

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS TRIÁNGULO DE FERET,
GRANULOMÉTRICO Y GRAFICO PARA LA ESTABILIZACIÓN
GRANULOMÉTRICA EN SUELOS ALUVIALES DEL VALLE CENTRAL DE
TARIJA”**

POR:

CRISTHIAN DEIVIS AVILA ORTEGA

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 II-2024

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS TRIÁNGULO DE FERET,
GRANULOMÉTRICO Y GRAFICO PARA LA ESTABILIZACIÓN
GRANULOMÉTRICA EN SUELOS ALUVIALES DEL VALLE CENTRAL DE
TARIJA”**

POR:

CRISTHIAN DEIVIS AVILA ORTEGA

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 II-2024

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

.....
M.Sc. Ing. Luis Alberto Yurquina Flores
DOCENTE GUIA

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

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

TRIBUNAL:

.....
Ing. Marcelo Humberto Pacheco Núñez

.....
Ing. José Ricardo Arce Avendaño

.....
Ing. Mabel Zambrana Velasco

DEDICATORIA

Para mi querido abuelo

Mi pilar en la vida y mi ejemplo de perseverancia.

Agradezco profundamente tu apoyo incondicional desde el principio, cuando me mostraste el valor del trabajo arduo y me enseñaste a no rendirme.

Tu respaldo fue fundamental, especialmente en esos momentos desafiantes al inicio de mi carrera, cuando juntos encontramos soluciones creativas para superar obstáculos. Tu amor y sabiduría han sido mi mayor motivación. ¡Siempre estarás presente en mi corazón!

DEDICATORIA

Para mis queridos papás

Ustedes son mi zapata, mi cimiento firme en cada proyecto que emprendo. Gracias por su estructura sólida de amor y apoyo, que me sostiene en cada desafío de mi carrera. Su firmeza y resistencia son la base de mis logros. ¡Los adoro con toda mi armadura de ingeniero!

DEDICATORIA

Para mi hermana mayor

"Querida hermana mayor, tu generosidad y apoyo incondicional han sido mi salvavidas en momentos de dificultad. Gracias por estar a mi lado y brindarme los recursos económicos necesarios para seguir adelante en mi camino. Tu bondad y solidaridad son un regalo invaluable en mi vida. ¡Siempre agradecido y siempre unidos!"

INDICE

Página

CAPITULO I

DISEÑO TEORICO DE LA INVESTIGACION

1.1	INTRODUCCIÓN.....	19
1.2	ANTECEDENTES	19
1.3	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
1.3.1	Justificación académica.....	2
1.3.2	Justificación de la aplicación técnico-practico.....	3
1.3.3	Justificación e importancia social.....	3
1.4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	3
1.4.1	Situación problemica.....	3
1.4.2	Delimitación Temporal y Espacial.....	4
1.4.3	Formulación del problema.	5
1.5	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.5.1	Objetivo General	5
1.5.2	Objetivos Específicos	6
1.6	PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y SUS VARIABLES	6
1.6.1	Formulación de la Hipótesis.....	6
1.6.2	Identificación y conceptualización de variables.....	6
1.6.3	Conceptualización y Operacionalización de las variables.	6
1.7	DETERMINACIÓN DEL ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	7

CAPITULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1	MARCO TEÓRICO	9
2.1.1	Conceptos básicos	9
2.1.2	Definiciones generales	9
2.1.2.1.1	Suelos.....	9
2.1.2.1.2	Suelos Transportados	10
2.1.2.1.3	Suelos No Transportados	11
2.1.2.1.4	Suelos Aluviales.....	12
2.1.2.2	Suelo integral de un río.....	12

