

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



“ESTUDIO DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO
COHESIVO- SIKA DUST SEAL”

Por:

JUAN JAVIER FERNÁNDEZ SEGOVIA

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 II - 2018

Tarija – Bolivia

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

**“ESTUDIO DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO COHESIVO-
SIKA DUST SEAL”**

Por:

JUAN JAVIER FERNÁNDEZ SEGOVIA

SEMESTRE II - 2018

TARIJA - BOLIVIA

V°B°

.....
M.Sc.Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez
**DECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....
M.Sc.Lic. Elizabeth Castro Figueroa
**VICEDECANA FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

.....
Ing. Ariel A. Aguirre Urquizu

.....
Ing. Ada G. López Rueda

.....
Ing. Moisés Díaz Ayarde

DEDICATORIAS:

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por brindarme el regalo de la vida y permitirme alcanzar mis metas, siendo mi fortaleza en los momentos difíciles. A mis padres; Juan Fernández Velásquez y Virginia Segovia por su sacrificio, amor, apoyo, confianza y ser ejemplo de perseverancia en mi vida.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a Dios por cuidarme y protegerme siempre, darme la salud, sabiduría y entendimiento para alcanzar este logro, a mis padres por su apoyo moral e incondicional, y darme la oportunidad de educación desde mi infancia, a mis hermanas por su ayuda.

PENSAMIENTO:

“No es erudición lo que necesita la juventud, ni enseñanza de tal o cual cosa, sino la inculcación del amor al deber, de la fidelidad a la confianza que en ella se deposita, del obrar con prontitud, del concentrar todas sus energías; hacer bien lo que se tiene que hacer”

Elbert Hubbard de “Un mensaje a García”

ÍNDICE

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	SITUACIÓN PROBLÉMICA.....	1
1.2.1	Conceptualización puntual del objeto de estudio.....	1
1.2.2	Descripción del fenómeno ocurrido	2
1.3	BREVE EXPLICACIÓN DE LA PERSPECTIVA DE SOLUCIÓN	2
1.4	DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.4.1	Problema de investigación.....	3
1.4.2	Delimitación de tiempo, factibilidad y espacio	3
1.5	OBJETIVOS	3
1.5.1	Objetivo general.....	3
1.5.2	Objetivos específicos.....	3
1.6	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	4
1.6.1	Hipótesis	4
1.6.2	Identificación de variables	4
1.7	IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.	4
1.8	UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL.	4
1.8.1	Unidad de estudio o muestreo.....	4
1.8.2	Población y muestra.	4
1.8.3	Tamaño de muestra.	5
1.8.3.1	Cálculo del número de ensayos.....	5
1.9	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS.	7

1.9.1	Listado de actividades a realizar.	7
1.9.2	Esquema de actividades en función a la perspectiva.....	11
1.10	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	12
1.10.1	Distribución t de Student.	12

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1	MARCO CONCEPTUAL	14
2.1.1	Estabilización de suelos.....	14
2.1.2	Razón de la estabilización	14
2.1.3	Ventajas de los suelos estabilizados.....	15
2.1.4	Métodos de estabilización	16
2.1.5	Propiedades de los suelos como subrasantes en carreteras.....	20
2.1.6	Suelos arcillosos características y propiedades	22
2.1.7	Incidencia de arcillas en obras viales	24
2.1.8	Suelos finos cohesivos.....	25
2.1.9	Peso específico relativo de los suelos.....	26
2.1.10	Granulometría de los suelos.....	27
2.1.10.1	Análisis granulométrico por mallas.....	27
2.1.10.2	Análisis granulométrico por medio del Hidrómetro.....	27
2.1.10.3	Límites del tamaño para suelos	28
2.1.11	Límites de Atterberg.....	29
2.1.12	Sistemas de clasificación de los suelos	30

2.1.12.1	Sistemas AASHTO.....	30
2.1.12.2	Sistemas unificado de clasificación de suelo	32
2.1.13	Compactación.....	34
2.1.14	Ensayo de la relación de soporte de California (CBR)	35
2.1.15	Aplicación en campo	37
2.1.16	Aspectos negativos del producto.....	42
2.2	MARCO REFERENCIAL	42
2.3	MARCO NORMATIVO	42
2.4	POSICIÓN DEL INVESTIGADOR.....	43

CAPÍTULO III

CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1	RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE APLICACIÓN.	45
3.2	MÉTODO DE MUESTREO	45
3.3	UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS	47
3.3.1	Ubicación del barrio Lourdes	47
3.3.2	Ubicación del barrio Constructor.....	51
3.3.3	Ubicación del barrio Paraíso.....	56
3.4	OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS.....	59
3.5	DENOMINACIÓN DE LAS MUESTRAS	59
3.6	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO NATURAL	59
3.6.1	Caracterización física.	60
3.6.2	Caracterización mecánica.	60

