

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



**“EVALUACIÓN DE SUELO – CEMENTO COMO
ALTERNATIVA DE CAPA SUB-BASE EN PAVIMENTO
RÍGIDO Y SU EFECTO ESTRUCTURAL APLICADO A LA
CIUDAD DE BERMEJO”**

Por:

NIVIA DANITZA SANCHEZ

Trabajo 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 - 2016
TARIJA – BOLIVIA

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

**“EVALUACIÓN DE SUELO – CEMENTO COMO
ALTERNATIVA DE CAPA SUB-BASE EN PAVIMENTO
RÍGIDO Y SU EFECTO ESTRUCTURAL APLICADO A LA
CIUDAD DE BERMEJO”**

Por:

NIVIA DANITZA SANCHEZ

SEMESTRE II - 2016

TARIJA - BOLIVIA

VºBº

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

.....
M.Sc.Ing. Silvana Paz Ramírez
VICEDECANA
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGIA

TRIBUNAL:

.....
Ing. Fernando Mur Lagraba

.....
Ing. Nelson Rodríguez L.

.....
Ing. Laura K. Soto Salgado

ADVERTENCIA

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

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 mi hermosa madre Isa Sánchez Barrientos por su sacrificio, amor, apoyo incondicional y ser ejemplo de valentía y perseverancia en mi vida.

A mi pequeña hermanita; Fernanda Iriel, mi motivo de fuerza para continuar y la bendición más grande en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por cuidarme y protegerme siempre, darme la salud, sabiduría y entendimiento para alcanzar este logro, a mi madre por haber creído siempre en mí y guiar mi camino en la vida.

Un agradecimiento a mi docente guía Ing. Jhonny Orgaz por sus consejos y su aliento para culminar esta etapa.

A todas las personas que estuvieron junto a mí, dándome el aliento para seguir adelante.

PENSAMIENTO:

“Reconoceré la recompensa porque constituye mi pago; pero daré acogida a los obstáculos porque constituyen para mí un desafío”

Og Mandino

ÍNDICE DE CONTENIDO

Advertencia
Dedicatoria
Agradecimiento
Pensamiento
Resumen

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Planteamiento del problema	3
1.3.1. Situación problemática	3
1.3.2. Problema.....	4
1.4. Hipótesis	4
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
1.6. Definición de variables dependientes e independientes	6
1.7. Alcance de la investigación.....	7

CAPÍTULO II
ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE EL
SUELO-CEMENTO
APLICADOS A SUB BASES DE PAVIMENTO RÍGIDO.

2.1.	Pavimento rígido.....	9
2.2.	Características y funciones de un pavimento rígido	9
2.3.	Propiedades de los pavimentos rígidos	11
2.4.	Componentes de pavimentos rígidos	11
2.4.1.	Sub rasante.	12
2.4.1.1.	Características	13
2.4.2.	Sub base.	13
2.4.3.	Losa (superficie de rodadura).	14
2.5.	Sub base de pavimentos rígidos	14
2.5.1.	Características	16
2.6.	Estabilización de suelos	18
2.7.	Suelo-cemento para sub base de pavimentos rígidos	20
2.7.1.	Desarrollo histórico	20
2.7.2.	Definición	21
2.7.3.	Clasificaciones	22
2.7.4.	Materiales	23
2.7.4.1.	Suelo.....	23
2.7.4.2.	Cemento	24

2.7.4.3.	Agua	25
2.7.5.	Propiedades de las bases estabilizadas con cemento.	26
2.7.5.1.	Densidad.....	27
2.7.5.2.	Resistencia a la compresión simple.....	29
2.7.5.3.	Resistencia a la tracción por flexión	35
2.7.5.4.	Módulo de elasticidad	35
2.7.6.	Aplicaciones.....	35
2.7.6.1.	Suelo-cemento en pavimentos.....	35
2.7.7.	Ventajas y limitaciones	37
2.7.8.	Diseño de mezclas	39
2.7.9.	Dosificación de suelo – cemento	41
2.7.9.1.	Método detallado propuesto por la portland Cement Association	41
2.7.9.2.	Método corto de la portland Cement Association	42
2.7.9.3.	Método rápido (PCA)	42
2.7.9.4.	Métodos basados en proporcionar el contenido de cemento de acuerdo a su clasificación granulométrica.....	42
2.7.10.	Procedimiento constructivo del suelo-cemento.....	42

