

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



**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA CORTANTE DE SUELOS ARCILLOSOS  
REFORZADOS CON RESIDUOS PLÁSTICOS.”**

**Por:**

**GONZALO LAIME ENCINAS**

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

**SEMESTRE I- 2024**

**TARIJA-BOLIVIA**

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

**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA CORTANTE DE SUELOS ARCILLOS  
REFORZADOS CON RESIDUOS PLÁSTICOS”**

**Por:**

**GONZALO LAIME ENCINAS**

**SEMESTRE I- 2024**

**TARIJA-BOLIVIA**

.....  
M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

**DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....  
M.Sc. Lic. Clovis Gustavo Succi Aguirre

**VICEDECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**TRIBUNALES:**

.....  
Ing. Trinidad Baldiviezo Montalvo

.....  
Ing. Mabel Zambrana Velasco

.....  
Ing. José Ricardo Arce Avendaño

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

**DEDICATORIA:**

El presente proyecto está dedicado a mis padres Sadid Laine Zuñiga y Paulina Encinas Vilca, por tanta paciencia y cariño en todo este proceso.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en primer lugar a Dios por guiar mis pasos, cuidarme, protegerme y darme salud para poder concluir esta meta, a mis padres por todo el apoyo moral e incondicional para poder concluir mis estudios, a mis hermanos y hermana por todos los consejos de vida, y a todas las personas que formaron parte de este ciclo.

**PENSAMIENTO**

“Aprende como si fueras a vivir toda la vida y vive como si fueras a morir mañana”

Charles Chaplin

**ÍNDICE**  
**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

	Página
1.1	INTRODUCCIÓN..... 1
1.2	JUSTIFICACIÓN..... 2
1.3	SITUACIÓN PROBLEMÁTICA..... 3
1.3.1	Conceptualización puntual del objeto de estudio ..... 3
1.3.2	Descripción del fenómeno ocurrido ..... 3
1.3.3	Breve explicación de la perspectiva de solución ..... 4
1.3.4	Problema..... 4
1.4	OBJETIVOS..... 4
1.4.1	Objetivo general ..... 4
1.4.2	Objetivos específicos..... 4
1.5	HIPÓTESIS ..... 5
1.5.1	Identificación de variables..... 5
1.5.1.1	Variable independiente..... 5
1.5.1.2	Variable dependiente ..... 5
1.5.2	Conceptualización de variables ..... 5
1.5.2.1	Cantidad de residuos plásticos..... 5
1.5.2.2	Resistencia al corte ..... 6
1.5.3	Operacionalización ..... 6
1.6	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN..... 7



## **CAPÍTULO II**

### **LA RESISTENCIA AL CORTE Y EL REFUERZO CON RESIDUOS PLÁSTICOS**

	Página
2.1	GENERALIDADES.....9
2.2	SUELOS.....9
2.2.1	Tipos de suelo..... 10
2.2.2	Arcillas..... 11
2.3	RESISTENCIA CORTANTE DE LOS SUELOS ..... 13
2.3.1	Esfuerzo efectivo ..... 15
2.3.2	Naturaleza del esfuerzo efectivo..... 16
2.3.3	Parámetros de resistencia cortante..... 17
2.3.4	Ensayo de compresión inconfínada. ....20
2.3.5	Marco normativo ..... 23
2.4	PLÁSTICOS..... 24
2.4.1	Polietileno Tereftalato (PET)..... 27
2.4.2	Reciclaje de plásticos..... 29
2.5	SUELOS ARCILLOSOS REFORZADOS CON PLASTICO..... 30

## **CAPÍTULO III**

### **RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN**

	Página
3.1	INTRODUCCIÓN..... 33
3.1.1	Ubicación de zonas de extracción ..... 33
3.1.2	Coordenadas Geográficas y UTM de las zonas de extracción de muestras para la caracterización del suelo..... 34

