

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



**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS QUE TIENE LA VELOCIDAD DE CARGA  
HORIZONTAL EN PRUEBAS DRENADAS DE CORTE DIRECTO SOBRE  
ARENAS SATURADAS”**

**POR:**

**CARLA FERNANDA AVILA CUELLAR**

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 II - 2022

**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 LOS EFECTOS QUE TIENE LA VELOCIDAD DE CARGA  
HORIZONTAL EN PRUEBAS DRENADAS DE CORTE DIRECTO SOBRE  
ARENAS SATURADAS”

POR:

CARLA FERNANDA AVILA CUELLAR

SEMESTRE II - 2022

**TARIJA-BOLIVIA**

## DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado en primer lugar a Dios por darme las fuerzas necesarias para alcanzar uno de mis sueños tan anhelados.

A mis padres; Emma Cuellar y William Avila que me apoyaron en todo momento y siempre serán mi más grande inspiración para lograr lo que me proponga en la vida.

A todas mis hermanas; Liliana, Silvana, Lorena y Paola Avila, que siempre estuvieron ahí para aconsejarme y apoyarme incondicionalmente en todo momento.

A mis queridos abuelitos Armando y Elvita que fueron mis segundos padres, ahora están en el cielo y sé que desde arriba están compartiendo esta felicidad conmigo.

A mis queridos sobrinos Valentina, Mathias, Camila, Cecilia, Willan y Emma.

## ÍNDICE GENERAL

### CAPÍTULO I

#### DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

	Página
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 SITUACIÓN PROBLEMICA.....	3
1.3.1 Determinación del problema.....	3
1.4 ALCANCE .....	4
1.5 OBJETIVOS.....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos.....	4
1.6 HIPÓTESIS .....	5
1.7 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES .....	5
1.7.1 Conceptualización de variables.....	5
1.7.2 Operacionalización. ....	6

### CAPÍTULO II

#### ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE

	Página
2.1. GENERALIDADES.....	7
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	8
2.2.1 Resistencia cortante de suelos.....	8
2.2.2 Esfuerzo efectivo .....	10
2.2.3 Parámetros de resistencia cortante .....	13
2.2.4 Ensayo de Corte Directo .....	14
2.2.5 Resistencia cortante de arenas saturadas.....	24
2.2.6 Rangos de los ángulos de fricción por diferentes autores.....	27

2.2.7	Aplicación de los parámetros de resistencia en la ingeniería .....	30
2.3	MARCO NORMATIVO .....	32
2.4	MARCO REFERENCIAL .....	32
2.4.1	Arena.....	32
2.4.2	Arena natural.....	33
2.4.3	Granulometría por tamizado (ASTM D422; AASHTO T88).....	33
2.4.4	Contenido de humedad (ASTM D2216).....	33
2.4.5	Clasificación .....	33
2.4.5.1	Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) .....	33
2.4.6	Compactación (ASTM D698; AASHTO T99).....	36
2.5	ANÁLISIS DEL APORTE TEÓRICO. ....	36

### **CAPÍTULO III**

#### **CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

	Página	
3.1	CRITERIOS PARA OBTENCIÓN DE MUESTRAS. ....	37
3.1.1	Selección de las técnicas de muestreo .....	37
3.1.2	Tamaño de muestra. ....	37
3.1.3	Determinación del número de ensayos .....	37
3.2	CRITERIOS PARA RELEVACIÓN DE INFORMACIÓN DE LOCALIZACIÓN. ....	38
3.2.1	Ubicación.....	39
3.2.2	Zona Erquiz.....	40
3.2.3	Zona Santa Ana.....	40
3.3	CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS. ....	41
3.3.1	Zona Erquiz.....	41
3.3.2	Zona Santa Ana.....	41
3.3.3	Control y validación interna.....	42
3.4	EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.....	42
3.4.1	Equipo.....	42
3.4.2	Memoria fotográfica de la extracción de las muestras.....	42

3.5	DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA BÁSICA.....	46
3.6	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	47
3.7	OBTENCIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES.....	47
3.7.1	Determinación del contenido de humedad (ASTM D2216). ....	47
3.7.2	Análisis granulométrico método mecánico (ASTM D422-63 (2007)). ....	49
3.7.3	Clasificación de los suelos para fines de ingeniería ..... (sistema de clasificación de suelos (SUCS) ASTM D 2487-00. ....	53
3.7.4	Determinación del peso específico del suelo ..... (ASTM D-854 AASHTO T-100).....	54
3.7.5	Determinación de la relación peso unitario humedad en suelos método ..... estándar (ASTM D 698; AASHTO T99).....	55
3.8	RESUMEN DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN.....	57

