

“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO TOPOGRAFÍA Y DE VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“ANÁLISIS DEL POLIPROPILENO EXPANDIDO COMO MATERIAL
ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO FINO”**

Por:

SUGAMY AYALA

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 I - 2024

TARIJA-BOLIVIA

“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO TOPOGRAFÍA Y DE VÍAS DE COMUNICACIÓN

“ANÁLISIS DEL POLIPROPILENO EXPANDIDO COMO MATERIAL

ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO FINO”

Por:

SUGAMY AYALA

SEMESTRE I - 2024

TARIJA-BOLIVIA

.....
M. Sc. Ing Marcelo Segovia Cortez
**DECANO DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....
M. Sc. Lic. Clovis Gustavo Succi Aguirre
**VICEDECANO DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

Tribunal:

.....
M.Sc.Ing. Marcelo Humberto Pacheco Nuñez

.....
M.Sc.Ing. Ada Gladys Lopez Rueda

.....
M.Sc.Ing. Mabel Zambrana Velasco

ADVERTENCIA

El tribunal calificador del siguiente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esto responsabilidad de la autora.

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado con mucho cariño y respeto a mi madre Arminda y mi segunda madre Karina quienes me brindaron constante apoyo y paciencia para cumplir esta importante meta en mi vida.

A mis hermanos por el continuo apoyo incondicional en cada momento de esta etapa.

A Patricia Albornoz por formar parte fundamental en este proceso, gracias por esa ayuda brindada durante todo este tiempo.

AGRADECIMIENTO

En principio agradezco a Dios por su gran generosidad, por permitirme desarrollar este proyecto y por darme fortaleza.

A mi familia por el continuo apoyo incondicional en cada momento ofreciéndonos su amor y su paciencia.

A mis compañeros y amigos, por brindarme su amistad a lo largo de estos años, compartiendo momentos que siempre recordaré.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación problemática	1
1.3 Problema	2
1.3.1 Relevancia y factibilidad del problema	2
1.3.2 Delimitación temporal y espacial del problema	2
1.4 Justificación	3
1.5 Objetivos	3
1.5.1 Objetivo general	3
1.5.2 Objetivos específicos	3
1.6 Hipótesis	4
1.7 Operacionalización de las variables	4
1.7.1 Variable independiente	4
1.7.2 Variable dependiente	4
1.8 Identificación del tipo de investigación	4
1.9 Unidades de estudio y decisión muestral	4
1.9.1 Unidad de estudio	4
1.9.2 Población	4
1.9.3 Muestra	4
1.9.4 Muestreo	5
1.10 Métodos y técnicas empleadas	5
1.11 Procesamiento para el análisis y la interpretación de la información	5

1.12 Alcance de la investigación.....	6
---------------------------------------	---

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA ESTABILIZACIÓN

	Página
2.1 Capa Subrasante.....	7
2.2 Características de la subrasante.....	7
2.2.1 Propiedades físicas	7
2.2.2 Propiedades ingenieriles	8
2.3 Suelo	8
2.3.1 Composición de los suelos	8
2.3.2 Tipos de suelos	9
2.3.3 Suelos limosos	11
2.3.4 Suelos arcillosos	12
2.3.5 Arcillas.....	12
2.3.5.1 Características de las arcillas.....	13
2.3.5.2 Clasificación de las arcillas.....	13
2.3.5.3 Clasificación de los minerales arcillosos	13
2.3.5.4 Clasificación de las arcillas en base a su estabilidad	13
2.3.5.5 Arcillas en la ingeniería civil	14
2.3.5.6 Incidencia de arcillas en obra viales.....	15
2.4 La subrasante	16
2.4.1 Categoría de la subrasante	17
2.4.2 Propiedades de la subrasante	18
2.4.2.1 Propiedades físicas	18