3.1.2.1	Mapa satelital de la zona de extracción de muestras de suelo.....	35
3.2	CRITERIOS DE MUESTREO.....	37
3.2.1	Selección de la técnica de Muestreo.....	37
3.2.2	Tamaño de la Muestra .....	37
3.2.3	Datos para el Cálculo del tamaño de Muestra .....	37
3.2.4	Número de ensayos (suelo natural) Juan Nicolai .....	38
3.2.4.1	Número de ensayos (suelo-fibra plástica de 0,5cm) Juan Nicolai.....	38
3.2.4.2	Número de ensayos (suelo-fibra plástica de 1,5cm) Juan Nicolai.....	39
3.2.5	Número de ensayos (suelo natural) Incertar .....	40
3.2.5.1	Número de ensayos (suelo-fibra plástica de 0,5cm) Incertar .....	40
3.2.5.2	Número de ensayos (suelo-fibra plástica de 1,5cm) Incertar .....	41
3.2.5.3	Tipos de suelo a ser sujetos a estudio .....	41
3.2.5.4	Porcentajes y tamaño de fibras .....	42
3.2.5.5	Total, de ensayos .....	42
3.3	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	44
3.3.1	Desarrollo o diseño.....	44
3.3.2	Procedimiento a seguir para el análisis del suelo, previo y posterior a su refuerzo con fibra de residuo plástico.....	44
3.3.3	Exploración de suelo y técnicas de muestreo (Normas ASTM D4220 y AASHTO T248).....	44
3.3.4	Determinación de los límites de Atterberg.....	46
3.3.4.1	Límite líquido .....	48
3.3.4.2	Límite plástico .....	49
3.3.4.3	Índice de plasticidad.....	50
3.3.5	Material más fino que pasa el tamiz N° 200 en agregado mineral por lavado ASTM D4222 y AASHTO T88.....	51
3.3.6	Clasificación de suelos AASHTO M 145-91 Y ASTM D 2487 .....	54
3.3.6.1	Clasificación de suelos por método AASHTO M 145-91(2000) .....	54

3.3.6.2	Clasificación de suelos por el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) ASTM D 2487 .....	55
3.4	SELECCIÓN DE LA MUESTRA PARA REALIZAR LA ESTABILIZACIÓN.....	57
3.4.1	Determinación de la gravedad específica de los sólidos ASTM D 854-02 Material y equipo.....	57
3.4.2	Determinación del tamaño de las partículas por ensayo de hidrometría ASTM 422-63 .....	62
3.4.3	Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de los suelos y rocas a través de su masa ASTM D 2216-03.....	70
3.4.4	Compactación AASHTO T 99-03 .....	72
3.5	Ficha técnica del material PET reciclado .....	82

## **CAPÍTULO IV**

### **APLICACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO**

	Página	
4.1	DESARROLLO.....	87
4.2	ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES .....	88
4.3	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA.....	92
4.4	PROCEDIMIENTO .....	93
4.5	RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA .....	95
4.6	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO.....	110
4.6.1	Tratamiento estadístico inferencial.....	111
4.6.2	Prueba de hipótesis.....	112
4.7	APLICACIÓN DEL REFUERZO DEL RESIDUO PLASTICO EN LA EXCAVACION DE ZAPATAS .....	114

4.8	ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL REFUERZO DE SUELO CON FIBRA DE RESIDUO PLÁSTICOS EN EXCAVACION DE ZAPATAS .....	118
-----	--	-----

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página	
5.1	CONCLUSIONES.....	126
5.2	RECOMENDACIONES .....	127

### BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

ANEXO 1 GRANULOMETRÍA

ANEXO 2 LÍMITES DE ATTERBERG

ANEXO 3 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ANEXO 4 CONTENIDO DE HUMEDAD

ANEXO 5 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS

ANEXO 6 HIDROMETRÍA

ANEXO 7 COMPACTACIÓN (PROCTOR T-99)

ANEXO 8 COMPRESIÓN INCONFINADA

ANEXO 9 PARÁMETROS DE RESISTENCIA CÍRCULO DE MOHR

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1.1. Operacionalización de la variable independiente .....	6
Tabla 1.2. Operacionalización de la variable dependiente .....	6
Tabla 2.1. Consistencia de la arcilla .....	23
Tabla 2.2. Marco normativo .....	23
Tabla 2.3. Códigos, propiedades y usos de la resina plástica .....	25
Tabla 2.4. Datos técnicos del PET.....	28
Tabla 3.1. Coordenadas Geográficas y UTM .....	35
Tabla 3.2. Datos para el cálculo.....	37
Tabla 3.3. Número de ensayos en suelo natural .....	38
Tabla 3.4. Número de ensayos en muestra suelo-fibra plástica de 0.2%.....	38
Tabla 3.5. Número de ensayos en muestra suelo-fibra plástica de 1%.....	38
Tabla 3.6. Número de ensayos en muestra suelo-fibra plástica de 2%.....	39
Tabla 3.7. Número de ensayos en muestra suelo-fibra plástica de 0.2%.....	39
Tabla 3.8. Número de ensayos en muestra suelo-fibra plástica de 1%.....	39
Tabla 3.9. Número de ensayos en muestra suelo-fibra plástica de 2%.....	39
Tabla 3.10. Número de ensayos en suelo natural.....	40
Tabla 3.11. Número de ensayos en muestra suelo-fibra plástica de 0.2%.....	40
Tabla 3.12. Número de ensayos en muestra suelo-fibra plástica de 1% .....	40
Tabla 3.13. Número de ensayos en muestra suelo-fibra plástica de 2% .....	40
Tabla 3.14. Número de ensayos en muestra suelo-fibra plástica de 0.2%.....	41
Tabla 3.15. Número de ensayos en muestra suelo-fibra plástica de 1% .....	41
Tabla 3.16. Número de ensayos en muestra suelo-fibra plástica de 2% .....	41
Tabla 3.17. Tipo de suelo a usar .....	41