CAPÍTULO III
INVESTIGACIÓN DE APLICABILIDAD DE SUELO-CEMENTO
EN LA CAPA SUB BASE DE UN PAVIMENTO RÍGIDO DE
NUESTRO MEDIO.

3.1.	Enfoque general de la investigación.....	50
3.2.	Localización del área de estudio	50
3.2.1.	Antecedentes y descripción del área de proyecto.....	52
3.3.	Selección del material	53
3.3.1.	Metodología para determinar el tamaño de la muestra.....	53
3.3.2.	Ubicación de calles para obtención de muestras.....	54
3.3.3.	Criterio de selección de la muestra	56
3.4.	Caracterización de los materiales	57
3.4.1.	Ensayos de caracterización en los suelos naturales.....	58
3.4.1.1.	Contenido de humedad de la muestra (ASTM D2216)	59
3.4.1.2.	Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 - AASTHO T-88)	61
3.4.1.3.	Determinación del límite líquido (ASTM D4318 AASHTO T89)	67
3.4.1.4.	Determinación del límite plástico (ASTM D4318 AASHTO T89)	71
3.4.1.5.	Clasificación del suelo.....	74
3.4.1.6.	Ensayo de compactación método modificado (MÉTODO “C” ASTM D422 AASHTO T180)	74
3.4.1.7.	Determinación de la relación de soporte del suelo en laboratorio (CBR de laboratorio) (ASTM D1883 AASHTO T193).	79

3.4.1.8.	Resumen de resultados	84
3.4.2.	Ensayos de caracterización en el cemento	85
3.4.3.	Agua a utilizar.	88
3.5.	Estudio de suelo-cemento.....	88
3.5.1.	Enfoque general	88
3.5.2.	Dosificación	88
3.5.3.	Preparación de mezclas de prueba variando porcentajes de cemento	89
3.5.4.	Evaluación del suelo-cemento.....	92
3.5.4.1.	Caracterización del Suelo-Cemento	92
3.5.4.2.	Determinación de la Relación de Soporte del Suelo-Cemento (CBR de laboratorio) (ASTM D1883 AASHTO T193).	96
3.5.4.3.	Ensayo de Resistencia a Compresión Simple INV E-614-13; ASTM D-1633.....	100
3.5.4.4.	Especímenes para el Ensayo a Flexión INV E-616-13	102
3.5.4.5.	Humedecimiento y Secado (ASTM D559 ASSTHO T135)	110
3.5.4.6.	Resultados de los Ensayos de SUELO-CEMENTO	117
3.5.4.7.	Análisis de resultados de las mezclas de suelo-cemento.....	131
3.5.4.8.	Análisis para determinar el suelo más óptimo para pruebas de durabilidad, compresión y flexión.....	141
3.5.4.9.	Diseño de pavimentos rígidos método de la AASHTO 93:	148
3.5.4.10.	Análisis de costos	151
3.5.4.11.	Comparación de características entre una subbase granular y suelo-cemento.....	152
3.5.4.12.	Tratamiento estadístico.....	153

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones	153
4.2. Recomendaciones	154

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO I	Resumen de clasificación de suelos del proyecto de las 180 cuadras de la ciudad de Bermejo
ANEXO II	Caracterización de los suelos naturales
ANEXO III	Estudio del suelo-cemento
ANEXO IV	Ensayos de resistencia a flexión, compresión y durabilidad
ANEXO V	Diseño de pavimento rígido AASHTO 93
ANEXO VI	Costos