2.1.2.3	Características y propiedades de los suelos aluviales.....	12
2.1.2.4	Sub Rasante.....	15
2.1.2.5	Sub-Base.....	15
2.1.2.6	Bases.....	16
2.1.2.7	Estabilización.....	16
2.1.2.7.1	Tipos De Estabilización.....	16
a)	Estabilización Física.....	16
b)	Estabilización Química.....	16
c)	Estabilización Mecánica.....	17
2.1.2.8	Métodos de estabilización granulométrica.....	17
2.1.2.8.1	Método Triangulo De Feret.....	17
2.1.2.8.2	Método Granulométrico.....	18
2.1.2.8.3	Método Gráfico.....	18
2.1.2.9	Análisis estadístico.....	19
2.1.2.9.1	Estadística Descriptiva.....	19
2.1.2.9.2	Estadística Inferencial.....	20
2.1.2.10	Prueba de hipótesis.....	20
2.1.3	Caracterización del análisis granulométrico.....	21
2.1.3.1	Contenido De Humedad De Los Suelos.....	22
2.1.3.1.1	Análisis Para La Determinación Del Contenido De Humedad.....	22
2.1.3.1.2	Métodos Para La Determinación Del Contenido De Humedad.....	23
a)	Método estándar (horno).....	23
b)	Método hornalla.....	23
c)	Método del alcohol.....	23
2.1.3.2	Peso Específico.....	23
2.1.3.2.1	Análisis Peso Especifico.....	23
2.1.3.3	Plasticidad de los suelos.....	24
2.1.3.3.1	Índice De Plasticidad.....	24
2.1.3.3.2	Limite Liquido.....	25
2.1.3.4	Ensayo Proctor Estándar AASHTO T 99 Y Ensayo Proctor Modificado AASHTO T 180.....	25

2.1.3.4.1 Ensayo De CBR	26
2.1.4 Clasificación.....	27
2.1.4.1 Clasificación de los suelos	27
2.1.4.1.1 Curva Granulométrica.....	29
2.1.4.1.2 Análisis Granulométrico	30
2.1.4.2 Clasificación AASTHO	31
2.1.4.3 Sistema de clasificación S.U.C.S.....	31
2.1.4.4 Especificaciones de los agregados para sub-bases y bases.....	33
2.1.4.4.1 Requerimientos Generales	33
2.1.4.5 Materiales para Sub Base.....	34
2.1.4.6 Materiales para Base Granular.....	35
2.1.4.7 Material para carpeta de Rodadura	36
2.1.5 Análisis del Aporte Teórico	37

CAPITULO III

DISEÑO METODOLOGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACION

3.1 UBICACIÓN.....	39
3.2 CARACTERISTICAS DEL AREA DEL PROYECTO	40
3.3 CRITERIOS DE DISEÑO METODOLÓGICO	41
3.3.1 Unidad de muestra; población y muestra.	41
3.3.2 Tamaño de muestra.	41
3.4 APLICACIÓN PRÁCTICA	43
3.4.1 Extracción de muestras.....	43
3.4.1.1 Zona Obrajes.....	43
3.4.1.2 Zona Bella Vista	44
3.4.1.3 Zona San Mateo	44
3.4.1.4 Zona La Pintada	45
3.4.1.5 Zona San Luis	45
3.4.2 Caracterización de muestras.....	46
3.4.3 Criterios de Aplicación.....	47
3.4.4 Metodología Empleada	47
3.4.4.1 Granulometría Integral Zona Obrajes.	49

3.4.4.2	Granulometría Integral Zona San Mateo.	50
3.4.4.3	Granulometría Integral Zona Bella Vista.....	51
3.4.4.4	Granulometría Integral Zona La Pintada.	52
3.4.4.5	Granulometría Integral Zona San Luis.	53
3.4.5	Interpretación Estadística de Selección.....	54
3.4.5.1	Muestra A.....	54
3.4.5.2	Muestra B.....	55
3.4.5.3	Muestra C.....	56
3.4.5.4	Muestra D.....	57
3.4.5.5	Muestra E.....	58
3.4.6	Metodología Mezcla de 3 Suelos	59
3.4.6.1	Método Triangulo de Feret	59
3.4.6.2	Método Granulométrico.....	62
3.4.6.3	Método Grafico.....	64
3.4.7	Combinaciones de Estabilización Granulométrica Mezcla de 3 Suelos	66
3.4.7.1	Método Triangulo de Feret	66
3.4.7.1.1	Capa Base.....	66
3.4.7.1.2	Capa Sub Base	67
3.4.7.2	Método Granulométrico.....	67
3.4.7.2.1	Capa Base.....	67
3.4.7.2.2	Capa Sub Base	68
3.4.7.3	Método Grafico.....	68
3.4.7.3.1	Capa Base.....	68
3.4.7.3.2	Capa Sub Base	69
3.4.8	Verificación de Combinaciones	69
3.4.8.1	Combinación 1 Capa Base Método Triangulo de Feret.....	70
3.5	RESULTADOS DE ESTABILIZACION MEDIANTE FORMULA	71
3.5.1	Capa Base Método Triangulo de Feret.....	71
3.5.2	Capa Base Método Granulométrico	71
3.5.3	Capa Base Método Grafico	72
3.5.4	Capa Base Método Triangulo de Feret.....	72

