

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEI SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE
TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“COMPARACIÓN DEL MÉTODO CONVENCIONAL CON EL
MÉTODO PENETRÓMETRO DE CAÍDA PARA LÍMITE
LÍQUIDO Y PLÁSTICO EN ARCILLAS DE BAJA
PLASTICIDAD”**

Por:

RUTH LEA BAUTISTA CONDORI

Proyecto presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEI SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Semestre II - 2024

TARIJA - BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE
TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“COMPARACIÓN DEL MÉTODO CONVENCIONAL CON EL
MÉTODO PENETRÓMETRO DE CAÍDA PARA LÍMITE
LÍQUIDO Y PLÁSTICO EN ARCILLAS DE BAJA
PLASTICIDAD”**

Por:

RUTH LEA BAUTISTA CONDORI

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV-502

Semestre II - 2024

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA

A Dios: Por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de mi vida.

Mis padres: Agustín y Mery, por su amor, compañía y su apoyo incondicional.

Mis hermanos: Gustavo, Noemi, Danner, por estar presentes en cada etapa y el amor que me brindan.

Mis bebés: Wyla y Max.

ÍNDICE

Advertencia
Pensamiento
Agradecimientos
Dedicatoria
Resumen

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes -----	1
1.2. Situación problemática -----	2
1.2.1. Problema -----	2
1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema -----	3
1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema -----	3
1.3. Justificación -----	3
1.4. Objetivos -----	4
1.4.1. Objetivo general -----	4
1.4.2. Objetivos específicos -----	4
1.5. Hipótesis -----	4
1.6. Operacionalización de las variables-----	5
1.6.1. Variable independiente -----	5
1.6.2. Variable dependiente -----	5
1.7. Identificación del tipo de investigación -----	5
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral -----	6
1.8.1. Unidad de estudio -----	6
1.8.2. Población-----	6
1.8.3. Muestra -----	6
1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo-----	6
1.9. Métodos y técnicas empleadas -----	6

	Página
1.9.1. Métodos -----	6
1.9.2. Técnicas -----	6
1.10. Procesamiento de la información -----	6
1.11. Alcance de la investigación -----	7

CAPÍTULO II

CONSIDERACIONES GENERALES DE LA PLASTICIDAD

2.1. Suelos -----	8
2.2. Arcillas -----	9
2.2.1. Composición mineralógica de las arcillas -----	9
2.3. Distribución granulométrica del suelo-----	16
2.3.1. Análisis granulométrico mediante mallas -----	17
2.4. Plasticidad y consistencia del suelo-----	17
2.4.1. Límite líquido (LL) -----	18
2.4.2. Límite plástico (LP)-----	19
2.4.3. Índice de plasticidad (IP) -----	19
2.5. Clasificación de los suelos de grano fino (SUCS) -----	19
2.6. Ensayos para determinar la plasticidad-----	21
2.6.1. Método convencional-----	21
a) Copa de Casagrande (LL) -----	21
b) Método de la mano o rollitos (LP)-----	23
2.6.2. Método penetrómetro de caída-----	24
a) Penetrómetro de caída (LL) -----	24
b) Penetrómetro de caída (LP) -----	25
2.7. Tipos de penetrómetro de caída-----	26
a) Penetrómetro de caída con cronómetro manual -----	26
b) Penetrómetro de caída semiautomático -----	27
c) Penetrómetro de caída digital -----	27

	Página
2.8. Tipos de cono	28
2.9. Caracterización de equipo	29
a) Características de los conos	32
b) Calibración del equipo	33
I. Marco referencial	34
II. Marco normativo	35

CAPÍTULO III

DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1. Muestreo	36
3.2. Caracterización de la arcilla	38
3.2.1. Contenido de humedad natural	38
3.2.2. Granulometría	41
3.2.3. Límites de plasticidad	46
3.2.3.1. Método convencional	47
a) Límite líquido (Copa de Casagrande)	47
b) Límite plástico (Método de la mano o rollitos)	51
3.2.3.2. Método penetrómetro de caída	54
a) Límite líquido	54
b) Límite plástico	63
c) Índice de plasticidad	71

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis de una variable	74
4.1.1. Límite líquido (MC)	74

	Página
4.1.2. Límite plástico (MC) -----	79
4.1.3. Límite líquido (MPC) -----	84
4.1.4. Límite plástico (MPC)-----	89
4.2. Comparación de los valores de límites entre métodos -----	94
4.2.1. LL (MC) y LL (MPC)-----	94
4.2.2. LP (MC) y LP (MPC) -----	96

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones -----	99
5.2. Recomendaciones -----	101

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1 – Caracterización de las arcillas.