2.5 Clasificación de los suelos	19
2.5.1 Límite Líquido	19
2.5.2 Límite Plástico	19
2.5.3 Propiedades ingenieriles	20
2.5.3.1 Relación de Soporte California (CBR)	20
2.5.3.2 Expansión	20
2.6 Estabilidad del suelo	20
2.6.1 Importancia de la estabilización de suelos	21
2.6.2 Estabilización subrasante con polipropileno expandido	22
2.6.2.1 Disminuir la Plasticidad	22
2.6.2.2 Estabilidad Volumétrica	22
2.6.2.3 Compresibilidad	23
2.6.2.4 Resistencia o Capacidad Portante	23
2.6.3 Tipos de estabilización	24
2.6.3.1 Estabilización mecánica	24
2.6.3.2 La estabilización física o granulométrica	25
2.6.3.3 Estabilización química o por medios químicos	25
2.6.3.4 Sustancia cementantes	26
2.6.3.5 La estabilización físico-química	26
2.7 Ensayos realizados para la estabilización	26
2.7.1 Humedad óptima	26
2.7.2 Granulometría de suelos	27
2.7.2.1 Sistemas de clasificación de suelos basados en criterios de granulometría	27
2.7.2.2 Clasificación internacional	27

2.7.2.3 Clasificación MIT	28
2.7.3 Clasificación de suelos	29
2.7.3.1 Sistema de clasificación AASHTO	29
2.7.3.2 Tamaño del grano.....	29
2.7.3.3 Plasticidad	29
2.7.3.4 Índice de grupo.....	30
2.7.4 Compactación de suelos	31
2.7.4.1 Finalidad de la compactación	31
2.7.4.2 Grado de compactación.....	32
2.7.4.3 Curva de compactación.....	32
2.7.4.4 Humedad óptima.....	33
2.7.4.5 Densidad seca máxima.....	33
2.7.4.6 Procedimientos para encontrar los valores máximos de la curva de compactación.....	33
2.8 Polipropileno expandido	33
2.8.1 Obtención del polipropileno	34
2.8.2 Estructura del polipropileno	35
2.8.3 Propiedades del polipropileno	36
2.8.4 Propiedades mecánicas	36
2.8.4.1 Transparencia	36
2.8.5 Procesado del polipropileno	37
2.8.6 Productos de polipropileno.....	37
2.8.7 Aplicaciones del polipropileno expandido	38
2.8.8 Ventajas del polipropileno.....	39
2.8.9 Desventajas del polipropileno.....	40
2.9 Método estadístico aplicado a la investigación.....	41

2.9.1 Prueba t de student para muestras independientes.....	41
2.9.2 Definición (Error estándar de diferencia entre medias).....	42
2.9.3 Definición (Error estándar de diferencia entre medias estimado de muestras)	42
2.9.4 Definición (Prueba de t).....	42

CAPÍTULO III

ENSAYOS PARA REALIZAR ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO FINO CON POLIPROPILENO EXPANDIDO

	Página
3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO.....	43
3.2 Criterios de muestreo	44
3.2.1 Selección de la técnica de muestreo	44
3.2.2 Tamaño de muestra.....	47
3.2.2.1 Datos para el cálculo del tamaño de muestra	47
3.2.2.2 Números de ensayos.....	47
3.3 Laboratorios realizados	47
3.3.1 Granulometría.....	47
3.3.1.1 Método del lavado.....	48
3.3.2 Resultados de la caracterización del suelo en estudio	50
3.3.3 Peso específico	52
3.3.4 Hidrómetro.....	53
3.3.5 Límites	54
3.3.5.1 Límite líquido.....	54
3.3.5.2 Límite Plástico	55
3.3.6 Humedad natural y clasificación	56
3.3.6.1 Contenido de humedad.....	56

3.3.7 Compactación	58
3.3.7.1 Material y equipo	58
3.3.7.2 Preparación de la muestra de ensayo	59
3.3.7.3 Compactación de la muestra	59
3.3.7.4 Ensayos de compactación para la determinación del contenido óptimo del polipropileno expandido.....	62
3.3.8 CBR	68
3.3.8.1 Los equipos para la compactación del ensayo	69
3.3.8.2 Procedimiento para el ensayo del CBR	69
3.3.8.3 Prueba de ensayo de CBR con suelo natural	71
3.3.8.4 Prueba de ensayos de CBR para determinar la longitud óptima.....	75
3.3.8.5 Selección de la longitud óptima del polipropileno	93
3.3.8.6 Determinación del contenido óptimo con la dimensión seleccionada, 7 cm	95
3.3.9 CBR con la dimensión seleccionada de 7cm y porcentaje de 1%	113