3.5.5	Capa Base Método Granulométrico	73
3.5.1	Capa Base Método Grafico	73
3.5.2	Resultados de Estabilización Mediante Comprobación	74
3.5.2.1	Capa Base.....	74
3.5.2.1.1	Método Triangulo De Feret	74
3.5.2.1.2	Método Granulométrico.....	74
3.5.2.1.3	Método Grafico.....	75
3.5.2.2	Capa Sub Base	75
3.5.2.2.1	Método Triangulo De Feret	75
3.5.2.2.2	Método Granulométrico.....	76
3.5.2.2.3	Método Grafico.....	76
3.6	RESULTADOS	77
3.6.1	Gráficos de Granulometrías de Combinaciones la Capa Base Material Aluvial	77
3.6.2	Gráficos de Granulometrías de Combinaciones la Capa Sub Base Material Aluvial.....	80
3.6.3	Gráficos de Granulometrías de Comprobación la Capa Base Material Aluvial..	83
3.6.4	Gráficos de Granulometrías de Comprobación la Capa Sub Base Material Aluvial	86
3.6.5	Gráficos De Proctor T-180 Para Capa Base Y Sub Base	89
3.6.6	Gráfico De CBR- DENSIDAD Para Capa Base Y Sub Base	90

CAPITULO IV

PRESENTACION DE DATOS ANALISIS Y RESULTADOS

4.1	ESTADISTICA DESCRIPTIVA.....	91
4.1.1	Presentación de Planillas de Variable para Análisis Estadístico.....	92
4.2	ESTADÍSTICA INFERENCIAL.	107
4.3	DETERMINACION DEL TIPO DE TRATAMIENTO	107
4.4	PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	108
4.4.1	Capa Base.....	108
4.4.2	Capa Sub Base.....	113
4.5	RESULTADOS	117
4.5.1	Medidas de Tendencia Central y Medidas de Dispersión.....	118

4.5.1.1	Curvas granulométricas Capa Base Método Triangulo de Feret	118
4.5.1.1.1	Combinación 11 Y Comprobación 11	118
4.5.1.1.2	Combinación 12 Y Comprobación 12	119
4.5.1.1.3	Combinación 13 Y Comprobación 13	120
4.5.1.1.4	Combinación 14 Y Comprobacion 14	120
4.5.1.1.5	Combinación 15 Y Comprobación 15	121
4.5.1.2	Curvas granulométricas Capa Base Granulométrico	122
4.5.1.2.1	Combinación 11 Y Comprobación 11	122
4.5.1.2.2	Combinación 12 Y Comprobación 12	122
4.5.1.2.3	Combinación 13 Y Comprobacion 13	123
4.5.1.2.4	Combinación 14 Y Comprobación 14	124
4.5.1.3	Curvas granulométricas Capa Base Grafico	124
4.5.1.3.1	Combinación 9 Y Comprobación 9	124
4.5.1.4	Curvas Granulométricas Capa Sub Base Método Triangulo De Feret	129
4.5.1.4.1	Combinación 1 Y Comprobación 1	129
4.5.1.4.2	Combinación 2 Y Comprobación 2	130
4.5.1.4.3	Combinación 3 Y Comprobación 3	130
4.5.1.4.4	Combinación 4 Y Comprobación 4	131
4.5.1.4.5	Combinación 5 Y Comprobación 5	132
4.5.1.4.6	Combinación 11 Y Comprobación 11	132
4.5.1.4.7	Combinación 12 Y Comprobacion 12	133
4.5.1.4.8	Combinación 13 Y Comprobación 13	134
4.5.1.4.9	Combinación 14 Y Comprobación 14	134
4.5.1.4.10	Combinación 15 Y Comprobación 15	135
4.5.1.5	Curvas Granulométricas Capa Sub Base Granulométrico	136
4.5.1.5.1	Combinación 1 Y Comprobación 1	136
4.5.1.5.2	Combinación 2 Y Comprobación 2	136
4.5.1.5.3	Combinación 3 Y Comprobación 3	137
4.5.1.5.4	Combinación 4 Y Comprobación 4	138
4.5.1.5.5	Combinación 5 Y Comprobación 5	138
4.5.1.5.6	Combinación 6 Y Comprobación 6	139

