

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ZONIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, MEDIANTE
EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO, EN EL DISTRITO 10 DE LA CIUDAD
DE TARIJA”**

Por:

Cari Alfaro Edwin Gonzalo

Proyecto de Grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I -2025

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ZONIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, MEDIANTE
EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO, EN EL DISTRITO 10 DE LA CIUDAD
DE TARIJA”**

Por:

Cari Alfaro Edwin Gonzalo

Proyecto de Grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTONOMA
JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I -2025
TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA:

El presente trabajo está dedicado a mis padres Mario y Bertha de igual manera a mis hermanas, hermano y sobrinos por el apoyo, paciencia y amor incondicional que me brindaron durante el transcurso de la etapa universitaria.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Planteamiento del Problema	3
1.3.1 Formulación del Problema de Investigación	4
1.4 Hipótesis	5
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo General.....	5
1.5.2 Objetivo Especifico	5
1.6 Variables.....	5
1.6.1 Variable Dependiente	5
1.6.2 Variable Independiente.....	6
1.7 Métodos y Técnicas empleadas	6
1.7.1 Enfoque de la Investigación	6
1.7.2 Tipo de Investigación	6
1.7.3 Población y Muestra	6
1.7.3.1 Población	6
1.7.3.2 Muestra	7
1.8 Alcance de la Investigación.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Zonificación.....	8
2.1.1 Metodología de la Zonificación.....	8
2.1.2 Etapas de la Zonificación	9
2.1.3 Interpolación espacial	10
2.1.3.1 Interpolación IDW	10
2.2 Estudios de Mecánica de Suelos.....	11
2.3 Parámetros de Resistencia	12
2.3.1 Cohesión	12
2.4 Suelo	13
2.4.1 Tipos de suelos	14

2.4.2 Clasificación de los suelos.....	15
2.4.2.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	15
2.5 Exploración de Suelos	18
2.6 Criterio de falla Mohr-Coulomb.....	20
2.7 Prueba de Corte Directo	22
2.7.1 Aparato de Corte Directo.....	24
2.8 Aplicación de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna en la ingeniería civil.....	28
2.8.1 Estabilidad de taludes	28
2.8.2 Teoría de Terzaghi de la capacidad ultima de carga	29
2.9 Análisis Estadístico	32
2.9.1 Elemento de la estadística.....	32
2.9.1.1 Población	32
2.9.1.2 Muestra	32
2.9.2 Medidas de posición de tendencia central	33
2.9.2.1 Media aritmética	33
2.9.2.2 Mediana	33
2.9.2.3 Moda.....	33
2.9.2.4 Media Geométrica	33
2.9.3 Medidas de dispersión de datos	34
2.9.3.1 Rango.....	34
2.9.3.2 Desviación estándar	34
2.9.3.3 Varianza.....	34
2.9.3.4 Coeficiente de Variación	34
2.9.4 Medidas de posición relativa	35
2.9.4.1 Cuartiles y percentiles	35
2.9.5 Tipos de gráficos	35
2.9.5.1 Histograma	35
2.9.5.2 Diagrama de caja y bigotes.....	36
2.9.6 Distribución de Probabilidades.....	37
2.9.6.1 Distribución Normal	37
2.9.6.2 Distribución Logarítmica Normal	38
2.10 Ensayos de Laboratorio	39

2.10.1 Determinación en laboratorio del Contenido de Humedad de suelos (DESIGNACIÓN ASTM D2216)	39
2.10.2 Ensayo de Granulometría de suelos	41
(DESIGNACIÓN ASTM D422 AASHTO T88)	41
2.10.3 Limite Liquido de los suelos (ASTM D4318 AASHTO T89)	44
2.10.4 Limite Plástico e Índice de Plasticidad (ASTM D4318 AASHTO T90)	45
2.10.5 Ensayo de Resistencia al Corte Método de Corte Directo (CD) (ASTM D3080 AASHTO T236)	46
2.10.5.1 Procedimiento de ensayo	47
Suelo no cohesivo	47
2.10.5.2 Procedimiento de ensayo	49
Suelo Cohesivo	49
2.10.5.3 Cálculos	51