CAPÍTULO IV

COMPORTAMIENTO DEL POLIPROPILENO EXPANDIDO EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS FINOS

	Página
4.1 Ficha técnica del polipropileno expandido	143
4.2 Resultados de los laboratorios realizados	144
4.2.1 Resultado de la cara caracterización del suelo natural	144
4.2.2 Resultado del ensayo de Compactación	145
4.2.2.1 Resultado de la compactación del suelo natural.....	145
4.2.2.2 Resultados de la compactación con 6 porcentajes distintos de polipropileno expandido	145

4.2.3 Resultados del ensayo CBR previo a la selección de la longitud y cantidad óptima del polipropileno.....	146
4.2.3.1 Resultados de los ensayos con 6 porcentajes distintos de polipropileno expandido.....	146
4.2.3.2 Resultados del CBR con el suelo natural	148
4.2.3.3 Resultados del CBR con la incorporación de los distintos tamaños de polipropileno.....	148
4.2.4 Resultados del CBR al 100% y 95% de dos pruebas, con la longitud seleccionada de 7 cm	152
4.3 Costos de aplicación en obra por m ³	157
4.3.1 Costos directos.....	158
4.3.2 Costos indirectos.....	158
4.4 Comparación técnica, económica y ambiental entre la estabilización con polipropileno expandido y el asfalto Espumado.....	162
4.4.1 Comparación técnica	162
4.4.2 Comparación económica	163
4.4.3 Comparación ambiental.....	164
4.5 Validación de resultados	165

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones	167
5.2. Recomendaciones.....	169

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1 CONTENIDO DE HUMEDAD

ANEXO 2 GRANULOMETRÍA

ANEXO 3 LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO

ANEXO 4 PESO ESPECÍFICO

ANEXO 5 COMPACTACIÓN

ANEXO 6 ENSAYO DE CBR

ANEXO 7 FICHA TÉCNICA DEL POLIPROPILENO EXPANDIDO

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Clasificación de suelos según tamaños de sus partículas (medidas en mm).....	9
Tabla 2.2 Diferencias entre suelos gruesos y suelos finos.	10
Tabla 2.3 Diferencias entre limos y arcillas.....	11
Tabla 2.4 Definición del tamaño de partículas.....	14
Tabla 2.5 Categoría de subrasante	17
Tabla 2.6 Escala granulométrica	18
Tabla 2.7 Clasificación internacional.....	28
Tabla 2.8 Clasificación MIT	28
Tabla 2.9 Clasificación para suelos finos mediante el sistema AASHTO	30
Tabla 2.10 Propiedades físicas del polipropileno	36
Tabla 3.1 Datos para el cálculo del tamaño de muestra	47
Tabla 3.2 Ensayos de CBR con suelo modificado	47
Tabla 3.3 Granulometría	49
Tabla 3.4 Resultado de las muestras del peso específico.....	50
Tabla 3.5 Clasificación método AASHTO	51
Tabla 3.6 Caracterización del suelo	52
Tabla 3.7 Peso específico.....	52
Tabla 3.8 Tabla de cálculo, Hidrómetro.....	53
Tabla 3.9 Límite Líquido	55
Tabla 3.10 Límite Plástico	56
Tabla 3.11 Resultados de los límites de Atterberg.....	56
Tabla 3.12 Humedad natural	57
Tabla 3.13 Compactación T-180 suelo natural	61
Tabla 3.14 Compactación T-180 con 0.5% de polipropileno	62
Tabla 3.15 Compactación T-180 con 1.0 % de polipropileno	63

