

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



**“ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE LOS ENSAYOS DE CORTE
DIRECTO A TRIAXIAL APLICADOS A SUELOS ARENOSOS”**

POR:

OSCAR ALDEIR CAYANI REYNOSO

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, GESTIÓN 2019

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 PARÁMETROS DE LOS ENSAYOS DE CORTE
DIRECTO A TRIAXIAL APLICADOS A SUELOS ARENOSOS”**

POR:

OSCAR ALDEIR CAYANI REYNOSO

SEMESTRE II, GESTIÓN 2019

TARIJA-BOLIVIA

.....
M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozávez

**DECANO
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....
M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

**VICEDECANA
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

.....
Ing. Marcelo Humberto Pacheco Núñez

.....
Ing. Trinidad Baldiviezo Montalvo

.....
Ing. José Ricardo Arce Avendaño

DEDICATORIAS

El presente proyecto de investigación lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mi abuela; Guadalupe Erquicia Guzmán quien fue como una segunda madre para mí, siempre desde el principio estuvo apoyándome y siempre quiso lo mejor para mí, te prometí lograr terminar mi carrera y llenarte de orgullo ahora que no está aquí conmigo sé que desde el cielo estas feliz por el gran logro que obtuve, esta investigación que realice es plenamente para ti Mamilita.

A mis padres; Marcelina Reynoso y Oscar Cayani por ser los principales promotores de mi sueño, por todo el apoyo incondicional, por confiar y creer en mis expectativas, por la paciencia y siempre motivarme por todo por los consejos, valores y principios que me han inculcados .

A mis hermanos: Brenda Cayani y Gonzalo Reynoso por estar ahí en todo momento apoyándome.

A mis abuelos: Genaro Cayani, Juan Reynoso y Teodora Martínez, por su apoyo por su cariño por siempre estar pendiente de mí, por incentivarme a terminar mi carrera y por todo sus buenos deseos y siempre estar ahí para mí.

A mis tíos y primos: De la familia Cayani y Reynoso por siempre apoyarme en seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme salud y sobre todo el cariño incondicional de mis seres queridos.

Al Ing. Rene Alfredo García Valda

Por guiarme en todo el proceso de mi investigación sin su colaboración enseñanzas en el mundo de la geotecnia y mostrarme los amplios conocimientos en la mecánica de suelos.

A mis amigos: Carla, Ariel, David, Roy, Deri, Osvaldo, Shirley, y muchos más por sus palabras de aliento, por su amistad y todas las enseñanzas.

PENSAMIENTO

*“el camino a la excelencia no tiene límite de
velocidad”*

Oscar Cayani

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO

	Página
1	Justificación 1
1.1	Situación problemática..... 2
1.1.1	Conceptualización puntual del objeto de estudio..... 2
1.1.2	Descripción del fenómeno ocurrido..... 2
1.1.3	Breve explicación de la perspectiva de solución 3
1.2	Objetivos 3
1.2.1	Objetivo general..... 3
1.2.2	Objetivos específicos 3
1.3	Hipótesis 4
1.4	Identificación de variables 4
1.4.1	Variable independiente 4
1.4.2	Variable dependiente 4
1.4.3	Conceptualización y operacionalización de las variables..... 4
1.4.3.1	Conceptualización 4
1.4.3.1.1	Ensayo de Corte Directo 4
1.4.3.1.2	Ensayo Triaxial 5
1.4.3.1.3	Condición de drenaje 5
1.4.3.1.4	Ángulo de fricción 5
1.4.3.1.5	Cohesión 5
1.4.3.2	Operacionalización de variables..... 6
1.5	Tipo de investigación 7

1.5.1	Identificación del tipo del diseño de investigación	7
1.5.2	Unidades de estudio y decisión muestral	7
1.5.2.1	Unidad de estudio o muestreo	7
1.5.2.2	Población y muestra	7
1.5.2.2.1	Población.....	7
1.5.2.2.2	Muestra.	8
1.5.3	Tamaño de muestra	8
1.5.3.1	Determinación del número de ensayos.....	8
1.5.4	Selección de las técnicas de muestreo.....	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

