

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



**“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE MATERIALES
DE SUB RASANTE, ESTABILIZADOS CON ASFALTO
ESPUMADO”**

Por:

LUIS ERNESTO JURADO GARECA

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 - 2021

TARIJA – BOLIVIA

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

“DPTO. DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN”

**“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE MATERIALES
DE SUB RASANTE, ESTABILIZADOS CON ASFALTO
ESPUMADO”**

Por:

LUIS ERNESTO JURADO GARECA

**SEMESTRE I - 2021
TARIJA – BOLIVIA**

El Tribunal Calificador del presente trabajo no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el presente trabajo; siendo la misma responsabilidad solo de autor.

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a mis padres José Gonzalo Jurado y mi madre María Teresa Gareca ya que fueron la fortaleza para seguir adelante gracias a su amor y dedicación.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios por haberme dado vida, fe y sabiduría, fortaleciendo mi perseverancia para alcanzar este objetivo.

A mis queridos padres, por todo su apoyo incondicional, cariño e infinita paciencia.

A mis abuelos por haberme apoyado en esta meta y hoy desde el cielo festejan conmigo este logro.

PENSAMIENTO:

“Hoy estas donde tus pensamientos
te han traído; mañana estarás donde
tus pensamientos te lleven.”

_James
Allen_

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página.
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 SITUACIÓN PROBLEMICA.....	2
1.2.1 PROBLEMA.....	3
1.2.2 RELEVANCIA Y FACTIBILIDAD DEL PROBLEMA.....	3
1.2.3 DELIMITACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL PROBLEMA.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 HIPÓTESIS.....	5
1.5 OBJETIVOS.....	5
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	6
1.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	6
1.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	6
1.7 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	9
1.8 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL.....	9
1.8.1 UNIDAD DE ESTUDIO.....	9
1.8.2 POBLACIÓN.....	10
1.8.3 MUESTRA.....	10
1.8.4 SELECCIÓN DE LAS TECNICAS DE MUESTREO.....	11
1.9 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.....	11
1.10 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	12
1.11 ALCANCE DEL ESTUDIO DE APLICACIÓN.....	15

CAPÍTULO II

GENERALIDADES Y DEFINICIONES

	Página.
2.1 SUELO.....	16
2.1.1 ARCILLA	16
2.1.2 LIMO	17
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS	17
2.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD	17
2.2.2 LÍMITES DE ATTERBERG.....	18
2.2.3 GRANULOMETRÍA	19
2.2.4 PESO ESPECÍFICO.....	21
2.2.5 COMPACTACIÓN DEL SUELO.....	21
2.2.6 C.B.R. (CALIFORNIA BEARING RATIO).....	22
2.2.7 COMPRESIÓN SIMPLE	24
2.3 ESTUDIO DE LA SUB RASANTE	26
2.3.1 DEFINICIÓN	26
2.3.2 FUNCIÓN DE LA SUB RASANTE.....	26
2.3.3 POSIBILIDAD DE MEJORAMIENTO DE LA SUB RASANTE	26
2.4 ESTABILIZACIÓN	27
2.4.1 MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	27
2.4.2 ESTABILIZACIÓN QUÍMICA.....	27
2.4.2.1 EESTABILIZACIÓN CON ASFALTO.....	28
2.4.3 PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LA ESTABILIZACIÓN	29
2.4.4 VENTAJAS DE LA ESTABILIZACIÓN	29
2.4.5 PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO	30
2.5 CEMENTO ASFALTICO.....	31
2.5.1 ESPECIFICACIONES NECESARIAS PARA EL CEMENTO ASFALTICO	32

2.5.2	PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFALTICO.....	33
2.5.3	CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS.....	34
2.5.4	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO.....	40
2.6	ASFALTO ESPUMADO	41
2.6.1	PRODUCCIÓN DEL ASFALTO ESPUMADO	41
2.6.2	PROPIEDADES DEL ASFALTO ESPUMADO	42
2.6.3	VENTAJAS DEL ASFALTO ESPUMADO.....	45
2.6.4	CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO.....	45
2.6.5	APLICACIONES DEL ASFALTO ESPUMADO	46