Tabla 3.16 Compactación T-180 con 1.5 % de polipropileno	64
Tabla 3.17 Compactación T-180 con 2.0 % de polipropileno	65
Tabla 3.18 Compactación T-180 con 2.5 % de polipropileno	66
Tabla 3.19 Compactación T-180 con 3.0 % de polipropileno	67
Tabla 3.20 Tabla de resultados según la forma de polipropileno expandido.....	68
Tabla 3.21 Contenido de humedad y peso unitario.....	71
Tabla 3.22 Expansión.....	72
Tabla 3.23 C.B.R. suelo natural	73
Tabla 3.24 Antes de sumergirse, 1.75 cm con 50 gr	75
Tabla 3.25 Humedad y peso unitario, 1.75 cm y un peso de 50 gr	75
Tabla 3.26 Expansión, 1.75 cm y 50 gr.....	76
Tabla 3.27 CBR, 1.75 cm y 50 gr	76
Tabla 3.28 Resultados, 1.75 cm y 50 gr	77
Tabla 3.29 Antes de sumergirse, 3.5 cm con 50 gr	78
Tabla 3.30 Humedad y peso unitario, 3.5 cm y un peso de 50 gr	78
Tabla 3.31 Expansión, 3.5 cm y 50 gr.....	79
Tabla 3.32 CBR, 3.5cm con 50 gr de polipropileno	79
Tabla 3.33 Resultado 3.5cm con 50 gr de polipropileno	79
Tabla 3.34 Antes de sumergirse, 7 cm con 50 gr	81
Tabla 3.35 Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr	81
Tabla 3.36 Expansión, 7cm. con 50 gr.....	81
Tabla 3.37 CBR, 7 cm con 50 gr.....	82
Tabla 3.38 Resultados, 7 cm con 50 gr	83
Tabla 3.39 Antes de sumergirse, 1.75 cm con 100 gr	84
Tabla 3.40 Humedad y peso unitario, 1.75 cm y un peso de 100 gr	84
Tabla 3.41 Expansión, 1.75 cm y 100 gr.....	85
Tabla 3.42 CBR, 1.5 cm y 100 gr	85
Tabla 3.43 Antes de sumergirse, 3.5 cm con 100 gr	87
Tabla 3.44 Humedad y peso unitario, 3.5 cm y un peso de 100 gr	87
Tabla 3.45 Expansión, 3.5 cm y 100 gr.....	88
Tabla 3.46 CBR, 3.5 cm y 100 gr	88

Tabla 3.47 Antes de sumergirse, 7 cm con 100 gr	90
Tabla 3.48 Humedad y peso unitario, 7cm con 100 gr de polipropileno	90
Tabla 3.49 Expansión, 7cm. con 100 gr de polipropileno	91
Tabla 3.50 CBR, 7 cm con 100 gr de polipropileno	91
Tabla 3.51 Resumen de los ensayos de CBR, para optar por la dimensión óptima.....	93
Tabla 3.52 Antes de sumergirse con 7 cm y 0.5 % de polipropileno.....	95
Tabla 3.53 Después de sumergirse con 7 cm y 0.5 % de polipropileno	95
Tabla 3.54 Expansión, 7 cm con 0.5 % de polipropileno	96
Tabla 3.55 Penetración, 7 cm con 0.5 % de polipropileno	96
Tabla 3.56 Corrección de carga y C.B.R. (56, 25 y 12 golpes)	96
Tabla 3.57 Antes de sumergirse con 7 cm y 1.0 % de polipropileno.....	98
Tabla 3.58 Después de sumergirse con 7 cm y 1.0 % de polipropileno	98
Tabla 3.59 Expansión, 7 cm con 1.0 % de polipropileno	99
Tabla 3.60 Penetración, 7 cm con 1.0 % de polipropileno	99
Tabla 3.61 Corrección de carga y C.B.R. (56, 25 y 10 golpes)	99
Tabla 3.62 Antes de sumergirse con 7 cm y 1.5 % de polipropileno.....	101
Tabla 3.63 Después de sumergirse con 7 cm y 1.5 % de polipropileno	101
Tabla 3.64 Expansión, 7 cm con 1.5 % de polipropileno	102
Tabla 3.65 Penetración, 7 cm con 1.5 % de polipropileno	102
Tabla 3.66 Corrección de carga y C.B.R. (56, 25 y 12 golpes)	102
Tabla 3.67 Antes de sumergirse con 7 cm y 2.0 % de polipropileno.....	104
Tabla 3.68 Después de sumergirse con 7 cm y 2.0 % de polipropileno	104
Tabla 3.69 Expansión, 7 cm con 2.0 % de polipropileno	105
Tabla 3.70 Penetración, 7 cm con 2.0 % de polipropileno	105
Tabla 3.71 Corrección de carga y C.B.R. (56, 25 y 12 golpes)	105
Tabla 3.72 Antes de sumergirse con 7 cm y 2.5 % de polipropileno.....	107
Tabla 3.73 Después de sumergirse con 7 cm y 2.5 % de polipropileno	107
Tabla 3.74 Expansión, 7 cm con 2.5 % de polipropileno	108
Tabla 3.75 Penetración, 7 cm con 2.5 % de polipropileno	108
Tabla 3.76 Corrección de carga y C.B.R. (56, 25 y 12 golpes)	108
Tabla 3.77 Antes de sumergirse con 7 cm y 3.0 % de polipropileno.....	110