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

3.1 Ubicación Geográfica	53
3.2 Coordenas de ubicación de los puntos en estudio	54
3.3 Exploración de suelos	54
3.3.1 Toma de muestra	54
3.3.1.1 Muestreo Inalterado	54
3.3.1.2 Material utilizado	54
3.3.2 Procedimiento de extracción de la muestra	55
3.4 Contenido de Humedad (Documento referencial ASTM D2216)	58
3.5 Granulometría de Suelos (Documento referencial ASTM D422)	59
3.6 Peso Específico de Suelos (Documento referencial ASTM D854)	62
3.7 Limites de Atterberg (Documento referencial ASTM D4318)	63
3.7.1 Determinación del Límite Líquido de los Suelos	63
3.7.2 Determinación del Límite Plástico	64
3.8 Clasificación de los suelos	67
3.9 Resistencia al Corte Método de Corte Directo (CD, documento referencial AASTM D3080)	69
3.9.1 Preparación de la muestra	69

3.9.2 Ensamblaje de la muestra	70
3.9.3 Aplicación del esfuerzo	70
3.9.4 Llenado de agua.....	71
3.9.5 Verificación del equipo	72
3.9.6 Lectura del ensayo	72
3.9.7 Desmontaje de la caja de corte	72

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Introducción.....	76
4.2 Contenido de Humedad	76
4.3 Análisis Granulométrico.....	77
4.4 Análisis de los Límites de Atterberg	78
4.4.1 Correlación del Índice de Plasticidad y el Límite Líquido.....	80
4.4.2 Distribución de Probabilidades para el Índice de Plasticidad.....	81
4.5 Análisis de los Parámetros de Resistencia (Cohesión y Angulo de Fricción Interna) ...	83
4.5.1 Distribución de Probabilidades para los Parámetros de Resistencia	84
4.6 Zonificación de los Parámetros de Resistencia	87
4.6.1 Zonificación a 1 m de profundidad.....	87
4.6.2 Zonificación a 2 m de profundidad.....	88
4.6.3 Zonificación a 3 m de profundidad.....	88
4.6.4 Zonificación a 4 m de profundidad.....	88
4.6.5 Zonificación a 5 m de profundidad.....	88
4.7 Aplicación de los Resultados.....	89
4.7.1 Cálculo de la Capacidad Portante de suelos del Distrito 10	89
4.7.1.1 Teoría de Terzaghi.....	89

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	96
5.2 Recomendaciones	97
5.3 Bibliografía.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1 Patologías estructurales en el Distrito 10 de la ciudad de Tarija	3
Figura II.1 Carta de Plasticidad	18
Figura II.2 Envolvente de falla de Mohr y criterio de rotura de Mohr-Coulomb.	21
Figura II.3 Diagrama de un arreglo de prueba de corte directo.....	22
Figura II.4 Equipo de prueba de corte directo	23
Figura II.5 Equipo de laboratorio de corte directo	25
Figura II.6 Caja de corte y carro deslizante.....	26
Figura II.7 Pistón de carga, piedras porosas, placa ranurada y anillo de carga.....	27
Figura II.8 Medidor de desplazamiento horizontal, vertical y dispositivo para la aplicación de la fuerza normal	28
Figura II.9 Falla de la capacidad de carga en suelo bajo una cimentación continua rígida de grava.	30
Figura II.10 Histograma	36
Figura II.11 Esquema del aparato de corte directo	47
Figura III.1 Imagen Satelital de los puntos en estudio en el Distrito 10 de la Ciudad de Tarija.....	53
Figura III.2 Muestra de suelo antes de ser introducida al horno para su secado.	58
Figura III.3 Fotografía de lavado del material fino	59
Figura III.4 Fotografía del ensayo de Peso Especifico.....	62
Figura III.5 Fotografía del ensayo de Límites de Atterberg	64
Figura III.6 Fotografía de preparación de la muestra	69
Figura III.7 Fotografía ensamblaje de la muestra.....	70
Figura III.8 Fotografía aplicación del esfuerzo	71
Figura III.9 Fotografía caja de corte con agua	71
Figura III.10 Fotografía verificación y lectura del ensayo	72
Figura III.11 Fotografía desmontaje de la caja de corte	73

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico IV.1 Contenido de Humedad.....	76
Gráfico IV.2 Granulometría	78
Gráfico IV.3 Límites de Atterberg	79
Gráfico IV.4 Correlación del Índice de Plasticidad y el Límite Líquido.	80