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ESTABILIZADOS

	Página.	
3.1	INTRODUCCIÓN	47
3.2	RECONOCIMIENTO Y UBICACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.....	48
3.3	UNIDAD DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL.....	51
3.3.1	MUESTRA.....	51
3.3.2	MUESTREO	51
3.3.3	CÁMARA DE EXPANSIÓN.....	51
3.3.4	MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.....	52
3.3.5	ELECCIÓN DEL PORCENTAJE OPTIMO DE AGUA A INYECTAR.	52
3.4	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS.....	53
3.4.1	CONTENIDO DE HUMEDAD	54
3.4.2	PESO ESPECÍFICO.....	55
3.4.3	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	57
3.4.4	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDRÓMETRO.....	62

3.4.5	LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO	64
3.4.6	CLASIFICACIÓN DE SUELOS	68
3.4.7	COMPACTACIÓN ESTÁNDAR	69
3.4.8	ENSAYO DE C.B.R. (CALIFORNIA BEARING RATIO).....	72
3.4.9	ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE	83
3.5	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFALTICO	86
3.5.1	ENSAYO DE VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL.....	86
3.5.2	ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN	88
3.5.3	ENSAYO DE PENETRACIÓN	90
3.5.4	ENSAYO DE DUCTILIDAD	91
3.5.5	ENSAYO DE PESO ESPECÍFIO	93
3.6	RELACIÓN DE EXPANSIÓN Y VIDA MEDIA.....	95
3.7	ESTABILIZACIÓN CON ASFALTO ESPUMADO.....	100
3.7.1	DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD OPTIMA Y LA MÁXIMA DENSIDAD UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE ASFALTO ESPUMADO COMO ESTABILIZANTE	101
3.7.2	DETERMINACIÓN DEL C.B.R. Y EXPANSIÓN DEL SUELO ESTABILIZADO A DIFERENTES PORCENTAJES DE ASFALTO ESPUMADO COMO ESTABILIZANTE.....	103
3.7.3	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE DEL SUELO ESTABILIZADO A DIFERENTES PORCENTAJES DE ASFALTO ESPUMADO COMO ESTABILIZANTE.	107
3.8	RESULTADOS OBTENIDOS.....	110
3.8.1	RESULTADOS ALCANZADOS PARA LAS 2 MUESTRAS DE SUELO.....	110
3.8.2	EVALUACIÓN TÉCNICA DE RESULTADOS	111
3.9	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS REFERENCIALES	112
3.9.1	COSTOS DIRECTOS	113
3.9.2	COSTOS INDIRECTOS	113

3.9.3	PRECIO UNITARIO DE LA ESTABILIZACIÓN.....	114
3.9.4	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	114
3.10	ACTIVIDADES DE MAYOR IMPACTO AMBIENTAL DURANTE LA ESTABILIZACIÓN.....	115
3.10.1	ANÁLISIS AMBIENTAL	116
3.11	ANÁLISIS SOCIAL	117
3.11.1	EFFECTOS DIRECTOS	117
3.11.2	EFFECTOS INDIRECTOS	117

CAPITULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

		Página.
4.1	CONCLUSIONES	119
4.2	RECOMENDACIONES	121

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ANEXO I.- GUIAS DE LABORATORIO.

ANEXO II.- MANUAL DE ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ASFALTO ESPUMADO.

ANEXO III.- FOTOGRAFIAS DE LOS ENSAYOS.