3.7	PREPARACIÓN DEL SUELO	61
3.8	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	61
3.8.1	Contenido de humedad (ASTM D2216).....	61
3.8.2	Análisis granulométrico por tamizado método de lavado (ASTM D422 AASHTO T88).....	62
3.8.3	Determinación del límite líquido (ASTM D4318 AASHTO T89).....	63
3.8.4	Determinación del límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318 AASHTO T90).....	65
3.8.5	Resultados de los ensayos de caracterización física del suelo natural y determinación de los suelos a estabilizar.....	66
3.8.6	Resumen de los tipos de suelo a estabilizar.....	69
3.8.7	Determinación del peso específico de los suelos (ASTM D854 AASHTO T 100).....	69
3.8.7.1	Calibración de frascos volumétricos	69
3.8.7.2	Determinación del peso específico de los suelos	70
3.8.8	Resultados de los ensayos de peso específico de los suelos (ASTM D854 AASHTO T 100)	70
3.8.9	Análisis granulométrico por medio del hidrómetro (ASTM D422).....	71
3.8.10	Resultados de los ensayos del análisis granulométrico por medio del hidrómetro (ASTM D422).....	72
3.8.11	Ensayo de compactación (Proctor modificado) (AASHTO T180).....	73
3.8.12	Resultados de los ensayos de compactación del suelo natural.	74
3.8.13	Determinación de la relación de soporte del suelo en laboratorio (CBR de laboratorio) (ASTM D1883 AASHTO T193).....	74
3.8.14	Resultados de los ensayos de la relación de soporte del suelo natural en laboratorio (CBR de laboratorio) (ASTM D1883 AASHTO T193).....	77

CAPÍTULO IV
DISEÑO, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4	DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	78
4.1	DOSIFICACIÓN.....	78
4.2	PREPARACIÓN DE MEZCLAS VARIANDO PORCENTAJES DE SIKA DUST SEAL.....	79
4.3	EVALUACIÓN DEL SUELO- SIKA DUST SEAL	81
4.3.1	Caracterización del suelo-Sika Dust Seal.....	82
4.3.2	Determinación de la relación de soporte del suelo-Sika Dust Seal.....	82
4.4	RESUMEN DE RESULTADOS (ESTABILIZADOS).....	85
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE SUELO-SIKA DUST SEAL.....	89
4.5.1	Análisis de los ensayos de suelo A-4(8)-Sika Dust Seal (barrio Lourdes).....	89
4.5.2	Análisis de los ensayos de suelo A-6(10)-Sika Dust Seal (barrio Constructor).	96
4.5.2	Análisis de los ensayos de suelo A-7-6(10)-Sika Dust Seal (barrio Paraíso).	101
4.6	PORCENTAJE RECOMENDABLE DE SIKA DUST SEAL PARA CADA SUELO.....	106
4.6.1	Porcentaje recomendable de Sika Dust Seal para la muestra de suelo A- 4(8)	107
4.6.2	Porcentaje recomendable de Sika Dust Seal para la muestra de suelo A- 6(10).....	107
4.6.3	Porcentaje recomendable de Sika Dust Seal para la muestra de suelo A- 7-6(10)	108

4.7	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	109
4.7.1	Aplicación de la Distribución t de Student para la variable dependiente “CBR”	109
4.7.1	Aplicación de la Distribución t de Student para la variable dependiente “Índice de plasticidad”	118
4.8	CÁLCULO DE RENDIMIENTOS	126
4.8.1	Cálculo del rendimiento para 1 m ³ de suelo A-4(8) estabilizado.....	126
4.8.2	Cálculo del rendimiento para 1 m ³ de suelo A-6(10) estabilizado.	127
4.8.3	Cálculo del rendimiento para 1 m ³ de suelo A-7-6(10) estabilizado.	128
4.9	ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO	129
4.9.1	Análisis técnico-económico para el suelo A-4(8).	129
4.9.2	Análisis técnico-económico para el suelo A-6(10).	130
4.9.3	Análisis técnico-económico para el suelo A-7-6(10).	131
4.10	ANÁLISIS DE TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE PARA UN METRO CÚBICO.....	132

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES.....	133
5.2	RECOMENDACIONES.....	136
	BIBLIOGRAFÍA	137

ANEXOS

ANEXO I	HOJA TÉCNICA DEL SIKA DUST SEAL
ANEXO II	ZONAS DE MUESTREO
ANEXO III	CARACTERIZACIONES DE SUELOS NATURALES
ANEXO IV	TRATAMIENTO SUELO – SIKA DUST SEAL
ANEXO V	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO
ANEXO VI	TABLAS PARA EL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO
ANEXO VII	ANÁLISIS DE COSTOS
ANEXO VIII	VALIDACIÓN DEL PRODUCTO SIKA DUST SEAL