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Sección de un Pavimento Rígido.....	9
Figura 2.2 Características Estructurales de los pavimentos.....	11
Figura 2.3 Elementos que constituyen la estructura de pavimento rígido	12
Figura. 2.4 Distribución de cargas de tráfico sobre la capa sub-base	14
Figura 2.5 Curva de densidad-humedad típica.	27
Figura 2.6 Resistencia a compresión simple según el porcentaje de cemento de distintos suelos.	31
Figura 2.7 Resistencia a compresión simple en función del tiempo de atraso de la compactación.	32
Figura 2.8 Ganancia de resistencia a compresión a largo plazo	33
Figura 2.9 Influencia del contenido de humedad en la resistencia a compresión simple.	34
Figura 2.10 Incremento del módulo de reacción de la sub-rasante k en suelos estabilizados con cemento	36
Figura 2.11 Distribución de esfuerzos para capas de suelo-cemento y estabilizado granular según PCA.....	38
Figura 2.12 Equipo escarificador-reciclador.	43
Figura 2.13 Distribución manual del cemento.	43
Figura 2.14 Camión distribuidor de cemento.....	44
Figura 2.15 Camión regador	44
Figura 2.16 Mezclado del suelo, cemento y agua mediante motoniveladora	45
Figura 2.17 Compactación mediante rodillo liso o pata de cabra.....	46
Figura 2.18 Riego de membrana asfáltica de curado	46

Figura 2.19	Mesclado en planta central	47
--------------------	----------------------------------	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 2.1	Categorías de suelos para Terracerías y capa Subrasante	13
Tabla 2.2	Requisitos Granulométricos de Materiales para Subbases.....	17
Tabla 2.3	Resumen de características que debe cumplir una sub base tipo granular	18
Tabla 2.4	Cantidades de cemento requeridos, PCA.	25
Tabla 2.5	Valores típicos de resistencia a compresión simple a 7 y 28 días.	30
Tabla 2.6	Valores típicos de contenido de cemento según tipo de suelo.....	39
Tabla 2.7	Porcentajes de pérdida de peso máximo en ensayos de durabilidad según tipo de suelo.....	40
Tabla 3.1	Resultados del Contenido de Humedad Natural	60
Tabla 3.2	Resultados de Granulometría del Suelo Natural	64
Tabla 3.3	Distribución granulométrica.....	66
Tabla 3.4	Resultados Correspondientes a la Plasticidad de los Suelos Naturales	73
Tabla 3.5	Clasificación de los Suelos según AASTHO y SUCS	74
Tabla 3.6	Resultados de Compactación del Suelo Natural	79
Tabla 3.7	Resultados de CBR de los Suelos Naturales	83
Tabla 3.8	Resumen de la caracterización de los suelos naturales	84
Tabla 3.9	Características del cemento EL PUENTE IP30	87
Tabla 3.10	Distribución de Porcentajes en cada Muestra	90

Tabla 3.11	Valores Promedio de Agua Retenida	116
Tabla 3.12	Resultados de Clasificación del Suelo de la Muestra N° 1 con Cemento	117
Tabla 3.13	Resultados de Compactación de la Muestra N° 1 con Cemento	117
Tabla 3.14	Resultados de CBR y Expansión de la Muestra N° 1 con Cemento ..	118
Tabla 3.15	Resultados de Clasificación del Suelo de la Muestra N° 2 con Cemento	119
Tabla 3.16	Resultados de Compactación de la Muestra N° 2 con Cemento	119
Tabla 3.17	Resultados de CBR y Expansión de la Muestra N° 2 con Cemento .	120
Tabla 3.18	Resultados de Clasificación del Suelo de la Muestra N° 3 con Cemento	121
Tabla 3.19	Resultados de Compactación de la Muestra N° 3 con Cemento	121
Tabla 3.20	Resultados de CBR y Expansión de la Muestra N° 3 con Cemento .	122
Tabla 3.21	Resultados de la Resistencia a Compresión al 3% de Cemento.....	123
Tabla 3.2	Resultados de la Resistencia a Compresión al 5% de Cemento.....	123
Tabla 3.23	Resultados de la Resistencia a Compresión al 7% de Cemento.....	124
Tabla 3.24	Resultados de la Resistencia a Compresión al 9% de Cemento.....	124
Tabla 3.25	Resultados de la Resistencia a Flexión al 3% de Cemento.....	125
Tabla 3.26	Resultados de la Resistencia a Flexión al 5% de Cemento.....	125
Tabla 3.27	Resultados de la Resistencia a Flexión al 7% de Cemento.....	126
Tabla 3.28	Resultados de la Resistencia a Flexión al 9% de Cemento.....	126
Tabla 3.29	Resultados de Humedecimiento Secado al 3% de cemento	129
Tabla 3.30	Resultados de Humedecimiento Secado al 5% de cemento	129