ANEXO 2 – NORMA BRITÁNICA BS 1377:1990.

ANEXO 3 – Reporte fotográfico.

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. 1 Variable independiente	5
Tabla 1. 2 Variable dependiente.....	5
Tabla 2. 1 Límites de separación de tamaño de suelo.....	8
Tabla 2. 2 Tamaños estándar de tamices.....	17
Tabla 2. 3 Sistema unificado de clasificación del suelo.....	20
Tabla 2. 4 Resumen de las diferencias entre los conos (Budhu, 1985).....	28
Tabla 2. 5 Nombre de las partes del equipo	30
Tabla 3. 1 Coordenadas de los puntos de muestreo	36
Tabla 3. 2 Valores del contenido de humedad natural	39
Tabla 3. 3 Valores de la granulometría	44
Tabla 3. 4 Valores del LL con la Copa de Casagrande (MC).....	49
Tabla 3. 5 Valores del LP por método de la mano o rollitos (MC).....	52
Tabla 3. 6 Determinación del límite líquido (BS 1377:1990).....	60
Tabla 3. 7 Valores del LL con el penetrómetro de caída (MPC)	61
Tabla 3. 8 Determinación del límite plástico (Wood & Wroth)	68
Tabla 3. 9 Valores del LP con el penetrómetro de caída (MPC)	69
Tabla 3. 10 Valores del IP con el penetrómetro de caída (MPC)	71
Tabla 4. 1 Tabla completa de resumen.....	73
Tabla 4. 2 Valores del LL con la Copa de Casagrande (MC).....	74
Tabla 4. 3 Resumen Estadístico para LL (MC)	75
Tabla 4. 4 Tabla de Frecuencias para LL (MC).....	76
Tabla 4. 5 Valores del LP por método de la mano o rollitos (MC).....	79
Tabla 4. 6 Resumen Estadístico para LP (MC).....	80
Tabla 4. 7 Tabla de Frecuencias para LP (MC)	81
Tabla 4. 8 Valores del LL con el penetrómetro de caída (MPC)	84
Tabla 4. 9 Resumen Estadístico para LL (MPC)	85
Tabla 4. 10 Tabla de Frecuencias para LL (MPC).....	86
Tabla 4. 11 Valores del LP con el penetrómetro de caída (MPC)	89
Tabla 4. 12 Resumen Estadístico para LP (MPC).....	90

	Página
Tabla 4. 13 Tabla de Frecuencias para LP (MPC).....	91
Tabla 4. 14 Diferencia de los valores entre métodos LL (MC) y LL (MPC)	94
Tabla 4. 15 Diferencia de los valores entre métodos LP (MC) y LP (MPC).....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2. 1 Unidad del tetraedro	10
Figura 2. 2 Unidades tetraédricas.....	10
Figura 2. 3 Unidades octaédricas	10
Figura 2. 4 Lámina de gibsita.....	11
Figura 2. 5 Lámina de sílice sobre lámina octaédrica.....	11
Figura 2. 6 Capas de la caolinita.....	12
Figura 2. 7 Capas de la illita.....	13
Figura 2. 8 Capas de la montmorillonita.....	13
Figura 2. 9 Micrografía electrónica del tejido de la montmorillonita.....	14
Figura 2. 10 Capa doble difusa	15
Figura 2. 11 Agua atraída por la superficie de las partículas de arcilla	15
Figura 2. 12 Límites de Atterberg.....	18
Figura 2. 13 Carta de plasticidad SUCS.....	20
Figura 2. 14 Copa de Casagrande	22
Figura 2. 15 Ranurador	22
Figura 2. 16 Ranura en el centro de la superficie.....	23
Figura 2. 17 Masa de suelo en placa de vidrio esmerilado	24
Figura 2. 18 Penetrómetro de caída.....	25
Figura 2. 19 Cono de Georgia.....	26
Figura 2. 20 Cono hindú (Indian Central Road Research Institute).....	26
Figura 2. 21 Penetrómetro de caída digital semiautomático	27
Figura 2. 22 Penetrómetro de caída digital	28
Figura 2. 23 Esquema y partes del penetrómetro de caída.....	29
Figura 2. 24 Penetrómetro de caída (INGEOSUD)	29
Figura 2. 25 Esquema de la pantalla del equipo.....	30
Figura 2. 26 Pantalla del equipo (INGEOSUD).....	30
Figura 2. 27 Cono del penetrómetro de caída para el LL.....	32
Figura 2. 28 Cono del penetrómetro de caída para el LP.....	32
Figura 2. 29 Verificación de la punta del cono	33