Tabla 3.78 Después de sumergirse con 7 cm y 3.0 % de polipropileno	110
Tabla 3.79 Expansión, 7 cm con 3.0 % de polipropileno	111
Tabla 3.80 Penetración, 7 cm con 3.0 % de polipropileno	111
Tabla 3.81 Corrección de carga y C.B.R. (56, 25 y 12 golpes)	111
Tabla 3.82 Prueba 1, antes de sumergir	113
Tabla 3.83 Prueba 1 Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno	113
Tabla 3.84 Prueba 1, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno	114
Tabla 3.85 Prueba 1, CBR, penetración 7 cm con 50 gr de polipropileno.....	114
Tabla 3.86 Prueba 2, antes de sumergir	116
Tabla 3.87 Prueba 2 Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno.....	116
Tabla 3.88 Prueba 2, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno	117
Tabla 3.89 Prueba 2, CBR, penetración 7 cm con 50 gr de polipropileno.....	117
Tabla 3.90 Prueba 3, antes de sumergir	119
Tabla 3.91 Prueba 3 Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno	119
Tabla 3.92 Prueba 3, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno	120
Tabla 3.93 Prueba 3, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno	120
Tabla 3.94 Prueba 4, antes de sumergir	122
Tabla 3.95 Prueba 4 Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno.....	122
Tabla 3.96 Prueba 4, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno	123
Tabla 3.97 Prueba 4, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno	123
Tabla 3.98 Prueba 5, antes de sumergir	125
Tabla 3.99 Prueba 5, Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno.....	125
Tabla 3.100 Prueba 5, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno	126
Tabla 3.101 Prueba 5, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno	126
Tabla 3.102 Prueba 6, antes de sumergir	128
Tabla 3.103 Prueba 6, Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno.....	128
Tabla 3.104 Prueba 6, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno	129
Tabla 3.105 Prueba 6, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno	129
Tabla 3.106 Prueba 7, antes de sumergir	131
Tabla 3.107 Prueba 7, Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno.....	131
Tabla 3.108 Prueba 7, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno	132

Tabla 3.109 Prueba 7, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno	132
Tabla 3.110 Prueba 8, antes de sumergir	134
Tabla 3.111 Prueba 8, Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno	134
Tabla 3.112 Prueba 8, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno	135
Tabla 3.113 Prueba 8, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno	135
Tabla 3.114 Prueba 9, antes de sumergir	137
Tabla 3.115 Prueba 9, Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno	137
Tabla 3.116 Prueba 9, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno	138
Tabla 3.117 Prueba 9, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno	138
Tabla 3.118 Prueba 10, antes de sumergir	140
Tabla 3.119 Prueba 10, Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno	140
Tabla 3.120 Prueba 7, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno	141
Tabla 3.121 Prueba 10, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno	141
Tabla 4.1 Ficha Técnica del polipropileno expandido	143
Tabla 4.2 Clasificación método AASHTO	144
Tabla 4.3 Caracterización del suelo	144
Tabla 4.4 Resultados de las 6 compactaciones con diferentes porcentajes de polipropileno expandido.....	145
Tabla 4.5 Cuadro comparativo de resultados de CBR con su respectivo porcentaje	146
Tabla 4.6 Resultados del CBR con la incorporación de los distintos tamaños de polipropileno	148
Tabla 4.7 Resumen de las 10 pruebas de CBR con 1% de polipropileno con una dimensión de 7 cm.....	153
Tabla 4.8 Resumen Estadístico para CBR al 100%	154
Tabla 4.9 Tabla de Frecuencias para CBR al 100%.....	155
Tabla 4.10 Resumen de Frecuencias para CBR al 100%	155
Tabla 4.11 Resumen Estadístico para CBR al 95%	156
Tabla 4.12 Tabla de Frecuencias para CBR al 95%.....	156
Tabla 4.13 Resumen de Frecuencias para CBR al 100%	156
Tabla 4.14 Análisis de precio unitario del polipropileno expandido para 1 m3	159