Tabla 3.31	Resultados de Humedecimiento Secado al 7% de cemento	130
Tabla 3.32	Resultados de Humedecimiento Secado al 9% de cemento.....	130
Tabla 3.33	Índice de Plasticidad suelo-cemento	131
Tabla 3.34	Tabla de clasificación de la mezcla suelo-cemento	134
Tabla 3.35	Resumen de Resultados de Compactación	135
Tabla 3.36	Resumen de valores de CBR de suelo-cemento	136
Tabla 3.37	Expansión del suelo-cemento.....	137
Tabla 3.38	Tabla Comparativa de Resultados al 3% de cemento	141
Tabla 3.39	Resumen de Resistencia a Compresión A 7,14 Y 28 Días	142
Tabla 3.40	Parámetros de control en la Resistencia a Compresión	143
Tabla 3.41	Resumen de Resistencia a Flexión a 7,14 Y 28 Días.....	145
Tabla 3.42	Parámetro de Control en base al Módulo de Rotura	146
Tabla 3.43	Porcentaje de incremento de 7,14 Y 28 Días	147
Tabla 3.44	Especificaciones de la subbase suelo cemento y espesor de la losa de pavimento.....	150
Tabla 4.1	Porcentaje de incremento en la resist. Compresión de 7 a 28 días.	157
Tabla 4.2	Porcentaje de incremento en la resist. Flexión de 7 a 28 días.....	157

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 3.1	Localización área de estudio	51
Imagen 3.2	Localización satelital del área de estudio.....	52
Imagen 3.3	Ubicación de las calles de extracción de muestras.	55
Imagen 3.4	Pesado De La Muestra Húmeda y secada en el horno	59
Imagen 3.5	Cortado de Material por Tamiz N°4 y Cantidad de Muestra	61
Imagen 3.6	Muestra en Saturación	62
Imagen 3.7	Lavado de la Muestra en Tamiz N° 200.....	62
Imagen 3.8	Muestra Retenida en Tamiz N° 200	63
Imagen 3.9	Retamizado de Suelo Seco y Cantidades Retenidas en cada Malla	63
Imagen 3.10	Calibración de Aparato Casagrande.....	67
Imagen 3.11	Material pasante por el Tamiz N° 40.....	68
Imagen 3.12	Preparación de la Mezcla	68
Imagen 3.13	Colocado y Moldeado de la muestra.....	69
Imagen 3.14	Conteo de Golpes	70
Imagen 3.15	Corte y Retiro del Material	70
Imagen 3.16	Peso de Muestra Húmeda y muestra Seca.....	71
Imagen 3.17	Preparación de la Muestra	75
Imagen 3.18	Mezclado del suelo.....	76
Imagen 3.19	Compactado.....	77
Imagen 3.20	Enrasado y Peso del Molde con Muestra	77
Imagen 3.21	Preparación de Material para CBR y muestras para Contenido de Humedad.....	80
Imagen 3.22	Mezcla de Suelo con Cemento	90
Imagen 3.23	Proporción de Cemento en la Mezcla	96
Imagen 3.24	Preparación de Suelo-Cemento para CBR y muestras para Contenido de Humedad.....	97