	Página
Figura 3. 1 Ubicación de los puntos de muestreo	37
Figura 3. 2 Peso de la muestra natural	38
Figura 3. 3 Peso del suelo seco	38
Figura 3. 4 Peso de la muestra seca en horno	41
Figura 3. 5 Muestra para ser lavado	41
Figura 3. 6 Lavado de la muestra en el tamiz N° 200	42
Figura 3. 7 Muestra lavada en horno.....	42
Figura 3. 8 Muestra secada al horno	43
Figura 3. 9 Tamizado de la muestra lavada.....	43
Figura 3. 10 Suelo triturado que pasa el tamiz N° 40.....	46
Figura 3. 11 Suelo preparado para reposar.....	46
Figura 3. 12 Calibración de la Copa de Casagrande	47
Figura 3. 13 Colocado y ranurado del suelo	47
Figura 3. 14 N° de golpes y contenido de humedad.....	48
Figura 3. 15 Muestra con diferentes contenidos de humedad secada en horno	48
Figura 3. 16 Rollitos de 3.2 mm.....	51
Figura 3. 17 Contenido de humedad de los rollitos	51
Figura 3. 18 Muestra triturada.....	54
Figura 3. 19 Tamizado de la muestra	54
Figura 3. 20 Muestra con agua en reposo	55
Figura 3. 21 Equipo con cono de 80 g para el LL.....	55
Figura 3. 22 Verificación de la punta del cono para el LL	56
Figura 3. 23 Muestra en la copa para ensayar.....	56
Figura 3. 24 Cono en contacto con la superficie del suelo.....	57
Figura 3. 25 Muestra con dos penetraciones y tres penetraciones	57
Figura 3. 26 Área penetrada por el penetrómetro de caída	58
Figura 3. 27 Contenido de humedad de la muestra.....	58
Figura 3. 28 Gráfica lineal LL - OZ 1	60
Figura 3. 29 Muestra triturada para tamizar.....	63
Figura 3. 30 Muestra en reposo.....	63

	Página
Figura 3. 31 Equipo con cono de 240 g para el LP	64
Figura 3. 32 Verificación de la punta del cono para el LP.....	64
Figura 3. 33 Equipo programado a 5 segundos de penetración	65
Figura 3. 34 Dos o tres penetraciones dependiendo la especificación	65
Figura 3. 35 Muestra retirada alrededor de las penetraciones.....	66
Figura 3. 36 Contenido de humedad de las penetraciones	66
Figura 3. 37 Gráfica lineal LP - OZ 1	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 4. 1 Dispersión de los valores de LL (MC).....	74
Gráfico 4. 2 Caja y bigotes LL (MC).....	75
Gráfico 4. 3 Histograma de frecuencias LL (MC)	76
Gráfico 4. 4 Probabilidad normal LL (MC).....	77
Gráfico 4. 5 Dispersión de los valores de LP (MC).....	79
Gráfico 4. 6 Caja y bigotes LP (MC)	80
Gráfico 4. 7 Histograma de frecuencias LP (MC)	81
Gráfico 4. 8 Probabilidad normal LP (MC)	82
Gráfico 4. 9 Dispersión de los valores de LL (MPC)	84
Gráfico 4. 10 Caja y bigotes LL (MPC).....	85
Gráfico 4. 11 Histograma de frecuencia LL (MPC)	86
Gráfico 4. 12 Probabilidad normal LL (MPC).....	87
Gráfico 4. 13 Dispersión de los valores de LP (MPC).....	89
Gráfico 4. 14 Caja y bigotes LP (MPC).....	90
Gráfico 4. 15 Histograma de frecuencias LP (MPC)	91
Gráfico 4. 16 Probabilidad normal LP (MPC).....	92
Gráfico 4. 17 Variación de los valores de LL (MC) y LL (MPC)	94
Gráfico 4. 18 Variación de los valores de LP (MC) y LP (MPC).....	96