	Página	
2	Generalidades	10
2.1	Marco conceptual	11
2.1.1	Resistencia cortante de suelos	11
2.1.2	Esfuerzo efectivo.....	13
2.1.2.1	Naturaleza del esfuerzo efectivo	13
2.1.2.2	Principio de los esfuerzos efectivos en suelos secos o saturados.....	15
2.1.3	Parámetros de resistencia cortante	16
2.1.3.1	Ángulo de fricción.....	16
2.1.3.2	Esfuerzo principal mayor	16
2.1.3.3	Esfuerzo principal menor	17
2.1.4	Ensayo de Corte Directo	17
2.1.4.1	Ensayo Consolidado Drenado (CD).....	21
2.1.4.2	Ensayo Consolidado No Drenado (CU).....	21

2.1.4.3	Significado y uso	22
2.1.4.4	Ensayos con deformación controlada o con esfuerzos controlado.....	22
2.1.4.5	Tasa de corte.....	23
2.1.4.6	Cargas normales	24
2.1.4.7	Características de la muestra	24
2.1.4.8	Preparación de la muestra.....	25
2.1.4.8.1	Muestras inalteradas.....	25
2.1.4.8.2	Especímenes compactados.....	26
2.1.5	Ensayo de corte Triaxial	26
2.1.5.1	Ensayo consolidado drenado	29
2.1.5.2	Ensayo consolidado no drenado	29
2.1.6	Principios de Mohr - Coulomb.....	31
2.1.6.1	Esfuerzos en un punto círculo de Mohr	31
2.1.7	Resistencia cortante de arenas secas	34
2.1.8	Resistencia cortante de arenas saturadas.....	38
2.1.9	Rangos de los ángulos de fricción por diferentes autores	42
2.1.10	Aplicación de los parámetros de resistencia en la ingeniería.....	44
2.2	Marco referencial	47
2.2.1	Arena	47
2.2.2	Arena natural	47
2.2.3	Granulometría por tamizado (ASTM D422; AASHTO T88)	47
2.2.4	Contenido de humedad (ASTM D2216)	47
2.2.5	Clasificación.....	48
2.2.5.1	Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	48
2.2.6	Compactación (ASTM D698; AASHTO T99)	50

2.3	Marco normativo	50
2.4	Análisis y tendencias.	52

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

		Página
3	Introducción	53
3.1	Ubicación	53
3.1.1	Zona Erquiz	54
3.1.2	Zona San Blas.....	55
3.1.3	Zona Santa Ana	56
3.2	Caracterización de las zonas.....	57
3.2.1	Zona Erquiz	57
3.2.2	Zona San Blas.....	57
3.2.3	Zona Santa Ana	58
3.3	Criterios para obtención de muestras	58
3.3.1	Muestreo de suelos	58
3.3.2	Selección de técnicas de muestreo	58
3.4	Extracción de muestras.....	58
3.4.1	Equipo	58
3.4.2	Memoria fotográfica de la extracción de las muestras	59
3.4.2.1	Zona Erquiz	59
3.4.2.2	Zona San Blas.....	60
3.4.2.3	Zona Santa Ana	62
3.5	Descripción geotécnica básica.	63
3.6	Procedimiento experimental.....	64

3.7	Obtención de datos experimentales.....	64
3.7.1	Determinación del contenido de humedad (ASTM D2216)	65
3.7.2	Análisis granulométrico método mecánico (ASTM D422-63 (2007))	67
3.7.3	Clasificación de los suelos para fines de ingeniería (sistema de clasificación de suelos (SUCS) ASTM D 2487-00.....	72
3.7.4	Determinación del peso específico del suelo (ASTM D-854 AASHTO T-100) .	76
3.7.4.1	Peso específico del suelo, muestra San Blas	76
3.7.4.2	Peso específico de suelo, muestra Santa Ana.....	77
3.7.4.3	Peso específico del suelo muestra Erquiz	77
3.7.5	Determinación de la relación: peso unitario, humedad en suelos: método estándar (ASTM D 698; AASHTO T99)	78
3.7.5.1	Compactación estándar, muestra San Blas.....	78
3.7.5.2	Compactación estándar, muestra Santa Ana.	79
3.7.5.3	Compactación estándar muestra Erquiz	80
3.8	Resumen de resultados de caracterización	81