4.5.1.5.7	Combinación 7 Y Comprobación 7	140
4.5.1.5.8	Combinación 8 Y Comprobación 8	140
4.5.1.5.9	Combinación 9 Y Comprobación 9	141
4.5.1.5.10	Combinación 10 Y Comprobación 10	142
4.5.1.5.11	Combinación 11 Y Comprobación 11	142
4.5.1.5.12	Combinación 12 Y Comprobación 12	143
4.5.1.5.13	Combinación 13 Y Comprobación 13	144
4.5.1.5.14	Combinación 14 Y Comprobación 14	144
4.5.1.5.15	Combinación 15 Y Comprobación 15	145
4.5.1.6	Curvas Granulométricas Capa Sub Base Grafico	146
4.5.1.6.1	Combinación 1 Y Comprobación 1	146
4.5.1.6.2	Combinación 2 Y Comprobación 2	146
4.5.1.6.3	Combinación 3 Y Comprobación 3	147
4.5.1.6.4	Combinación 4 Y Comprobación 4	148
4.5.1.6.5	Combinación 5 Y Comprobación 5	148
4.6	ANÁLISIS DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN GRANULOMÉTRICA	152
4.7	ANÁLISIS DE COSTOS.....	153

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES.....	155
5.2	RECOEMNDACIONES	157
5.3	BIBLIOGRAFIA.....	159
5.4	ANEXOS	160

ANEXO I	CARACTERIZACION DE MUESTRAS
ANEXO II	VERIFICACION DE LAS COMBINACIONES GRANULOMETRICAS
Anexo A	Comprobaciones Metodo Triangulo de Feret Capa Base
Anexo B	Comprobaciones Metodo Granulometrico Capa Base
Anexo C	Comprobaciones Metodo Grafico de Feret Capa Base
Anexo D	Comprobaciones Metodo Triangulo de Feret Capa Sub Base
Anexo E	Comprobaciones Metodo Granulometrico Capa Sub Base
Anexo F	Comprobaciones Metodo Grafico Capa Sub Base
Anexo G	Comprobaciones De Estabilidad Para Capa Base Y Sub Base
Anexo H	Costos Unitarios
ANEXO III	ANEXO FOTOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Delimitación temporal	4
Tabla 2.	Tipo de mezclas en terracería	14
Tabla 3.	Ensayos de caracterización y análisis	21
Tabla 4.	Índice de plasticidad	25
Tabla 5.	Especificaciones T99 y T180	26
Tabla 6.	Especificación para la prueba proctor ASTM	27
Tabla 7.	Distribución granulométrica	28
Tabla 8.	Clasificación AASTHO Material Granular	31
Tabla 9.	Clasificación USCS	32
Tabla 10.	Límites de Consistencia o de Atterberg	34
Tabla 11.	Bandas Granulométricas para Sub Base, Base y capas de Rodadura	34
Tabla 12.	Valores específicos	34
Tabla 13.	Granulometría para capa Sub Base	35
Tabla 14.	Granulometría para capa Base	35
Tabla 15.	Zonas aluviales	40
Tabla 16.	Tamaño de muestra finales	42
Tabla 17.	Cuartiles de la distribución de Tukey $q(n,m)$	111
Tabla 18.	Cuartiles de la distribución de Tukey $q(n,m)$	115
Tabla 19.	Especificación Técnica De Granulometría Obtenida Capa Base	117
Tabla 20.	Resultados De Estabilidad Capa Sub Base	127
Tabla 21.	Especificación técnica obtenida para capa sub base	127
Tabla 22.	Resultados De Estabilidad Capa Sub Base	151