Imagen 3.25	Diagrama de un equipo para el ensayo de flexión del suelo-cemento usando una viga simplemente apoyada, cargada en los tercios de la luz.	106
Imagen 3.26	Prensa Universal.....	107
Imagen 3.27	Ubicación de los Apoyos y de las Cargas	108
Imagen 3.28	Lecturando la deformación en el extensómetro	109
Imagen 3.29	Primera Falla y Fractura en la viga	109

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica 3.1	Granulometría de la Muestra N° 1 65
Gráfica 3.2	Granulometría de la Muestra N° 2 65
Gráfica 3.3	Granulometría de la Muestra N° 3 66
Gráfica 3.4	Curvas de compactación con porcentajes de 3%, 5%, 7%, 9%, Muestra 1..... 118
Gráfica 3.5.	Curvas de compactación con porcentajes de 3%, 5%, 7%, 9% Muestra 2..... 120
Gráfica 3.6	Curvas de compactación con porcentajes de 3%, 5%, 7%, 9%, Muestra 3..... 122
Gráfica 3.7	Esfuerzo vs Deformación al 3% de Cemento 127
Gráfica 3.8	Esfuerzo vs Deformación al 5% de Cemento 127
Gráfica 3.9	Esfuerzo vs Deformación al 7% de Cemento 128
Gráfica 3.10	Esfuerzo vs Deformación al 9% de Cemento 128
Gráfica 3.11	Índice de Plasticidad vs % de Cemento (Muestra 1) 131
Gráfica 3.12	Índice de Plasticidad vs % de Cemento (Muestra 2) 132
Gráfica 3.13	Índice de Plasticidad vs % de Cemento (Muestra 3) 133

Gráfica 3.14	Densidad máxima vs % de Cemento	135
Gráfica 3.15	Influencia del Cemento en la Densidad Seca	136
Gráfica 3.16	Humedad Optima (%) vs % de Cemento	137
Gráfica 3.17	CBR vs % de Cemento	138
Gráfica 3.18	CBR vs % de Cemento	139
Gráfica 3.19	Expansión vs % de Cemento.....	140
Gráfica 3.20	Resistencia a Compresión VS % de Cemento	142
Gráfica 3.21	Resistencia a Flexión vs % de Cemento	145
Gráfica 3.22	Humedecimiento-secado vs % de Cemento.....	147
Gráfica 4.1	Índice de plasticidad vs % cemento.....	154
Gráfica 4.1	CBR vs % de cemento.....	155
Gráfica 4.1	Expansión vs % de cemento.....	156

ÍNDICE DE CUADROS

	Página	
Cuadro 3.1	Ensayos de Caracterización a los Suelos Naturales	58
Cuadro 3.2	Descripción de Realización del Ensayo	72
Cuadro 3.3	Compactación con diferentes energías	81
Cuadro 3.4	Procedimiento de Inmersión	82
Cuadro 3.5	Procedimiento de Rotura de CBR.	83
Cuadro 3.6	Ensayos Realizados para Suelo Cemento	92
Cuadro 3.7	Práctica de granulometría del suelo-cemento ASTM D422 AASHTOT88	93
Cuadro 3.8	Practica de Limites del suelo-cemento (ASTM D4318 AASHTO T89, AASHTO T90)	94
Cuadro 3.9	Práctica de Compactación del suelo-cemento (ASTM D422 AASHTO T180).....	95
Cuadro 3.10	Compactación del Suelo-cemento con diferentes energías.....	98

Cuadro 3.11	Procedimiento de Inmersión y penetración del ensayo CBR.....	99
Cuadro 3.12	Procedimiento de realización y de Rotura de Probetas a Compresión.	101
Cuadro 3.13	Procedimiento de Elaboración de Vigas.	104
Cuadro 3.14	Preparación y Moldeo de probetas de humedecimiento-secado.	112
Cuadro 3.15	Procedimiento del Ensayo Humedecimiento Secado	114
Cuadro 3.16	Análisis de resultados de la Práctica de Resistencia a Compresión en base al PCA e IMCYC	144
Cuadro 3.17	Análisis de Resultados de Resistencia a Flexión	146
Cuadro 3.18	Análisis de durabilidad	147