Tabla 3.18. Porcentajes de fibras .....	42
Tabla 3.19. Total de ensayos a realizar .....	42
Tabla 3.20. Tabla de fijación estadística .....	43
Tabla 3.21. Tabla resumen de límites de Atterberg .....	51
Tabla 3.22. Resumen de granulometría método de lavado (suelo natural) .....	53
Tabla 3.23. Ejemplo de clasificación de suelos método AASHTO .....	55
Tabla 3.24. Ejemplo de clasificación de suelos método SUCS ASTM D 2487 .....	56
Tabla 3.25. Tabla resumen de clasificación de suelos .....	57
Tabla 3.25. Calibración de frasco volumétrico .....	59
Tabla 3.26. Tabla de peso específico para diferentes suelos.....	60
Tabla 3.27. Tabla resumen de gravedad específica de los sólidos ASTM D854-02 .....	62
Tabla 3.28. Resumen de ensayo de hidrómetro San Blas-Tabla resumen del análisis granulométrico por hidrómetro ASTM D422 .....	66
Tabla 3.29. Resumen de ensayo de hidrómetro Monte Cristo- Tabla resumen del análisis granulométrico por hidrómetro ASTM D422 .....	67
Tabla 3.30. Resumen de ensayo de hidrómetro Incertar- Tabla resumen del análisis granulométrico por hidrómetro ASTM D422 .....	68
Tabla 3.31. Resumen de ensayo de hidrómetro Juan Nicolai -Tabla resumen del análisis granulométrico por hidrómetro ASTM D422 .....	69
Tabla 3.32. Tabla resumen de contenido de humedad en suelos ASTM D2216-03 .....	72
Tabla 3.33. Tabla de compactación AASHTO T-99 Incertar-Compactación de suelos (Proctor).....	78
Tabla 3.34. Tabla de compactación T-99 Juan Nicolai.....	79
Tabla 3.35. Tabla Resumen de compactación AASHTO T-99 Incertar-Compactación de suelos (Proctor) .....	80

Tabla 3.36. Tabla Resumen de compactación AASHTO T-99 Juan Nicolai Compactación de suelos (Proctor) .....	81
Tabla 3.37. Norma para la caracterización física y química de material PET .....	86
Tabla 4.1. Ensayo de compresión inconfiada suelo natural de Incertar .....	96
Tabla 4.2. Parámetros de resistencia – Circulo de Mohr .....	98
Tabla 4.3. Esfuerzo último de las muestras con fibra de 1.5cm- Suelo INCERTAR (CL).....	100
Tabla 4.4. Cohesión no drenada de las muestras con fibra de 1.5cm - Suelo INCERTAR (CL).....	100
Tabla 4.5. Esfuerzo último de las muestras con fibra de 0.5cm - Suelo INCERTAR (CL).....	101
Tabla 4.6. Cohesión no drenada de las muestras con fibra de 0.5cm - Suelo INCERTAR (CL).....	101
Tabla 4.7. Esfuerzo último de las muestras con fibra de 1.5cm- Suelo Juan Nicolai (CH).....	105
Tabla 4.8. Cohesión no drenada de las muestras con fibra de 1.5cm - Suelo Juan Nicolai (CH).....	105
Tabla 4.9. Esfuerzo último de las muestras con fibra de 0.5cm- Suelo Juan Nicolai (CH).....	106
Tabla 4.10. Cohesión no drenada de las muestras con fibra de 0.5cm - Suelo Juan Nicolai (CH).....	106
Tabla 4.11. Tabla de intervalos y clasificación.....	110
Tabla 4.12. Media de datos – media de la media .....	111
Tabla 4.13. Nivel de confianza y significancia .....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 2.1. Origen y formación de los suelos.....	9
Figura 2.2. Estratigrafía de suelos transportados.....	10
Figura 2.3. Rango de tamaños de partículas de un suelo.....	11
Figura 2.4. Bloque deslizante en un plano.....	15
Figura 2.5. Oblicuidad del esfuerzo resultante .....	15
Figura 2.6. Diagrama de esfuerzo para un bloque deslizante en un plano .....	15
Figura 2.7. Modelo suelo demostrado la naturaleza del esfuerzo efectivo.....	17
Figura 2.8. Ensayo de compresión inconfiada .....	20
Figura 2.9. Deformación vertical respecto al esfuerzo axial en la compresión inconfiada.....	21
Figura 2. 10. Combinación de esfuerzos en la falla círculo de Mohr ensayo compresión inconfiada.....	22
Figura 3.1. Mapa de la provincia Cercado Tarija .....	34
Figura 3.2. Mapa satelital zona de Juan Nicolai.....	35
Figura 3.3. Mapa satelital zona de INCERTAR.....	36
Figura 3.4. Mapa satelital zona de Monte Cristo.....	36
Figura 3.5. Mapa satelital zona de San Blas.....	37
Figura 4.1. Molde de gradiente de densidad.....	88
Figura 4.2. Cohesión no drenada fibra 1.5cm - Suelo INCERTAR (CL) .....	100
Figura 4.3. Cohesión no drenada fibra 0.5cm Suelo INCERTAR (CL).....	101
Figura 4.4. Cohesión no drenada fibra 0.5cm y 1.5cm.....	102
Figura 4.5. Gráfica Esfuerzo – Deformación, fibra 1.5cm .....	103
Figura 4.6. Gráfica Esfuerzo – Deformación, fibra 0.5cm .....	103



