

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



**“COMPARACION DE LA ESTABILIZACION DE RODADURAS  
GRANULARES CON CEMENTO Y EL MULTIENZEMATICO  
PERMA ZYME”**

**Por:**

**DIMAS ABAN MERLOS**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura de INGENIERÍA CIVIL.

**SEMESTRE - II - 2020**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“COMPARACION DE LA ESTABILIZACION DE RODADURAS  
GRANULARES CON CEMENTO Y EL MULTIENZEMATICO  
PERMA ZYME”**

**Por:**

**DIMAS ABAN MERLOS**

**SEMESTRE - II - 2020**

**TARIJA - BOLIVIA**

**DEDICATORIA:**

Dedico este proyecto de tesis a Dios, a mi madre Carlota Merlos Martínez, a mi padre Julián Aban Ventura, quienes me dieron la vida y me educaron con valores y principios siendo un pilar fundamental para mi formación personal y profesional y a quienes como los consejeros y guías supieron dirigirme por el buen camino.

## INDICE

ADVERTENCIA  
AGRADECIMIENTO  
DEDICATORIA  
RESUMEN

### CAPITULO I DISEÑO TEORICO Y METODOLOGICO

	Página.
1.1 INTRODUCCION.....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	2
1.3 JUSTIFICACION.....	3
1.4 SITUACION PROBLEMÁTICA .....	4
1.4.1 Determinación del problema .....	4
1.5 OBJETIVOS.....	5
1.5.1 Objetivo general .....	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
1.6 FORMULACION DE LA HIPOTESIS .....	5
1.6.1 Hipótesis.....	5
1.6.2 Identificación de las variables .....	6
1.6.3 Conceptualización y operacionalización .....	7
1.7 DISEÑO METODOLOGICO .....	9
1.7.1 Unidad de estudio, población y muestra. ....	9
1.7.2 Tamaño de muestra .....	11
1.8 ESQUEMA DE LA PERSPECTIVA USADA.....	12
1.9 ALCANCE DE LA INVESTIGACION .....	13

CAPITULO II  
FUNDAMENTO TEORICO

	Página
2.1 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	14
2.1.1 Estabilización física.....	15
2.1.2 Estabilización química .....	15
2.1.3 Estabilización mecánica .....	16
2.1.4 Propiedades del suelo a mejorar .....	17
2.1.5 Ventajas de los suelos estabilizados.....	18
2.2 ESTABILIZACIÓN SUELO-CEMENTO.....	20
2.2.1 Aplicaciones del suelo-cemento.....	22
2.2.2 Material granular estabilizado con cemento.....	23
2.2.3 Proceso de estabilización con cemento .....	24
2.2.4 Cemento portland tipo I (IP-30).....	25
2.3 ESTABILIZADOR DE SUELOS PERMA ZYME .....	25
2.4 COMPARACIÓN ENTRE ESTABILIZANTES.....	27
2.5 CARRETERAS .....	28
2.5.1 Autopista .....	28
2.5.2 Autorrutas .....	28
2.5.3 Carreteras primarias .....	28
2.5.4 Caminos colectores.....	29
2.5.5 Caminos locales.....	29
2.5.6 Caminos de desarrollo.....	29
2.6 CAPAS DE UN PAVIMENTO.....	29

2.6.2 Subrasante .....	29
2.6.3 Base .....	29
2.6.4 Subbase.....	30
2.7 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES PARA BASES Y SUBBASES .....	30
2.8 BASES Y SUBBASES ESTABILIZADAS CON ADITIVOS .....	31
2.9 BASE DE RODADURA O AFIRMADOS .....	31
2.10 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE PAVIMENTACIÓN .....	32
2.11 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ESPESORES .....	35
2.12 MATERIALES DE AFIRMADO .....	36
2.13 MARCO REFERENCIAL .....	38
2.14 MARCO NORMATIVO.....	39
2.15 ANALISIS Y TENDENCIA DEL INVESTIGADOR.....	40

### CAPITULO III

#### RELEVAMIENTO DE LA INFORMACION

	Página
3.1 CRITERIO DE SELECCIÓN, USO Y APLICACIÓN .....	41
3.2 CRITERIO DE LA VARIACION DEL PORCENTAJE DE CEMENTO .....	41
3.2.1 Proceso de obtención y caracterización del cemento .....	41
3.3 CRITERIO DE LA VARIACION DEL PORCENTAJE DE PERMA ZYME 30X.....	42
3.3.1 Proceso de obtención y especificaciones del producto perma zyme.....	42
3.4 CRITERIO DEL NUMERO DE ENSAYOS .....	43
3.5 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACION.....	44
3.5.1 Ubicación.....	44