#### **CAPÍTULO IV**

#### **CÁLCULO Y TRATAMIENTO DE DATOS**

	Página	
4.1	DESARROLLO.....	58
4.2	ENSAYOS DE CORTE.....	59
4.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	66
4.3.1	Análisis de resultados de la velocidad de carga en el ensayo de corte directo. .	66
4.4	COMPARACIÓN DE RESULTADOS. ....	75
4.5	RELACIÓN DE VARIABILIDAD DE LA VELOCIDAD DE CARGA .....	77
4.6	PROPUESTA DE APLICACIÓN.....	87
4.7	ESPECIFICACIONES DE APLICACIÓN.....	87

#### **CAPÍTULO V**

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	Página	
5.1	CONCLUSIONES.....	88
5.2	RECOMENDACIONES. ....	90

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

ANEXO I INFORME FOTOGRÁFICO.

ANEXO II PLANILLAS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE SUELOS  
REALIZADOS.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Página

- Fig. 2.1 Bloque deslizante en un plano... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.2 Oblicuidad del esfuerzo resultante. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.3 Diagrama de esfuerzo para un bloque deslizante en un plano. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.4 Modelo intuitivo del suelo demostrado la naturaleza del esfuerzo efectivo..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.5 Aparato de Corte Directo. .... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.6 Diagrama de la falla para arena seca ensayada en Corte Directo.....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.7 Diagrama de falla para arcilla dura ensayada en Corte Directo.....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.8 Muestra como el esfuerzo aumenta con el desplazamiento de corte. .... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.9 Gráfica del esfuerzo cortante y el cambio en la altura de la muestra frente al desplazamiento cortante para la arena densa y seca. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.10 Envolvente de falla de Mohr. .... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.11 Esfuerzos de falla y envolventes de Corte Directo. **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.12 Diagrama del ensayo de Corte Directo. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.13 Caja de muestra y accesorios del modelo cuadrado. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

- Fig. 2.14 Diagrama de falla en función de esfuerzos efectivos para arena saturada.  
..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.15 Relaciones esfuerzo - deformación y cambio volumétrico deformación  
para arenas drenadas..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 2.16 Estructura de granos densa y suelta. ....**¡ERROR! MARCADOR NO  
DEFINIDO.**
- Fig. 3.1 Zonas de estudio para la extracción de muestras de arenas naturales.  
..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 3.2 Imagen satelital de la zona de extracción de muestras en Erquiz ....**¡ERROR!  
MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 3.3 Imagen satelital de la zona de extracción de muestras en Santa Ana.  
..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 3.4 Observación visual de la muestra en la zona de Erquiz. ....**¡ERROR!  
MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 3.5 Extracción de muestra zona Erquiz.....**¡ERROR! MARCADOR NO  
DEFINIDO.**
- Fig. 3.6 Muestra lista para llevar al laboratorio.....**¡ERROR! MARCADOR NO  
DEFINIDO.**
- Fig. 3.7 Inspección visual del área de extracción de áridos zona Santa Ana.**¡ERROR!  
MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 3.8 Extracción del material granular zona Santa Ana. ..**¡ERROR! MARCADOR  
NO DEFINIDO.**
- Fig. 3.9 Muestra lista para ser transportada al laboratorio para la investigación.  
..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 3.10 Curva granulométrica muestra Santa Ana.....**¡ERROR! MARCADOR NO  
DEFINIDO.**

- Fig. 3.13 Curva de compactación muestra Santa Ana. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 3.15 Curva de compactación muestra Erquiz.....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.1 Graficas realizadas de los ensayos de corte directo (CD).....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.2 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de aplicación de carga. **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.3 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga.....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.4 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga.....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.5 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.6 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.7 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.8 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.9 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga.....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.10 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga .....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.11 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga .....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

- Fig. 4.12 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga .....**¡ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.13 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga .....**¡ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.14 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga .....**¡ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.15 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga .....**¡ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.16 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga .....**¡ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.17 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga .....**¡ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.18 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga .....**¡ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.19 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de carga .....**¡ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.20 Relación de esfuerzo cortante vs ángulo de fricción a velocidad de  
aplicación de carga 0.2 mm/min **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.21 Relación de esfuerzo cortante vs ángulo de fricción a velocidad de  
aplicación de carga 0.5 mm/min **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.22 Relación de esfuerzo cortante vs ángulo de fricción a velocidad de  
aplicación de carga 1 mm/min .. **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.23 Relación de esfuerzo cortante vs velocidad de aplicación de carga. **¡ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.24 Relación de esfuerzo cortante vs ángulo de fricción a velocidad de  
aplicación de carga 0.2 mm/min. .... **¡ERROR! MARCADOR NO  
DEFINIDO.**