CAPÍTULO IV

CÁLCULO Y TRATAMIENTO DE DATOS

	Página	
4	Desarrollo	82
4.1	Ensayos de corte.....	82
4.1.1	Ensayo de Corte Directo consolidado drenado	82
4.1.1.1	Preparación de las muestras remoldeadas para el ensayo de Corte Directo.....	83
4.1.1.2	Introducción del espécimen en la recámara del ensayo de Corte Directo.....	83
4.1.1.3	Resultados de los ensayos de Corte Directo (CD)	84
4.1.2	Ensayo de Corte Directo consolidado no drenado	85

4.1.2.1	Preparación de las muestras remoldeadas para el ensayo de Corte Directo	85
4.1.2.2	Introducción del espécimen en la recámara del ensayo de Corte Directo.....	85
4.1.3	Procedimiento de manejo de datos del ensayo Triaxial	86
4.1.3.1	Ajustes Generales.....	86
4.1.4	Ensayo de corte Triaxial CD y CU	87
4.1.4.1	Ensayo de corte Triaxial CD.....	87
4.1.4.2	Ensayo de corte Triaxial CU	88
4.2	Presentación de resultados ensayos Corte Directo y Triaxial	90
4.3	Análisis de resultados.....	91
4.3.1	Análisis de resultados ensayos de Corte Directo y Triaxial.....	91
4.3.1.1	Análisis estadístico de los resultados obtenidos de los ensayos de Corte Directo y Triaxial, muestra San Blas.....	91
4.3.1.3	Análisis estadístico de los resultados obtenidos de los ensayos de Corte Directo y Triaxial, muestra Erquiz	93
4.3.1.4	Análisis de resultados del ángulo de fricción en el ensayo de Corte Directo ..	94
4.3.1.5	Análisis de resultados del ángulo de fricción en el ensayo de compresión Triaxial	94
4.3.1.6	Análisis de los ángulos obtenidos en los ensayos de Corte Directo y Triaxial	95
4.3.1.7	Análisis estadístico prueba t student (Excel) y minitab	96
4.3.1.8	Análisis de los parámetros obtenidos por ambos ensayos.....	106
4.3.1.8.1	Análisis del parámetro del ángulo de fricción en el ensayo de Corte Directo analíticamente.....	106
4.3.1.7.1	Análisis del parámetro del ángulo de fricción en el ensayo Triaxial analíticamente	106
4.4	Análisis comparativo de resultados.....	107
4.5	Relación de confiabilidad del ensayo de Corte Directo y Triaxial.....	110

4.5.1	Presentación de los resultados de la relación de confiabilidad	115
4.6	Propuesta de aplicación de las ecuaciones obtenidas y validación de las mismas	117
4.7	Especificaciones de aplicación de la investigación en la ingeniería	119

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página	
5	Conclusiones	120
5.1	Recomendaciones	121

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO I Informe fotográfico.

ANEXO II Planillas de resultados de los ensayos de suelos realizados.

ANEXO III Certificado de realización de ensayos Triaxiales PERTT.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Fig. 2.1 Bloque deslizante en un plano.....	12
Fig. 2.2 Oblicuidad del esfuerzo resultante.	12
Fig. 2.3 Diagrama de esfuerzo para un bloque deslizante en un plano.....	13
Fig. 2.4 Modelo intuitivo del suelo demostrado la naturaleza del esfuerzo efectivo....	14
Fig. 2.5 Aparato de Corte Directo.....	17
Fig. 2.6 Diagrama de la falla para arena seca ensayada en Corte Directo.	18
Fig. 2.7 Diagrama de falla para arcilla dura ensayada en Corte Directo.	19
Fig. 2.8 Muestra como el esfuerzo aumenta con el desplazamiento de corte.	20
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.	20
Fig. 2.10 Envoltente de falla de Mohr.....	21
Fig. 2.11 Esfuerzos de falla y envolventes de Corte Directo.	22
Fig. 2.12 Diagrama del ensayo de Corte Directo.	23
Fig. 2.13 Caja de muestra y accesorios del modelo cuadrado.	25
Fig. 2.14 Celda Triaxial.	28
Fig. 2.15 Esfuerzos actuantes en un elemento diferencial de suelo.	32
Fig. 2.16 Círculo de Mohr.....	34
Fig. 2.17 Estado inicial de esfuerzo en el ensayo Triaxial.....	35
Fig. 2.18 Círculos de Mohr de esfuerzo en la falla.	35
Fig. 2.19 Círculo de Mohr y envoltente de falla para arena seca.....	36
Fig. 2.20 Plano de falla en el ensayo Triaxial.....	37
Fig. 2.21 Diagrama de falla en función de esfuerzos efectivos para arena saturada.....	39
Fig. 2.22 Relaciones esfuerzo deformación y cambio volumétrico deformación para arenas drenadas.....	40
Fig. 2.23 Estructura de granos densa y suelta.	41
Fig. 3.1 Triangulación de la zona de estudio para la extracción de muestras de arenas naturales.....	54
Fig. 3.2 Imagen satelital de la zona de extracción de muestras en Erquiz.....	55