Tabla 4.15 Análisis de costos de aplicación de estabilización con cal	160
Tabla 4.16 Comparación técnica del PP con Cal	162
Tabla 4.17 estabilización con polipropileno expandido.....	164
Tabla 4.18 Impacto ambiental causado por la estabilización con cal	164
Tabla 4.19 Resultados de la selección del tipo de polipropileno expandido	165

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfica 3.1 Granulometria	49
Gráfica 3.2 Clasificación por el método USCS	51
Gráfica 3.3 Peso específico	52
Gráfica 3.4 Curva Granulométrica del Hidrómetro	54
Gráfica 3.5 Límite Líquido	55
Gráfica 3.6 Densidad y Humedad	61
Gráfica 3.7 Densidad y Humedad, compactación al 0.5 % del polipropileno	62
Gráfica 3.8 Densidad y Humedad, compactación al 1.0 % del polipropileno	63
Gráfica 3.9 Densidad y Humedad, compactación al 1.5 % del polipropileno	64
Gráfica 3.10 Densidad y Humedad, compactación al 2.0 % del polipropileno	65
Gráfica 3.11 Densidad y Humedad, compactación al 2.5 % del polipropileno	66
Gráfica 3.12 Densidad y Humedad, compactación al 3.0 % del polipropileno	67
Gráfica 3.13 C.B.R. suelo natural	74
Gráfica 3.14 Curva CBR - Peso unitario.....	74
Gráfica 3.15 Carga vs Penetración 1.75 cm y 50 gr.....	77
Gráfica 3.16 CBR - Peso unitario, 1.75 cm y 50 gr	77
Gráfica 3.17 Carga vs Penetración 3.5cm y 50 gr.....	80
Gráfica 3.18 CBR - Peso unitario, 3.5 cm y 50 gr	80
Gráfica 3.19 Carga vs Penetración, 7 cm con 50 gr	82
Gráfica 3.20 CBR - Peso unitario, 7 cm con 50 gr	83
Gráfica 3.21 Carga vs Penetración 1.75 cm y 100 gr.....	86
Gráfica 3.22 CBR - Peso unitario, 1.75 cm y 100 gr	86
Gráfica 3.23 Carga vs Penetración 3.5 cm y 100 gr.....	89
Gráfica 3.24 CBR - Peso unitario, 3.5 cm y 100 gr	89
Gráfica 3.25 Carga vs Penetración, 7 cm con 100 gr de polipropileno	92
Gráfica 3.26 CBR - Peso unitario, 7 cm con 100 gr de polipropileno	92
Gráfica 3.27 CBR con un peso de polipropileno de 50 gr	93
Gráfica 3.28 CBR con un peso de polipropileno de 100 gr	94