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Cálculo del número de ensayos	5
Cuadro 2: Número de ensayos por variable dependiente.....	6
Cuadro 3: Métodos de estabilización.....	16
Cuadro 4: Categorías de suelos para terracerías y capa subrasante.....	22
Cuadro 5: Límites del tamaño para suelos.	29
Cuadro 6: Clasificación de suelos sistema AASHTO.	31
Cuadro 7: Clasificación de suelos sistema unificado.....	32
Cuadro 8: Especificaciones para prueba de Proctor estándar (ASTM D698-91).....	34
Cuadro 9: Especificaciones para prueba de Proctor modificada (ASTM D 1557-91).....	35
Cuadro 10: Normativa de ensayos	43
Cuadro 11: Caracterización física del suelo	60
Cuadro 12: Caracterización mecánica del suelo.....	60
Cuadro 13: Resultados de los ensayos de caracterización física del suelo natural perteneciente al barrio Lourdes	66

Cuadro 14: Resultados de los ensayos de caracterización física del suelo natural perteneciente al barrio Constructor.....	67
Cuadro 15: Resultados de los ensayos de caracterización física del suelo natural perteneciente al barrio Paraíso	68
Cuadro 16: Suelos a ser tratados con Sika Dust Seal	69
Cuadro 17: Resultados de los ensayos de peso específico del suelo natural	70
Cuadro 18: Resultados de los ensayos del análisis granulométrico por medio del hidrómetro del suelo natural.....	72
Cuadro 19: Resultados de los ensayos de compactación del suelo natural.....	74
Cuadro 20: Relación de soporte del suelo natural (CBR de laboratorio) (ASTM D1883 AASHTO T193).....	77
Cuadro 21: Ensayos para la evaluación (suelo – Sika Dust Seal)	81
Cuadro 22: Resumen de la clasificación del suelo del barrio Lourdes a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal	85
Cuadro 23: Descripción de la clasificación del suelo del barrio Lourdes a distintos porcentajes de Sika Dust Seal	85
Cuadro 24: Resumen de las características mecánicas del suelo del barrio Lourdes a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal.....	86
Cuadro 25: Resumen de la clasificación del suelo del barrio Constructor a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal	86
Cuadro 26: Descripción de la clasificación del suelo del barrio Constructor a distintos porcentajes de Sika Dust Seal	87
Cuadro 27: Resumen de las características mecánicas del suelo del barrio Constructor a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal	87
Cuadro 28: Resumen de la clasificación del suelo del barrio Paraíso a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal	88

Cuadro 29: Descripción de la clasificación del suelo del barrio Paraíso a distintos porcentajes de Sika Dust Seal	88
Cuadro 30: Resumen de las características mecánicas del suelo del barrio Paraíso a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal.....	89
Cuadro 31: Valores de CBR del suelo A-4(8) a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal	90
Cuadro 32: Expansión del suelo A-4(8) a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal	91
Cuadro 33: Compactación del suelo A-4(8) a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal	92
Cuadro 34: Valores de CBR del suelo A-6(10) a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal	96
Cuadro 35: Expansión del suelo A-6(10) a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal	97
Cuadro 36: Compactación del suelo A-6(10) a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal	98
Cuadro 37: Valores de CBR del suelo A-7-6(10) a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal.	101
Cuadro 38: Expansión del suelo A-7-6(10) a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal	102
Cuadro 39: Compactación del suelo A-7-6(10) a diferentes porcentajes de Sika Dust Seal	103
Cuadro 40: Cantidad recomendable de Sika Dust Seal para la muestra suelo A-4(8) perteneciente al Barrio Lourdes	107
Cuadro 41: Cantidad recoemndable de Sika Dust Seal para la muestra suelo A-6(10) perteneciente al Barrio Constructor.....	107

Cuadro 42: Cantidad recomendable de Sika Dust Seal para la muestra suelo A-7-6(10) perteneciente al Barrio Paraíso	108
Cuadro 43: Datos de CBR del suelo A-4(8) para ser sometidos al tratamiento estadístico.....	109
Cuadro 44: Datos de CBR del suelo A-6(10) para ser sometidos al tratamiento estadístico.....	112
Cuadro 45: Datos de CBR del suelo A-7-6(10) para ser sometidos al tratamiento estadístico.....	115
Cuadro 46: Datos de índice de plasticidad del suelo A-4(8) para ser sometidos al tratamiento estadístico	118
Cuadro 47: Datos de índice de plasticidad del suelo A-6(10) para ser sometidos al tratamiento estadístico.....	121
Cuadro 48: Datos de índice de plasticidad del suelo A-7-6(10) para ser sometidos al tratamiento estadístico.....	124
Cuadro 49: Tiempo de estabilización de subrasante para un metro cúbico	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución t de Student.....	13
Figura 2: Carta de plasticidad.....	33
Figura 3: Escarificación del suelo a tratar.....	38
Figura 4: Preparación de la mezcla Sika Dust Seal + agua.....	38
Figura 5: Riego de solución Sika Dust Seal + agua en el camino a tratar	39
Figura 6: Mezcla de suelo con la solución Sika Dust Seal + agua	39
Figura 7: Corrección del perfil de la calzada	40
Figura 8: Compactación de suelo tratado.....	40

