción interna del suelo se aplica una ecuación matemática más reciente (Montenegro & Gonzales 2014), así mismo la aplicación de la ecuación de compensación “qadmc” planteada en esta investigación nos permite llegar al mismo resultado.

Conclusión 3:

H.E.2. Se pudo comprobar que existe una correlación matemática de 0.724 kgr/cm² en la comparación entre los ensayos DPL convencional y artesanal.

Conclusión 4:

H.E.3. Se pudo comprobar que para la corrección de los resultados de la capacidad de carga de suelos cohesivos utilizando los ensayos DPL convencional y artesanal existe la siguiente ecuación matemática:

$$Q_{admPDLA} = (0.9266(Q_{admMG}) + 0.9379) - f_c$$

Donde:

- $Q_{admPDLA}$ = Capacidad de carga admisible del suelo con ensayo PDLA.
- Q_{admMG} = Capacidad de Carga admisible del suelo con la ecuación de Montenegro y Gonzales.
- * f_c = Factor de compensación producto de la media aritmética de la variación de resultados equivalente a 0.724.
- 0.9266 y 0.9379 = valores generados por la ecuación de la recta de variaciones entre DPL y DPLA.

Conclusión 5:

H.E.4. Considerando el gráfico N° 30, en definitiva, el ensayo con DPL artesanal resulta mucho más económico que el ensayo con DPL convencional.

VII. Recomendaciones

- Considerar que el ensayo con DPL artesanal solo aplica a suelos cohesivos con presencia de arcilla de plasticidad media – alta arenosa, no aplica a suelos granulares no cohesivos.
- El método de determinación del ángulo de fricción interna para los ensayos con DPL artesanal será única y exclusivamente con el que plantea “Montenegro & Gonzales”, esto debido a que la ecuación de compensación matemática se basa en dichos autores.
- Tomar en cuenta que; En el ensayo de corte directo, se obtienen dos resultados, el ángulo de fricción interna del suelo y la cohesión, sin embargo, este ángulo de fricción interna no es el que se aplica en el ensayo del DPL artesanal, sino, el que se obtiene con la ecuación de “Montenegro & Gonzales”.
- Respecto al equipo DPL artesanal (PDLA), la pesa debe estar compuesta únicamente por una estructura de fierro conocida como comba comercial de 25 lbs, ya que la forma aerodinámica de este fue determinante para la formulación de la ecuación matemática de compensación.
- Si bien, en la presente investigación se plantea una excavación de 1.00 m de profundidad en la calicata y el alcance del estrato de 2.00 m (Incluyendo el 1.00 m del penetrómetro), se puede mejorar el alcance aumentando la profundidad de la calicata.
- Si se considera producir un DPL artesanal con un penetrómetro de mayor alcance, se recomienda calibrar el equipo mediante ensayos correlacionales con DPL convencional con el fin de ajustar la ecuación de compensación matemática.

VIII. Referencias

- Agustin Saavedra, P. C. (12 de Agosto de 2019). *Repositorio Universidad Cesar Vallejo*. Obtenido de Correlación del ensayo DPL y corte directo para determinar la capacidad portante del tipo de suelo en la localidad de Chazuta-San Martín: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39715>
- Bernal, C. A. (12 de Junio de 2018). *Metodología de la Investigación*. Obtenido de Metodología de la Investigación: <https://es.slideshare.net/anitix/mtodos-de-investigacin-cesar-augusto-bernal>
- Bombilla Aragon, R. H. (2024). *Estudio de suelos con fines de Cimentación para la Obra Mejoramiento del servicio de educación inicial en la I.E. N° 170 Maria Parado de Bellido, distrito de Huancarani, Paucartambo*. Cusco: Consultora & Constructora SETCOM contratistas generales S.R.L.
- Carranza Morales, I. F., & Ponce Torres, A. F. (18 de Mayo de 2017). *Repositorio UPAO*. Obtenido de Estudio de zonificación geotécnica en el Sector III del Centro Poblado El Milagro para el diseño de cimentaciones superficiales: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/3559>
- Cotrina Velásquez, J. W. (22 de Octubre de 2016). *Repositorio Universidad Nacional de Cajamarca*. Obtenido de Zonificación geotécnica de los suelos de fundación, mediante el ensayo de corte directo y DPL en la urbanización Los Girasoles - Jaén - 2016: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1054>
- Cruz, J. (15 de Junio de 2017). *Estudio de Mecánica de suelos y Mapa de peligros de la ciudad de Ayabaca - Piura*. Obtenido de Determinación de la capacidad portante en suelos arenosos y arcillosos en Ayabaca - Piura: http://bvpad.indec.gov.pe/doc/estudios_CS/Region_Piura/ayabaca/ayabaca.pdf
- Das, B. M. (2018). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Séptima edición*. México D.F.: Data Color Impresores, S.A.
- Gonzales G., A. J. (12 de Diciembre de 2018). *CALCULO SIMPLIFICADO DE CAPACIDAD PORTANTE*. Obtenido de CALCULO SIMPLIFICADO DE CAPACIDAD PORTANTE: https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/calculo_simplificado_capacidad_portante.pdf