3.5.2 Muestreo del suelo granular de la vía Pampa redonda - Tunal .....	45
3.6 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO GRANULAR .....	46
3.6.1 Procedimientos para la preparación de muestras de suelos por cuarteo	
AASHTO T248 .....	46
3.6.2 Análisis granulométrico ASTM D422 / AASHTO T88 .....	47
3.6.3 Límites de atterberg ASTM D4318 / AASHTO T90-T89 .....	53
3.6.4 Contenido de humedad y clasificación ASTM D2216.....	55
3.6.5 Compactación AASHTO T-180 / ASTM D1557.....	56
3.6.6 Relación de soporte de California C.B.R. ASTM D1883 / AASHTO T193 .....	61
3.7 CARACTERÍSTICAS CÁLCULO DE LAS MUESTRAS CON EL ADITIVO	
PERMA ZYME VERSIÓN 30X.....	67
3.7.1 Para la compactación y C.B.R.....	67
3.8 CARACTERÍSTICAS CÁLCULO DE LAS MUESTRAS CON EL ADITIVO	
CEMENTO.....	69
3.8.1 Para la compactación y C.B.R.....	69

## CAPITULO IV

### ANALISIS Y COMPARACION DE RESULTADOS

	Página
4.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	70
4.2 RESULTADOS DEL MATERIAL NATURAL.....	70
4.3 RESULTADOS CON PERMA ZYME .....	73
4.3.1 Límites de atterberg.....	73
4.3.2 Compactación.....	74
4.3.3 Relación de soporte de California C.B.R. ....	77
4.4 RESULTADOS CON CEMENTO PORTLAND TIPO I.....	80

4.4.1 Límites de Atterberg.....	80
4.4.2 Compactación.....	81
4.4.3 Relación de soporte de California CBR. ....	85
4.5 TRATAMIENTO ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS.....	87
4.5.1 C.B.R. con el porcentaje óptimo de los aditivos utilizados.....	87
4.5.2 Análisis del tratamiento estadístico de los resultados .....	88
4.6 RESULTADO DE LAS VARIABLES .....	90
4.6.1 Variables independientes.....	90
4.6.2 Variables dependientes.....	90
4.6.3 Relación y resumen de resultados de las variables.....	90
4.7 VALIDACION DE HIPOTESIS.....	91
4.8 VERIFICACION DE HIPOTESIS.....	92
4.9 COSTO DE ESTABILIZACION.....	94
4.9.1 Estabilización con perma zyme .....	94
4.9.2 Estabilización con cemento portland tipo I .....	95
4.10 EVALUACIÓN TÉCNICA.....	96
4.10.1 Límites de Atterberg.....	96
4.10.2 Compactación.....	97
4.10.3 Relación de soporte de California CBR. ....	99
4.11 EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	100
4.12 COMPARACION TÉCNICA .....	101
4.13 COMPARACION ECONOMICA .....	102
4.14 COMPARACION AMBIENTAL .....	103
4.15 COMPARACION SOCIAL .....	106



CAPITULO IV  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 CONCLUSIONES.....	109
5.2 RECOMENDACIONES .....	111

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ANEXO 1. Caracterización del suelo en estado natural.

ANEXO 2. Estabilización del suelo con perma zyme.

ANEXO 3. Estabilización del suelo con cemento.

ANEXO 4. Fichas técnicas de los aditivos perma zyme 30x y cemento.

ANEXO 5. Tablas y gráficos para el dimensionamiento de los espesores para bajo tráfico por el método NAASRA.

ANEXO 6. Análisis de precios unitarios.