Figura 4.7.	Gráfica Esfuerzo – Deformación de las dos longitudes .....	104
Figura 4.8.	Cohesión no drenada fibra 1.5cm - Suelo Juan Nicolai (CH).....	105
Figura 4.9.	Cohesión no drenada fibra 0.5cm - Suelo Juan Nicolai (CH).....	106
Figura 4.10.	Cohesión no drenada fibra 0.5cm y 1.5cm.....	107
Figura 4.11.	Gráfica Esfuerzo – Deformación, fibra 1.5cm .....	108
Figura 4.12.	Gráfica Esfuerzo – Deformación, fibra 0.5cm .....	108
Figura 4.13.	Gráfica Esfuerzo – Deformación de las dos longitudes .....	109
Figura 5.1.	Histograma .....	110
Figura 5.2.	Prueba de hipótesis de dos colas .....	113

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página.
Fotografía 3.1. Extracción de muestra zona Juan Nicolai .....	45
Fotografía 3.2. Extracción de muestra zona Monte Cristo e Incertar.....	46
Fotografía 3.3. Preparación de muestra para el ensayo de límite líquido.....	47
Fotografía 3.4. Equipo casa Grande y muestra de suelo para ensayo .....	48
Fotografía 3.5. Realización de ensayo de casa grande .....	49
Fotografía 3.6. Ensayo de límite plástico .....	50
Fotografía 3.7. Muestra para ensayo de granulometría método de lavado.....	52
Fotografía 3.8. Lavado de muestra.....	52
Fotografía 3.9. Secado, pesado de muestra .....	53
Fotografía 3.10. Calibración de frasco volumétrico.....	58
Fotografía 3.11. Gravedad específica de los sólidos .....	60
Fotografía 3.12. Preparación de muestra para ensayo de hidrómetro .....	63
Fotografía 3.13. Probeta más muestra de suelo.....	64
Fotografía 3.14. Preparación de muestra para ensayo de contenido de humedad.....	71
Fotografía 3.15. Preparación de muestra para compactación T-99 .....	75
Fotografía 3.16. Muestra con 5 % de humedad para compactación.....	76
Fotografía 3.17. Compactación de suelo T-99 .....	76
Fotografía 3.18. Pesado de muestra más molde T-99 .....	77
Fotografía 4.1. Preparación de muestras .....	89
Fotografía 4.2. Reposo hermético para que se homogenice la muestra .....	89
Fotografía 4.3. Peso de las 5 capas que serán sometidas a compactación.....	90
Fotografía 4.4. Compactador manual .....	90
Fotografía 4.5. Verificación de alturas por cada capa .....	91

Fotografía 4.6.	Elaboración de probetas.....	91
Fotografía 4.7.	Preparación de muestras .....	92
Fotografía 4.8.	Equipo de compresión inconfiada.....	93
Fotografía 4.9.	Configuración de equipo para romper probetas.....	94
Fotografía 4.10.	Muestra siendo sometida a una carga axial .....	95