- Fig. 4.25 Relación de esfuerzo cortante vs ángulo de fricción a velocidad de aplicación de carga 0.5 mm/min. .... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Fig. 4.26 Relación de esfuerzo cortante vs ángulo de fricción a velocidad de aplicación de carga 1 mm/min. . **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Variables independientes .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
Tabla 1.2 Variables dependientes.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
Tabla 2.1 Influencia de la Angulosidad y de la granulometría en suelos granulares como señala Lambe 2001 sobre el ángulo de fricción máximo. ....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
Tabla 2.2 Resumen de datos sobre ángulos de fricción para su utilización en anteproyectos.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
Tabla 2.3 Rangos de ángulos de fricción para suelos.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>

- Tabla 2.4 Ángulos de fricción para arenas. **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 2.5 Resumen de datos estadísticos de cohesión y ángulo de fricción según la clasificación de suelo (SUCS)... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 2.6 Diferencia entre los cuatro criterios de falla. ...**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 2.7 Marco normativo..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 2.8 Simbología de la primera letra clasificación método SUCS. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 2.9 Simbología de segunda letra clasificación método SUCS. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 2.10 Tabla de clasificación SUCS. .... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 3.1 Datos para el cálculo estadístico **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 3.2 Ensayos a realizar..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 3.3 Resumen de cálculo de ensayos para la investigación. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 3.4 Tabla contenido de humedad muestra Santa Ana. ..**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 3.5 Tabla contenido de humedad muestra Erquiz. .**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 3.6 Tabla Análisis granulométrico muestra Santa Ana. **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 3.7 Composición porcentual del suelo muestra Santa Ana. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 3.8 Determinación del coeficiente de uniformidad y curvatura suelo Santa Ana. .... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 3.9 Tabla análisis granulométrico muestra Erquiz. **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

Tabla 3.10 Composición porcentual de las muestras de suelo zona Erquiz. ....; **ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**

Tabla 3.11 Determinación del coeficiente de uniformidad y curvatura suelo

Erquiz. ....; **ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

Tabla 3.12 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) ASTM D 2487

.....; **ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

Tabla 3.13 Resumen de clasificación de suelos de las zonas estudiadas. ....; **ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**

Tabla 3.14 Calculo del peso específico zona Santa Ana. ....; **ERROR! MARCADOR NO**  
**DEFINIDO.**

Tabla 3.15 Calculo del peso específico zona Erquiz. ....; **ERROR! MARCADOR NO**  
**DEFINIDO.**

Tabla 3.16 Ensayo compactación zona Santa Ana. ....; **ERROR! MARCADOR NO**  
**DEFINIDO.**

Tabla 3.17 Ensayo compactación muestra Erquiz. ....; **ERROR! MARCADOR NO**  
**DEFINIDO.**

Tabla 3.18 Resumen primera parte de caracterización de las muestras de suelos.

.....; **ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

Tabla 3.19 Resumen segunda parte de caracterización de las muestras de suelos.

.....; **ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

Tabla 4.1 Planilla de cálculo de los ensayos de corte directo (CD). ....; **ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**

Tabla 4.2 Resultados de los ensayos de corte directo a 2 mm/min de velocidad

(CD).....; **ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

Tabla 4.3 Resultados de los ensayos de corte directo a 0.5 mm/min de velocidad

(CD).....; **ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

- Tabla 4.4 Resultados de los ensayos de corte directo a 1.0 mm/min de velocidad (CD)..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 4.5 Muestra Santa Ana a 0.2 mm/min.....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 4.6 Muestra Santa Ana a 0.5 mm/min.....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 4.7 Muestra Santa Ana a 1 mm/min. **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 4.8 Muestra Erquiz a 0.2 mm/min... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 4.9 Muestra Erquiz a 0.5 mm/min... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 4.10 Muestra Erquiz a 1 mm/min. .... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 4.11 Cuadro diferencia de resultado del ángulo de fricción entre los ensayos en la muestra Erquiz..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 4.12 Cuadro diferencia de resultado del ángulo de fricción entre los ensayos en la muestra Erquiz..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 4.13 Cuadro diferencia de resultado del ángulo de fricción entre los ensayos en la muestra Erquiz..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 4.14 Cuadro diferencia de resultado del ángulo de fricción entre los ensayos en la muestra Santa Ana. .... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 4.15 Cuadro diferencia de resultado del ángulo de fricción entre los ensayos en la muestra Santa Ana. .... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
- Tabla 4.16 Cuadro diferencia de resultado del ángulo de fricción entre los ensayos en la muestra Santa Ana. .... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**