Figura 9: Maquinaria y/o equipo necesario.....	41
Figura 10: Ubicación de la zona de muestreo L-1.....	48
Figura 11: Extracción de muestra L-1	48
Figura 12: Ubicación de la zona de muestreo L-2.....	49
Figura 13: Ubicación de la zona de muestreo L-3.....	49
Figura 14: Ubicación de la zona de muestreo L-4.....	50
Figura 15: Ubicación de la zona de muestreo L-5.....	50
Figura 16: Ubicación de la zona de muestreo C-1.....	52
Figura 17: Extracción de la muestra C-1.....	52
Figura 18: Ubicación de la zona de muestreo C-2.....	53
Figura 19: Extracción de la muestra C-2.....	53
Figura 20: Ubicación de la zona de muestreo C-3.....	54
Figura 21: Ubicación de la zona de muestreo C-4.....	54
Figura 22: Ubicación de la zona de muestreo C-5.....	55
Figura 23: Extracción de la muestra C-5.....	55
Figura 24: Ubicación de la zona de muestreo P-1	57
Figura 25: Ubicación de la zona de muestreo P-2.....	57
Figura 26: Ubicación de la zona de muestreo P-3	58
Figura 27: Extracción de la muestra P-3.....	58
Figura 28: Tamizado del material.....	61
Figura 29: Método del lavado.....	63
Figura 30: Colocado de la muestra al aparato Casa Grande	64
Figura 31: Determinación de límite líquido del suelo	65
Figura 32: Determinación de límite plástico del suelo	66

Figura 33: Muestra con deflocutante	71
Figura 34: Lectura del hidrómetro	72
Figura 35: Homogeneización de la muestra a compactar	73
Figura 36: Compactación del material	74
Figura 37: Determinación de las propiedades expansivas del suelo.....	75
Figura 38: Compactación de moldes CBR	76
Figura 39: Determinación de la resistencia a la penetración.....	77
Figura 40: Preparación de la muestra Suelo - Sika Dust Seal.....	79
Figura 41: Dosificación de Sika Dust Seal.....	82
Figura 42: Compactación de moldes CBR Suelo – Sika Dust Seal.....	83
Figura 43: Muestra sumergida a un nivel de agua constante	84
Figura 44: Drenado de probetas.....	84
Figura 45: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en el CBR del suelo A-4(8) del barrio Lourdes.....	90
Figura 46: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en la expansión del suelo A-4(8) del barrio Lourdes	91
Figura 47: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en la densidad máxima del suelo A-4(8) del barrio Lourdes	92
Figura 48: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en la humedad óptima del suelo A-4(8) del barrio Lourdes	93
Figura 49: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en los límites de consistencia del suelo A-4(8) del barrio Lourdes.....	94
Figura 50: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en el análisis granulométrico por medio del hidrómetro del suelo A-4(8) del barrio Lourdes.....	95

Figura 51: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en el CBR del suelo A-6(10) del barrio Constructor	96
Figura 52: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en la expansión del suelo A-6(10) del barrio Constructor	97
Figura 53: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en la densidad máxima del suelo A-6(10) del barrio Constructor	98
Figura 54: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en la humedad óptima del suelo A-6(10) del barrio Constructor	99
Figura 55: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en los límites de consistencia del suelo A-6(10) del barrio Constructor	100
Figura 56: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en el análisis granulométrico por medio del hidrómetro del suelo A-6(10) del barrio Constructor	100
Figura 57: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en el CBR del suelo A-7-6(10) del barrio Paraíso	101
Figura 58: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en la expansión del suelo A-7-6(10) del barrio Paraíso	103
Figura 59: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en la densidad máxima del suelo A-7-6(10) del barrio Paraíso	104
Figura 60: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en la humedad óptima del suelo A-7-6(10) del barrio Paraíso	104
Figura 61: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en los límites de consistencia del suelo A-7-6(10) del barrio Paraíso	105
Figura 62: Influencia del estabilizante Sika Dust Seal en el análisis granulométrico por medio del hidrómetro del suelo A-7-6(10) del barrio Paraíso	106
Figura 63: Análisis técnico-económico para el suelo A-4(8)	129

Figura 64: Análisis técnico-económico para el suelo A-6(10).....	130
Figura 65: Análisis técnico-económico para el suelo A-7-6(10).....	131
Figura 66: Análisis comparativo de tiempo de estabilización en campo para un metro cúbico	132