Fig. 3.3	Imagen satelital de extracción de muestras zona San Blas.....	56
Fig. 3.4	Imagen satelital de la zona de extracción de muestras en Santa Ana.	57
Fig. 3.5	Observación visual de la muestra en la zona de Erquiz.....	59
Fig. 3.6	Extracción de muestra zona Erquiz.	59
Fig. 3.7	Muestra lista para llevar al laboratorio.	60
Fig. 3.8	Inspección visual para la extracción de árido zona San Blas.	60
Fig. 3.9	Preparación para la extracción de la muestra zona San Blas.....	61
Fig. 3.10	Extracción de material granular natural zona San Blas.	61
Fig. 3.11	Inspección visual del área de extracción de áridos zona Santa Ana.	62
Fig. 3.12	Extracción del material granular zona Santa Ana.....	62
Fig. 3.13	Muestra lista para ser transportada al laboratorio para la investigación.....	63
Fig. 3.14	Curva granulométrica muestra San Blas.....	68
Fig. 3.15	Curva granulométrica muestra Santa Ana.	70
Fig. 3.16	Curva granulométrica muestra Erquiz.	71
Fig. 3.17	Diagrama de clasificación de suelos SUCS.....	75
Fig. 3.18	Curva de compactación muestra San Blas.....	78
Fig. 3.19	Curva de compactación muestra Santa Ana.	79
Fig. 3.20	Curva de compactación muestra Erquiz.	80
Fig. 4.1	Relación de confiabilidad de los ensayos en condiciones drenadas muestra San Blas.	110
Fig. 4.2	Relación de confiabilidad de los ensayos en condiciones drenadas muestra Santa Ana.....	111
Fig. 4.3	Relación de confiabilidad de los ensayos en condiciones drenadas muestra Erquiz.	112
Fig. 4.4	Relación de confiabilidad de los ensayos en condiciones no drenadas muestra San Blas.	113
Fig. 4.5	Relación de confiabilidad de los ensayos en condiciones no drenadas muestra Santa Ana.	114
Fig. 4.6	Relación de confiabilidad de los ensayos en condiciones no drenadas muestra Erquiz.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 De variables independientes.....	6
Tabla 1.2 De variables dependientes.....	6
Tabla 1.3 Población.....	7
Tabla 1.4 Muestra estadística.....	8
Tabla 1.5 Datos para el cálculo estadístico.	8
Tabla 1.6 Ensayos a realizar.....	8
Tabla 1.7 Resumen de cálculo de ensayos para la investigación.....	9
Tabla 2.1 Ángulos de fricción según la forma de la partícula y la granulometría.	38
Tabla 2.2 Influencia de la angulosidad y de la granulometría sobre el ángulo de fricción máximo.	42
Tabla 2.3 Resumen de datos sobre ángulos de fricción para su utilización en anteproyectos.....	48
Tabla 2.4 Rangos de ángulos de fricción para suelos (grados).....	48
Tabla 2.5 Ángulos de fricción para arenas.	48
Tabla 2.6 Resumen de datos estadísticos de cohesión y ángulo de fricción según la clasificación de suelos SUCS.....	48
Tabla 2.7 Diferencia entre los cuatro criterios de falla.	48
Tabla 2.8 Símbología de la primera letra clasificación método SUCS.....	48
Tabla 2.9 Símbología de Segunda letra clasificación método SUCS.	49
Tabla 2.10 Tabla de clasificación SUCS.....	49
Tabla 2.11 Marco normativo.....	51
Tabla 3.1 Tabla contenido de humedad muestra San Blas.....	66
Tabla 3.2 Tabla contenido de humedad muestra Santa Ana.	66
Tabla 3.3 Tabla contenido de humedad muestra Erquiz.	66
Tabla 3.4 Tabla Análisis granulométrico muestra San Blas.	67
Tabla 3.5 Composición porcentual del suelo zona San Blas.	67
Tabla 3.6 Determinación del coeficiente de uniformidad y curvatura suelo San Blas .	67
Tabla 3.7 Tabla Análisis granulométrico muestra Santa Ana.....	69