## INDICE DE TABLAS

	Página
<b>Tabla N°1.1:</b> Operacionalización variables independientes.....	7
<b>Tabla N°1.2:</b> Operacionalización variable dependiente.....	8
<b>Tabla N°1.3:</b> Unidad de estudio.....	9
<b>Tabla N°1.4:</b> Suelos estabilizados con productos químicos.....	10
<b>Tabla N°1.5:</b> Cantidad de ensayos según el método.....	11
<b>Tabla N°2.1:</b> Rango de cemento requerido en estabilización suelo-cemento.....	22
<b>Tabla N°2.2:</b> Comparación de estabilizantes.....	27
<b>Tabla N°2.3:</b> Carreteras con IMDA igual o mayor a 300 vehículos.....	33
<b>Tabla N°2.4:</b> Carretera con IMDA menor a 300 vehículos.....	34
<b>Tabla N°3.1:</b> Numero de ensayos del material granular en estado natural.....	44
<b>Tabla N°3.2:</b> Coordenadas de la ubicación del material granular.....	44
<b>Tabla N°3.3:</b> Datos de la granulometría muestra N°1.....	49
<b>Tabla N°3.4:</b> Datos de la granulometría muestra N°2.....	50
<b>Tabla N°3.5:</b> Datos de la granulometría muestra N°3.....	51
<b>Tabla N°3.6:</b> Planilla de resultados de las granulometrías promedio.....	52
<b>Tabla N°3.7:</b> Resultado correspondiente al contenido de humedad natural.....	55
<b>Tabla N°3.8:</b> Clasificación de los suelos según AASHTO y SUCS.....	56
<b>Tabla N°3.9:</b> Determinación de la humedad optima suelo natural N°1.....	58
<b>Tabla N°3.10:</b> Determinación de la humedad optima suelo natural N°2.....	59
<b>Tabla N°3.11:</b> Determinación de la humedad optima suelo natural N°3.....	60
<b>Tabla N°3.12:</b> Resultados de densidad seca y humedad optima.....	60
<b>Tabla N°3.13:</b> Resultados del ensayo C.B.R. N°1.....	64
<b>Tabla N°3.14:</b> Resultados del ensayo C.B.R. N°2.....	65
<b>Tabla N°3.15:</b> Resultados del ensayo C.B.R. N°3.....	66

<b>Tabla N°4.1:</b> Clasificación de suelo y propiedades físicas del material granular en estado natural. ....	70
<b>Tabla N°4.2:</b> Propiedades mecánicas del material granular en estado natural.....	72
<b>Tabla N°4.3:</b> Resumen de los resultados de límites de Atterberg.....	73
<b>Tabla N°4.4:</b> Resumen de resultados de compactación. ....	74
<b>Tabla N°4.5:</b> Resumen de resultados de C.B.R.....	77
<b>Tabla N°4.6:</b> Resumen de los resultados de límites de Atterberg.....	80
<b>Tabla N°4.7:</b> Resumen de resultados del ensayo de compactación. ....	81
<b>Tabla N°4.8:</b> Resumen de resultados de C.B.R.....	85
<b>Tabla N°4.9:</b> Resumen de resultados de los C.B.R. del material granular añadiendo perma zyme y cemento.....	87
<b>Tabla N°4.10:</b> Resultados de los C.B.R. obtenidos en la estadística. ....	88
<b>Tabla N°4.11:</b> Resultados y relación de variables.....	90
<b>Tabla N°4.12:</b> Correlación de las variables de CBR por el método normal. ....	91
<b>Tabla N°4.13:</b> Interpretación de coeficientes de correlación. ....	92
<b>Tabla N°4.14:</b> Resumen de valores de los límites de Atterberg.....	96
<b>Tabla N°4.15:</b> Resumen de valores del ensayo de compactación. ....	97
<b>Tabla N°4.16:</b> Resumen de valores obtenidos del ensayo CBR. ....	99
<b>Tabla N°4.17:</b> Resumen de resultados de comparación de costos de estabilización.....	100
<b>Tabla N°4.18:</b> Comparación de propiedades físicas y mecánicas.....	101
<b>Tabla N°4.19:</b> Comparación ambiental entre un material de banco con un material de cantera estabilizado .....	104
<b>Tabla N°4.20:</b> Uso total de energía para los materiales de construcción de pavimentos. (Chappat y Bilal, 2003). ....	105
<b>Tabla N°4.21:</b> Comparación social de un material de banco y un material de cantera. ....	106

## INDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura N°2.1:</b> Distribución de esfuerzos en bases granulares sin estabilizar y estabilizada.....	24
<b>Figura N°3.1:</b> Bolsa de cemento el puente.....	41
<b>Figura N°3.2:</b> Muestreo del suelo granular.....	45
<b>Figura N°3.3:</b> Cuarteo del material.....	46
<b>Figura N°3.4:</b> Proceso del tamizado.....	48
<b>Figura N°3.5:</b> Tamizado de la muestra.....	48
<b>Figura N°3.6:</b> Aparato de casa grande.....	54
<b>Figura N°3.7:</b> Muestra no plástica y base de vidrio.....	54
<b>Figura N°3.8:</b> Equipo de compactación T-180.....	57
<b>Figura N°3.9:</b> Proceso de compactación.....	57
<b>Figura N°3.10:</b> Equipo de C.B.R.....	62
<b>Figura N°3.11:</b> Medición del extensómetro.....	62
<b>Figura N°3.12:</b> Moldes C.B.R. retirados del tanque de agua.....	63
<b>Figura N°3.13:</b> Prueba de penetración.....	63
<b>Figura N°4.1:</b> Muestra del material no plástico.....	73
<b>Figura N°4.2:</b> Producto perma zyme.....	76
<b>Figura N°4.3:</b> Suelo granular compactado.....	76
<b>Figura N°4.4:</b> Perma zyme diluido en agua.....	78
<b>Figura N°4.5:</b> Moldes de C.B.R.....	79
<b>Figura N°4.6:</b> Muestra con cemento no plástica.....	80
<b>Figura N°4.7:</b> Material granular con cemento.....	84
<b>Figura N°4.8:</b> Compactación del material granular con cemento.....	84
<b>Figura N°4.9:</b> Lectura del equipo de C.B.R.....	86
<b>Figura N°4.10:</b> Comparación de costos directos, sociales, ambientales (Wilmot 2004).....	103

## INDICE DE GRAFICO

	Página
<b>Gráfico N°3.1:</b> Curva granulométrica muestra N°1. ....	49
<b>Gráfico N°3.2:</b> Curva granulométrica muestra N°2. ....	50
<b>Gráfico N°3.3:</b> Curva granulométrica muestra N°3. ....	51
<b>Gráfico N°3.4:</b> Curva granulométrica promedio. ....	52
<b>Gráfico N°3.5:</b> % de humedad vs Densidad N°1. ....	58
<b>Gráfico N°3.6:</b> % de humedad vs Densidad N°2. ....	59
<b>Gráfico N°3.7:</b> % de humedad vs Densidad N°3. ....	60
<b>Gráfico N°3.8:</b> Penetración vs Esfuerzo. N°1. ....	64
<b>Gráfico N°3.9:</b> C.B.R vs Densidad seca N°1. ....	64
<b>Gráfico N°3.10:</b> Penetración vs Esfuerzo. N°2. ....	65
<b>Gráfico N°3.11:</b> C.B.R vs Densidad seca N°2. ....	65
<b>Gráfico N°3.12:</b> Penetración vs Esfuerzo. N°3. ....	66
<b>Gráfico N°3.13:</b> C.B.R vs Densidad seca N°3. ....	66
<b>Gráfico N°4.1:</b> Curva granulométrica suelo natural. ....	71
<b>Gráfico N°4.2:</b> Efecto de perma zyme en la máxima densidad seca. ....	74
<b>Gráfico N°4.3:</b> Efecto de perma zyme en el contenido de humedad. ....	75
<b>Gráfico N°4.4:</b> Efecto de perma zyme en el C.B.R. al 100%. ....	77
<b>Gráfico N°4.5:</b> Efecto del cemento portland tipo I en la máxima densidad máxima seca. ....	82
<b>Gráfico N°4.6:</b> Efecto del cemento portland tipo I en el contenido de humedad óptimo. ....	83
<b>Gráfico N°4.7:</b> Efecto del cemento portland tipo I en el C.B.R. al 100%. ....	85
<b>Gráfico N°4.8:</b> Evaluación del porcentaje de C.B.R. estabilizado con perma zyme. ....	88
<b>Gráfico N°4.9:</b> Evaluación del porcentaje de CBR estabilizado con cemento. ....	89
<b>Gráfico N°4.10:</b> Comparación de la densidad máxima seca entre los dos aditivos. ....	97
<b>Gráfico N°4.11:</b> Comparación del contenido óptimo de humedad entre los dos aditivos. ....	98

<b>Gráfico N°4.12:</b> Comparación del C.B.R. al 100% entre los dos aditivos.....	99
<b>Gráfico N°4.13:</b> Costo de los aditivos a utilizar para 3 km de camino. ....	100
<b>Gráfico N°4.14:</b> Análisis de precios unitarios.....	102