ANEXO IV.- PLANILLAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 2.5 Estados del suelo, límite de plasticidad.....	19
Figura 2.6 Vista del equipo CBR en perfil.	23
Figura 2.7 Especificaciones del CBR y expansión.....	24
Figura 2.8 Diagrama de prueba de penetración	38
Figura 2.9 Equipo de penetración de laboratorio.....	40
Figura 2.10 Cámara de expansión	41
Figura 2.11 Optimización de la razón de expansión y vida media	44
Figura 3.1 Ubicación del primer sitio de estudio: barrio 2 de Mayo	48
Figura 3.2 Tramo donde se extrajo la muestra de suelo: barrio 2 de Mayo	49
Figura 3.3 Ubicación del segundo sitio de estudio: carretera San Pedro	50
Figura 3.4 Tramo donde se extrajo la muestra: carretera San Pedro	50
Figura 3.5 Taras con muestra de suelo.....	54
Figura 3.6 Ensayo de peso específico	56
Figura 3.7 Grafica de tamizado de cada abertura de malla.....	58
Figura 3.8 Ensayos de hidrómetro finales.	62
Figura 3.9 Copa de Casagrande con muestra para ensayo de límite líquido.	65
Figura 3.10 Ensayo de limite plástico.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1.1 Clasificación de suelos según AASTHO.....	10
Tabla 2.1 Rangos de granulometría para estabilización.....	20
Tabla 2.2 Rangos de gravedad específica propuestos por Bowels	21
Tabla 2.3 Clasificación de suelos según C.B.R.	22
Tabla 2.4 Clasificación de acuerdo a su consistencia y carga última de suelo.....	25
Tabla 2.5 Requisitos para cemento asfáltico clasificado por viscosidad a 60° C	36
Tabla 2.6 Requisitos para cemento asfáltico clasificado por viscosidad a 60° C	37
Tabla 2.7 Sistema de clasificación por penetración para cemento asfáltico	39
Tabla 2.8 Guía de valores para el contenido óptimo de asfalto	46
Tabla 3.1 Ensayos de laboratorio para caracterización de suelo puro	53
Tabla 3.2 Resultados de contenido de humedad promedio de suelos 1 y 2.....	55
Tabla 3.3 Resultados de peso específico de suelos 1 y 2.....	56
Tabla 3.4 Comparación de peso específico de suelos 1 y 2.....	57
Tabla 3.5 Granulometría promedio suelo 2 de Mayo.....	59
Tabla 3.6 Granulometría promedio suelo San Pedro.....	60
Tabla 3.7 Comparación granulometría de suelos 1 y 2 con tabla.	61
Tabla 3.8 Resultados hidrómetro de suelos 1 y 2.	63
Tabla 3.9 Resultados de límite líquido de suelos 1 y 2.....	66
Tabla 3.10 Resultados de límite Plástico de suelos 1 y 2.	67
Tabla 3.11 Resultados de índice de plasticidad de suelos 1 y 2.....	67
Tabla 3.12 Resultados de índice de grupo de suelos 1 y 2.	67
Tabla 3.13 Comparación de resultados con tabla 2.1 en suelos 1 y 2.	68
Tabla 3.14 Resumen de clasificación de los suelos 1 y 2.	69

Tabla 3.15 Resultados de compactación promedio suelo 1.....	70
Tabla 3.16 Resultados de compactación promedio suelo 2.....	71
Tabla 3.17 Resultados de ensayo CBR 1, suelo 1.....	74
Tabla 3.18 Resultados de ensayo CBR 2, suelo 1.....	75
Tabla 3.19 Resultados de ensayo CBR 3 suelo 1.....	77
Tabla 3.20 Resultados de ensayo CBR 1, suelo 2.....	79
Tabla 3.21 Resultados de ensayo CBR 2, suelo 2.....	80
Tabla 3.22 Resultados de ensayo CBR 3, suelo 2.....	82
Tabla 3.23 Resultados de ensayo CBR promedio suelo 1.....	82
Tabla 3.24 Resultados de ensayo CBR promedio suelo 2.....	83
Tabla 3.25 Resultados de ensayo CBR promedio suelo 2.....	83
Tabla 3.26 Resultados de resistencia a compresión suelos 1 y 2.....	85
Tabla 3.27 Resultados de resistencia a compresión suelos 1 y 2.....	86
Tabla 3.28 Resultados de ensayo de viscosidad.....	88
Tabla 3.29 Resultados de ensayo de punto de inflamación.....	89
Tabla 3.30 Resultados de ensayo de penetración.....	91
Tabla 3.31 Resultados de ensayo de ductilidad.....	92
Tabla 3.32 Resultados de ensayo de peso específico.....	94
Tabla 3.33 Resultados de ensayo de RE y VM a 140°C.....	96
Tabla 3.34 Resultados de ensayo de RE y VM a 150°C.....	97
Tabla 3.35 Resultados de ensayo de RE y VM a 160°C.....	98
Tabla 3.36 Resultados de ensayo de RE y VM a 170°C.....	99
Tabla 3.37 Humedad optima y máxima densidad alcanzada a diferentes porcentajes de suelo 1 – asfalto E.....	101
Tabla 3.38 Humedad optima y máxima densidad alcanzada a diferentes porcentajes de suelo 2 – asfalto E.....	102