Tabla 3.8. Composición porcentual del suelo muestra Santa Ana.....	69
Tabla 3.9 Determinación del coeficiente de uniformidad y curvatura suelo Santa Ana.	70
Tabla 3.10 Tabla Análisis granulométrico muestra Erquiz.....	71
Tabla 3.11 Composición porcentual de la muestras de suelo zona Erquiz.	72
Tabla 3.12 Determinación del coeficiente de uniformidad y curvatura suelo Erquiz.....	72
Tabla 3.13 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) ASTM D 2487.	73
Tabla 3.14 Clasificación de suelos SUCS basado en el material que pasa el tamiz núm. 75 mm.....	74
Tabla 3.15 Resumen de clasificación de suelos de las zonas estudiadas.	76
Tabla 3.16 Cálculo del peso específico zona San Blas.	76
Tabla 3.17 Cálculo del peso específico zona Santa Ana.....	77
Tabla 3.18 Cálculo del peso específico zona Erquiz.....	77
Tabla 3.19 Ensayo compactación muestra San Blas.....	78
Tabla 3.20 Ensayo compactación zona Santa Ana.....	79
Tabla 3.21 Ensayo compactación muestra Erquiz.	80
Tabla 3.22 Resumen primera parte de caracterización de las muestras de suelos.	81
Tabla 3.23 Resumen segunda parte de caracterización de las muestras de suelos.	81
Tabla 4.1 Resultados de los ensayos de Corte Directo (CD).....	84
Tabla 4.2 Resultados de los ensayos de Corte Directo (CU).....	86
Tabla 4.3 Resultados del ensayo de corte Triaxial CD.....	88
Tabla 4.4 Resultados del ensayo de corte Triaxial (CU).	88
Tabla 4.5 Resumen de Resultados de los ensayos de Corte Directo y Triaxial CD y CU.	90
Tabla 4.6 Resumen de análisis estadístico muestra San Blas.	91
Tabla 4.7 Resumen de análisis estadísticos muestra Santa Ana.	92
Tabla 4.8 Resumen de análisis estadísticos muestra Erquiz.	93
Tabla 4.9 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas San Blas CD.....	97
Tabla 4.10 Estadísticas descriptivas San Blas CD.....	97
Tabla 4.11 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas San Blas CU.....	98
Tabla 4.12 Estadísticas descriptivas San Blas CU.....	99

Tabla 4.13 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas Santa Ana CD.....	100
Tabla 4.14 Estadísticas descriptivas Santa Ana CD.....	100
Tabla 4.15 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas Santa Ana CU.....	101
Tabla 4.16 Estadísticas descriptivas Santa Ana CU.....	102
Tabla 4.17 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas Erquiz CD	103
Tabla 4.18 Estadísticas descriptivas Erquiz CD.	102
Tabla 4.19 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas Erquiz CU	104
Tabla 4.20 Estadísticas descriptivas Erquiz CU.	105
Tabla 4.21 Cuadro diferencia de resultado del ángulo de fricción entre los ensayos en la muestra San Blas.	107
Tabla 4.22 Cuadro diferencia de resultado del ángulo de fricción entre los ensayos en la muestra Santa Ana.....	108
Tabla 4.23 Cuadro diferencia de resultado del ángulo de fricción entre los ensayos en la muestra Erquiz.....	108
Tabla 4.24 Cuadro diferencia de resultado del ángulo de fricción entre los ensayos en la muestra San Blas.	108
Tabla 4.25 Cuadro diferencia de resultado del ángulo de fricción entre los ensayos en la muestra Santa Ana.....	109
Tabla 4.26 Cuadro diferencia de resultado del ángulo de fricción entre los ensayos en la muestra Erquiz.....	109
Tabla 4.27 Resumen de las ecuaciones y grado de confiabilidad de la relación Corte Directo-Triaxial.....	116