INDICE DE FIGURAS

Grafico 1.	Método Triangulo de Feret	17
Grafico 2.	Método granulométrico.....	18
Grafico 3.	Método grafico.....	19
Grafico 4.	Ubicación Geográfica provincia Cercado-Tarija.....	39
Grafico 5.	Ubicación de las zonas aluviales	40
Grafico 6.	Triangulo de Feret.....	59
Grafico 7.	Área de solución triangulo de Feret.....	60
Grafico 8.	Especificación técnica para base y sub base	60
Grafico 9.	Combinaciones capa base	61
Grafico 10.	Combinaciones capa sub base.....	61
Grafico 11.	Granulometría Especificación técnica para capa base ABC.....	63
Grafico 12.	Granulometría Especificación técnica para capa sub base ABC	63
Grafico 13.	Especificaciones método grafico ABC	65
Grafico 14.	Método grafico capa base	65
Grafico 15.	Método grafico capa sub base.....	66
Grafico 16.	Curva granulométrica combinaciones método triangulo de Feret mezcla E-A-B capa Base	77
Grafico 17.	Curva granulométrica combinaciones método Granulométrico mezcla E-A-B capa Base	78
Grafico 18.	Curva granulométrica combinaciones método Grafico mezcla E-A-B capa Base.....	79
Grafico 19.	Curva granulométrica combinaciones método Triangulo de Feret mezcla E-A-B capa sub-Base.....	80
Grafico 20.	Curva granulométrica combinaciones método granulométrico mezcla E-A-B capa sub-Base.....	81
Grafico 21.	Curva granulométrica combinaciones método Grafico mezcla E-A-B capa sub-Base.....	82
Grafico 22.	Curva granulométrica comprobación método Triangulo de Feret suelo E-A-B capa Base	83
Grafico 23.	Curva granulométrica comprobación método Granulométrico suelo E-A-B capa Base	84

Grafico 24.	Curva granulométrica comprobación método Grafico suelo E-A-B capa Base.....	85
Grafico 25.	Curva granulométrica comprobación método Triangulo de Feret suelo E-A-B capa sub-Base.....	86
Grafico 26.	Curva granulométrica comprobación método Granulométrico suelo E-A-B capa sub- Base	87
Grafico 27.	Curva granulométrica comprobación método Grafico mezcla E-A-B capa sub-Base.....	88
Grafico 28.	Gráfico De Curva T-180 Capa Base Y Sub Base	89
Grafico 29.	Histograma CBR –Densidad.....	90
Grafico 30.	Media Combinación vs Comprobación método Triangulo de Feret capa Base.....	94
Grafico 31.	Media Combinación vs Comprobación método Triangulo de Feret capa sub Base	96
Grafico 32.	Media Combinación vs Comprobación método Granulométrico capa Base.....	99
Grafico 33.	Media Combinación vs Comprobación método Granulométrico capa sub-Base.....	101
Grafico 34.	Media Combinación vs Comprobación método Grafico capa Base	104
Grafico 35.	Media Combinación vs Comprobación método Gráfico capa sub Base	106
Grafico 36.	Variaciones Método de Tukey capa Base.....	112
Grafico 37.	Variaciones Método de Tukey capa Sub Base.....	116
Grafico 38.	Combinaciones adecuadas para capa base método Triangulo de Feret ...	125
Grafico 39.	Combinaciones adecuadas para capa Base método Granulométrico	126
Grafico 40.	Combinaciones adecuadas para capa Base método Grafico	126
Grafico 41.	Rango De CBR Mínimo Para Capa Base	127
Grafico 42.	Combinaciones adecuadas para capa Sub Base Método Triangulo de Feret	149
Grafico 43.	Combinaciones adecuadas para capa Sub Base método Granulométrico	150
Grafico 44.	Combinaciones adecuadas para capa Sub Base Método Grafico	150
Grafico 45.	Rango De CBR Mínimo Para Capa Sub Base	151