Tabla 3.39 CBR al 100% y CBR al 95% de la mezcla suelo 1 - asfalto E.	103
Tabla 3.40 CBR al 100% y CBR al 95% de la mezcla suelo 2 - asfalto E.	104
Tabla 3.41 Expansión de la mezcla del suelo 1 - asfalto E.....	105
Tabla 3.42 Expansión de la mezcla del suelo 2 - asfalto E.....	106
Tabla 3.43 Resistencia última a compresión simple del suelo 1 - asfalto E.....	107
Tabla 3.44 Resistencia última a compresión simple del suelo 2 - asfalto E.....	108
Tabla 3.45 Resumen de propiedades del suelo 1 estabilizado.....	110
Tabla 3.46 Resumen de propiedades del suelo 2 estabilizado.....	111
Tabla 3.47 Resultado de cálculo de precio unitario de estabilización por m ³	114
Tabla 3.48 Especificaciones de la recicladora Wirtgen 2500s.	115
Tabla 3.49 Actividades que generan impacto ambiental al estabilizar.	115
Tabla 3.50 Actividades que generan impacto ambiental al estabilizar.	116

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página.
Gráfica 2.1 Estados del suelo, límite de plasticidad.....	20
Grafica 2.2 Esfuerzo vs deformación a distintos CBR.....	23
Gráfica 2.3 Relación entre propiedades del asfalto espumado.....	44
Grafica 3.1 Curva Granulométrica – suelo 2 de Mayo.	60
Gráfica 3.2 Curva Granulométrica – suelo San Pedro	61
Gráfica 3.3 Granulometría hidrómetro – suelo 2 de Mayo.....	63
Gráfica 3.4 Granulometría hidrómetro – suelo San Pedro.....	64
Grafica 3.5 Curva Proctor modificado T-99 suelo 1.	71
Grafica 3.6 Curva Proctor modificado T-99 suelo 2	71
Grafica 3.7 Curva carga-penetración (CBR 1) suelo1	73
Grafica 3.8 Curva CBR-peso unitario (CBR 1) suelo 1	73
Grafica 3.9 Curva Expansión-peso unitario (CBR 1) suelo 1	74
Grafica 3.10 Curva carga-penetración (CBR 2) suelo 1	74
Grafica 3.11 Curva CBR-peso unitario (CBR 2) suelo 1.....	75
Grafica 3.12 Curva Expansión-peso unitario (CBR 2) suelo 1	75
Grafica 3.13 Curva carga-penetración (CBR 3) suelo 1.	76
Grafica 3.14 Curva CBR-peso unitario (CBR 3) suelo 1.....	76
Grafica 3.15 Curva Expansión-peso unitario (CBR 3) suelo 1	77
Grafica 3.16 Curva carga-penetración (CBR 1) suelo2.	78
Grafica 3.17 Curva CBR-peso unitario (CBR 1) suelo 2.....	78
Grafica 3.18 Curva Expansión-peso unitario (CBR 1) suelo 2.	79
Grafica 3.19 Curva carga-penetración (CBR 2) suelo2.	79
Grafica 3.20 Curva CBR-peso unitario (CBR 2) suelo 2.....	80
Grafica 3.21 Curva Expansión-peso unitario (CBR 2) suelo 2.	80

Grafica 3.22 Curva carga-penetración (CBR 3) suelo2.	81
Grafica 3.23 Curva CBR-peso unitario (CBR 3) suelo 2.....	81
Grafica 3.24 Curva Expansión-peso unitario (CBR 3) suelo 2.	82
Grafica 3.25 Esfuerzo vs Deformación suelo San Pedro	85
Grafica 3.26 Esfuerzo vs Deformación suelo 2 de Mayo	85
Grafica 3.27 Curva Expansión -Vida media – 140 °C.....	96
Grafica 3.28 Curva Expansión -Vida media – 150 °C.....	97
Grafica 3.29 Curva Expansión -Vida media – 160 °C.....	98
Grafica 3.30 Curva Expansión -Vida media – 170 °C.....	99
Grafica 3.31 Curvas de compactación para la mezcla suelo 1 - Asfalto E. a diferentes porcentajes de estabilizante.	101
Grafica 3.32 Curvas de compactación para la mezcla suelo 2 -Asfalto E. a diferentes porcentajes de estabilizante.	102
Grafica 3.33 Influencia del % de asfalto E. en el CBR con relación al suelo natural.	103
Grafica 3.34 Influencia del % de asfalto E. en el CBR con relación al suelo natural.	104
Grafica 3.35 Influencia del % de asfalto E. en la expansión con relación al suelo natural.	105
Grafica 3.36 Influencia del % de asfalto E. en la expansión con relación al suelo natural.	106
Grafica 3.37 Influencia del % de asfalto E. en la carga ultima.	107
Grafica 3.38 Grafica Esfuerzo Deformación.....	108
Grafica 3.39 Influencia del % de asfalto E. en la carga ultima.	109
Grafica 3.40 Grafica Esfuerzo Deformación.....	109