Gráfica 3.29 Carga vs Penetración, 7 cm con 0.5 % de polipropileno	97
Gráfica 3.30 CBR - Peso unitario, 7 cm con 0.5 % de polipropileno	97
Gráfica 3.31 Carga vs Penetración, 7 cm con 1.0 % de polipropileno	100
Gráfica 3.32 CBR - Peso unitario, 7 cm con 1.0 % de polipropileno	100
Gráfica 3.33 Carga vs Penetración, 7 cm con 1.5 % de polipropileno	103
Gráfica 3.34 CBR - Peso unitario, 7 cm con 1.5 % de polipropileno	103
Gráfica 3.35 Carga vs Penetración, 7 cm con 2.0 % de polipropileno	106
Gráfica 3.36 CBR - Peso unitario, 7 cm con 2.0 % de polipropileno	106
Gráfica 3.37 Carga vs Penetración, 7 cm con 2.5 % de polipropileno	109
Gráfica 3.38 CBR - Peso unitario, 7 cm con 2.5 % de polipropileno	109
Gráfica 3.39 Carga vs Penetración, 7 cm con 3.0 % de polipropileno	112
Gráfica 3.40 CBR - Peso unitario, 7 cm con 3.0 % de polipropileno	112
Gráfica 3.41 Prueba 1, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno	115
Gráfica 3.42 Prueba 1, CBR – Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno	115
Gráfica 3.43 Prueba 2, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno	118
Gráfica 3.44 Prueba 2, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno	118
Gráfica 3.45 Prueba 3, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno	121
Gráfica 3.46 Prueba 3, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno	121
Gráfica 3.47 Prueba 4, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno	124
Gráfica 3.48 Prueba 4, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno	124
Gráfica 3.49 Prueba 5, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno	127
Gráfica 3.50 Prueba 5, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno	127
Gráfica 3.51 Prueba 6, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno	130
Gráfica 3.52 Prueba 6, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno	130
Gráfica 3.53 Prueba 7, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno	133
Gráfica 3.54 Prueba 7, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno	133
Gráfica 3.55 Prueba 8, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno	136
Gráfica 3.56 Prueba 8, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno	136
Gráfica 3.57 Prueba 9, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno	139
Gráfica 3.58 Prueba 9, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno	139
Gráfica 3.59 Prueba 10, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno	142

Gráfica 3.60 Prueba 10, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno	142
Gráfica 4.1 Densidad y Humedad	145
Gráfica 4.2 Resultados de CBR al 100 Dmax con 6 % de PP	147
Gráfica 4.3 Resultados de CBR al 95% Dmax con 6 % de PP	147
Gráfica 4.4 Análisis de las pruebas según el alargamiento de PP	149
Gráfica 4.5 CBR con una incorporación de 1% (50 gr)	149
Gráfica 4.6 CBR con una incorporación de 2% (100 gr)	150
Gráfica 4.7 Resultados de la longitud de 1.75 cm	151
Gráfica 4.8 Resultados de la longitud de 3.5 cm	151
Gráfica 4.9 Resultados de la longitud de 7.0 cm	152
Gráfica 4.10 Resultado de las 10 pruebas de CBR con la dimensión y peso optimo seleccionado	154
Gráfica 4.11 Histograma de los ensayos al 100% del CBR	155
Gráfica 4.12 Histograma de los ensayos al 95% del CBR	157
Gráfica 4.13 Densidad del suelo natural vs incorporando el polipropileno	165
Gráfica 4.14 Humedad optima de compactación vs % de polipropileno expandido	166
Gráfica 4.15 CBR suelo Natural vs CBR suelo modificado	166

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Composición del suelo.....	9
Figura 2.2 Curva granulométrica de un suelo	11
Figura 2.3 Suelos arcillosos	12
Figura 2.4 La subrasante	16
Figura 2.5 Estructura típica de pavimentos.....	18
Figura 2.6 Clasificación sistema SUCS	19
Figura 2.7 Límites de consistencia.....	19
Figura 2.8 Estabilización en planta y estabilización in situ	21
Figura 2.9 Curva de Compactación.....	32
Figura 2.10 Polipropileno expandido.....	33
Figura 2.11 Mecanismo de polimerización del polipropileno.	35
Figura 3.1 Ubicación de la extracción de la muestra	43
Figura 3.2 Excavación y limpieza del punto de extracción	44
Figura 3.3 Limpieza de la zona de muestreo.....	45
Figura 3.4 Extracción y guardado de la muestra.....	45
Figura 3.5 Extracción muestra alterada.....	46
Figura 3.6 Granulometría.....	48
Figura 3.7 Materiales para la compactación	58