Gráfico IV.5 Ajuste de la Distribución de Probabilidad del Índice de Plasticidad	81
Gráfico IV.6 Parámetro de Resistencia Ángulo de Fricción Interna.....	83
Gráfico IV.7 Parámetro de Resistencia (Cohesión)	84
Grafico IV.8 Distribucion LogNormal para ϕ	85
Gráfico IV.9 Distribución Valor Extremo Mas Grande para la Cohesión	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1 Población estimada y proyectada según años calendario, 2012-2025	4
Tabla I.2 Barrios del Distrito 10 de la ciudad de Tarija	6
Tabla II.1 Peso Recomendado de la Muestra para el Contenido de Humedad	40
Tabla II.2 Escala Granulométrica.....	41
Tabla II.3 Serie de Tamices.....	42
Tabla II.4 Cantidad mínima de muestra para granulometría	43
Según tamaño máximo absoluto del suelo	43
Tabla III.1 Coordenadas de ubicación de los puntos.....	54
Tabla III.2 Resumen de los resultados obtenidos del ensayo Contenido de Humedad	59
Tabla III.3 Resumen Granulométrico de suelo fino para 1m de profundidad.....	60
Tabla III.4 Resumen Granulométrico de suelo fino para 2m de profundidad.....	60
Tabla III.5 Resumen Granulométrico de suelo fino para 3m de profundidad.....	60
Tabla III.6 Resumen Granulométrico de suelo fino para 4m de profundidad.....	61
Tabla III.7 Resumen Granulométrico de suelo fino para 5m de profundidad.....	61
Tabla III.8 Resumen de resultados del ensayo de Peso Específico	63
Tabla III.9 Resumen de resultados de Límites de Atterberg a 1m de profundidad.....	65
Tabla III.10 Resumen de resultados de Límites de Atterberg a 2m de profundidad.....	65
Tabla III.11 Resumen de resultados de Límites de Atterberg a 3m de profundidad.....	65
Tabla III.12 Resumen de resultados de Límites de Atterberg a 4m de profundidad.....	66
Tabla III.13 Resumen de resultados de Límites de Atterberg a 5m de profundidad.....	66
Tabla III.14 Clasificación de suelos a 1m de Profundidad.....	67
Tabla III.15 Clasificación de suelos a 2m de Profundidad.....	67
Tabla III.16 Clasificación de suelos a 3m de Profundidad.....	68
Tabla III.17 Clasificación de suelos a 4m de Profundidad.....	68
Tabla III.18 Clasificación de suelos a 5m de Profundidad.....	68

Tabla III.19 Resumen de resultados del ensayo de corte Directo a 1m de profundidad	73
Tabla III.20 Resumen de resultados del ensayo de Corte Directo a 2m de profundidad	73
Tabla III.21 Resumen de resultados del ensayo de Corte Directo a 3m de profundidad	74
Tabla III.22 Resumen de resultados del ensayo de Corte Directo a 4m de profundidad	74
Tabla III.23 Resumen de resultados del ensayo de Corte Directo a 5m de profundidad	75
Tabla IV.1 Resumen estadístico del Contenido de Humedad	77
Tabla IV.2 Resumen estadístico de los Limites de Atterberg	80
Tabla IV.3 Clasificación del Potencial Expansión Holtz y Gibbs (Modificada por Benítez, 2021)	82
Tabla IV.4 Potencial de Expansión Distrito 10 ciudad de Tarija	82
Tabla IV.5 Probabilidad asociada a ciertos valores de Ángulo de Fricción	85
Tabla IV.6 Probabilidad asociada a ciertos valores Cohesión (kPa)	86
Tabla IV.8 Capacidad Admisible aplicando la ecuación de Terzaghi a 1m de profundidad de desplante	93
Tabla IV.9 Capacidad Admisible aplicando la ecuación de Terzaghi a 2m de profundidad de desplante	94
Tabla IV.10 Capacidad Admisible aplicando la ecuación de Terzaghi a 3m de profundidad de desplante	94
Tabla IV.11 Capacidad Admisible aplicando la ecuación de Terzaghi a 4m de profundidad de desplante	95
Tabla IV.12 Capacidad Admisible aplicando la ecuación de Terzaghi a 5m de profundidad de desplante	95

ANEXOS

Anexos Fotográficos

Anexos Ensayos

Anexos Planos