- Gutierrez Rodriguez, W. Á. (12 de Marzo - Abril de 2023). *Ciencia Latina Internacional*.
Obtenido de Ensayo granulométrico de los suelos mediante el método del tamizado:
file:///C:/Users/User/Downloads/5834-Texto%20del%20art%C3%ADculo-23077-1-
10-20230511.pdf
- Ibarra, K. A. (12 de Abril de 2019). *Repositorio Digital Institucional, Universidad Nacional del Comahue*. Obtenido de Caracterización geotécnica de un sector de la ciudad de Neuquén: <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/15549?show=full>
- Liendo, S. I. (2016). *Evaluación de capacidad portante de suelos cohesivos en el proyecto mejoramiento de la transitabilidad peatonal y vehicular en la Avenida Vilcanota del sector de Accosca, distrito de Calca, provincia de Calca*. Cusco: Pro&con Silver S.C.R.L.
- Macuchapi Cayo, R. (17 de Agosto de 2019). *Repositorio UMSA*. Obtenido de Estudio Geológico - geotécnico según la normativa del gobierno autónomo municipal de la paz y norma española: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/31990>
- Méndez Álvarez, c. E. (09 de Agosto de 2018). *Metodología de la Investigación*. Obtenido de Metodología de la Investigación: <https://www.alpha-editorial.com/Papel/9789587786606/Metodolog%C3%ADa+De+La+Investigaci%C3%B3n>
- Ortiz Yovera, S. C. (12 de Noviembre de 2020). *INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ*. Obtenido de ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN SUELOS ARENOSOS EMPLEANDO EL ENSAYO DPL Y SU APLICACIÓN EN LOS ESTUDIOS DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA GEOTÉCNICA - CASO CATACAOS: https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/13872_estimacion-de-parametros-de-resistencia-en-los-suelos-arenosos-empleando-el-ensayo-dpl-y-su-aplicacion-en-los-estudios-de-zonificacion-sismica-geotecn.pdf
- Salamanca Medina, E. L., & López Dominguez, J. J. (22 de Noviembre de 2021). *ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA SÚPER PESADA (DPSH): EQUIVALENCIA*. Obtenido de Dynamic Probing Super Heavy (DPSH): Equivalence for the Standard Penetration: [file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-EnsayoDePenetracionDinamicaSuperPesadaDPSH-8648877%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-EnsayoDePenetracionDinamicaSuperPesadaDPSH-8648877%20(1).pdf)
- Sierra Peña, J. J. (04 de Agosto de 2020). *ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO*. Obtenido de Capacidad portante de cimentaciones superficiales en suelos parcialmente saturados:

<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1238/Sierra%20Pe%C3%B1a%2C%20Johan%20Javier-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Yanapa Mamani, E. A., & Aquisé Calloapaza, J. C. (14 de Julio de 2018). *“Zonificación Geotécnica y capacidad portante para cimentaciones Superficiales en la Zona Noroeste de la Ciudad de Juliaca”*. Obtenido de “Zonificación Geotécnica y capacidad portante para cimentaciones Superficiales en la Zona Noroeste de la Ciudad de Juliaca”:

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UANT_54cab664030a8d8db993616781083e96

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes