

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACION DE LA
SUBRAZANTE PARA LA ZONA DEL BARRIO EL CONSTRUCTOR”**

Por:

PEDRO FERNANDO LÓPEZ MARTINEZ

AGOSTO 2011

TARIJA - BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA
SUBRASANTE PARA LA ZONA DEL BARRIO EL CONSTRUCTOR”**

Por:

PEDRO FERNANDO LÓPEZ MARTINEZ

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV 502

AGOSTO 2011

TARIJA - BOLIVIA

HOJA DE EVALUACION

Fecha de Presentación:.....de.....de.....

Nota de Evaluación Continua:

Numeral:.....

Literal:.....

Docente: Ing. Marcelo Pacheco

Nota de Evaluación Defensa Pública

Fecha de Defensa:.....de.....de.....

Calificación:

Numeral:.....

Literal:.....

V° B°

Msc. Ing. Luis Alberto Yurquina F.

DECANO

Msc. Lic. Gustavo Succi Aguirre

VICEDECANO

APROBADO POR:

TRIBUNAL:

Ing. Luis Alberto Yurquina F.

Ing. Moisés Díaz

Ing. Marcelo Segovia

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

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a mi esposa Camila Sánchez y mi bebe Matías Cristopher López ya que fueron la fortaleza para seguir adelante gracias a su amor y dedicación.

A mis padres Elva y Pedro por su apoyo incondicional en todo momento de la elaboración del presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS:

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

A mi esposa y a mi bebe por su apoyo, comprensión y amor.

A mis queridos padres, por todo su apoyo, cariño y entrega desinteresada e incondicional en todo momento.

A mis docentes por compartir valiosos momentos de su tiempo, dándome sus enseñanzas y conocimientos para la realización de este logro hacia mí persona.

A mis amigos y compañeros por haber compartido momentos muy gratos, y darme el aliento para seguir adelante.

PENSAMIENTO:

“Nuestras dudas son traidoras y nos hacen perder el bien que a menudo pudiéramos alcanzar, por el temor a intentarlo.”

Shakespeare

**ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACION DE LA SUBRAZANTE
PARA LA ZONA DEL BARRIO EL CONSTRUCTOR**

CONTENIDO

**CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN**

	Página
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específico.....	3
1.5. UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO.....	4
1.6. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN PRÁCTICA.....	5
1.7. ALCANCE.....	6

CAPÍTULO II

**CARACTERISTICAS FISICAS Y MECANICAS DE LOS SUELOS
SUBRAZANTES**

	Pagina
2.1. SUELOS.....	8
2.1.1. Características Generales.....	8
2.1.2. Tipos de Suelos.....	10
2.1.3. Identificación de Suelos en el Campo.....	14
2.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS SUELOS.....	15
2.2.1. Fases de los Suelos, Símbolos y Definiciones.....	15
2.2.2. Relaciones Volumétricas.....	16

2.2.2.1. Relación de vacíos.....	16
2.2.2.2. Porosidad.....	17
2.2.2.3. Grado de saturación.....	17
2.2.3. Relaciones Gravimétricas.....	18
2.2.3.1. Humedad.....	18
2.2.3.2. Peso específico.....	18
2.2.3.3. Peso específico relativo de una masa de suelo.....	19
2.2.3.4. Peso específico relativo de los sólidos.....	19
2.2.4. Plasticidad de los Suelos.....	20
2.2.4.1. Limite Líquido.....	22
2.2.4.2. Limite Plástico.....	23
2.2.4.3. Índice de Plasticidad.....	24
2.2.4.4. Limite de Contracción.....	25
2.2.4.5. Consistencia Relativa.....	25
2.2.4.6. Índice de Liquidez.....	26
2.2.5. Clasificación de Suelos.....	27
2.2.5.1. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	28
2.2.5.2. AASHTO.....	31
2.2.6. Índice de Grupo.....	33
2.2.7. Compactación.....	34
2.2.7.1. Compactación Proctor estándar.....	36
2.2.7.2. Compactación Proctor modificado.....	37
2.2.7.3. Factores que afectan la compactación.....	38
2.2.8. Densidad Del Suelo.....	39
2.2.8.1. Densidad In Situ.....	40
2.2.9. Capacidad Portante Del Suelo.....	43
2.2.9.1. Expansión del suelo.....	44
2.2.9.2. Resistencia a la penetración.....	46
2.2.10. Comprensión Simple.....	48
2.2.10.1. Ensayo de comprensión simple.....	49
2.2.10.2. Tipos de rotura.....	51

2.3. SUBRASANTES.....	54
2.3.1. Condiciones Para La Formación De la Subrasantes.....	54
2.3.1.1. Definición y características de la subrasante.....	55
2.3.1.2. Condiciones básicas a cumplir por las subrasantes.....	56
2.3.1.3. Factores que influyen en el comportamiento de la subrasante.....	58
2.3.1.4. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.....	59
2.3.2. Los Suelos como Material de Construcción de Subrasantes.....	61
2.3.2.1. Subrazantes sobre suelos blandos.....	62
2.3.3. Control de Calidad.....	62

CAPÍTULO III

ESTABILIZACIÓN Y ALTERNATIVAS DE ESTABILIZANTES

	Pagina
3.1. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	64
3.1.1. Introducción.....	64
3.1.2. Definición.....	64
3.1.3. Tipos de Estabilización de Suelos.....	65
3.1.4. Tipos de Tratamientos.....	65
3.1.5. Campos de Aplicación.....	66
3.1.6. Ventajas de los Suelos Estabilizados.....	70
3.1.7. Propiedades de los Suelos que Mejoran con la Estabilización.....	71
3.2.8. Elección Adecuada del Estabilizante.....	74
3.2. ESTUDIO DEL ESTABILIZANTE A UTILIZAR.....	77
3.2.1. Cemento como Estabilizante.....	77
3.2.1.1. Cementos adecuados utilizados en la estabilización de suelos.....	77
3.2.1.2. Características generales del cemento.....	78
3.2.1.3. Tipos de suelos que se estabilizan con cemento.....	82

3.2.1.4. Determinación del porcentaje de cemento aplicado.....	82
3.2.1.5. Procedimiento constructivo para la realización de La estabilización con cemento.....	84
3.2.1.6. Comportamiento de los suelos estabilizados con cemento.....	89
3.2.2. Cal como Estabilizante.....	100
3.2.2.1. Cales adecuadas en la utilización de estabilización suelo-cal.....	100
3.2.2.2. Características generales de la cal.....	103
3.2.2.3. Suelos aptos para la estabilización con cal.....	105
3.2.2.4. Determinación del porcentaje mínimo y óptimo de cal En la estabilización de suelos.....	107
3.2.2.5. Procedimiento constructivo para estabilizar suelos Con cal.....	112
3.2.2.6. Condiciones favorables y desfavorables, Durante el proceso constructivo suelo-cal.....	122
3.2.3. Estabilización Mecánica de los Suelos.....	124
3.2.3.1. Características de la estabilización mecánica.....	124
3.2.3.2. Aplicaciones de la estabilización mecánica.....	126
3.2.3.3. Componentes de una estabilización mecánica.....	127
3.2.3.4. Determinación del porcentaje de material Granular para la estabilización mecánica.....	132

CAPÍTULO IV

APLICACIÓN PRÁCTICA

	Página
4.1. INTRODUCCIÓN.....	134
4.2. EXPLORACIÓN Y MUESTREO.....	135
4.2.1. Ubicación de la Zona.....	135
4.2.2. Realización del Muestreo.....	136
4.3. ESTUDIOS EN CONDICIONES NATURALES DEL SUELO.....	137

4.3.1. Determinación de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Suelo Natural en Estudio.....	137
4.3.1.1. Humedad.....	137
4.3.1.2. Granulometría.....	138
4.3.1.3. Plasticidad.....	139
4.3.1.4. Clasificación.....	140
4.3.2. Determinación de la Máxima Densidad y Humedad Optima del Suelo sin Estabilizar Mediante Ensayo de Compactación Proctor Modificado T-180.....	142
4.3.3. Determinación de la Resistencia y Expansión del Suelo sin Estabilizar Mediante Ensayo de CBR.....	143
4.3.4. Determinación de la Resistencia a Compresión Simple del Suelo sin Estabilizar Mediante Ensayo a Compresión Simple.....	145
4.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONFORMACIÓN DE LA SUBRASANTE.....	146
4.5. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LA SUBRASANTE A ESTABILIZAR.....	147
4.6. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	148
4.6.1. Estabilización Química.....	148
4.6.1.1. Estabilización Suelo-Cemento.....	148
4.6.1.1.1. Determinación de la humedad optima y la Máxima densidad alcanzada en laboratorio utilizando Diferentes porcentajes de cemento Como estabilizante.....	149
4.6.1.1.2. Determinación del CBR y expansión del suelo Estabilizado a diferentes porcentajes de cemento como Estabilizante.....	150
4.6.1.1.3. Determinación de la resistencia a Compresión simple.....	151
4.6.1.1.4. Determinación del espesor de las capas de Pavimento y su costo para cada porcentaje de	

Cemento aplicado.....	153
4.6.1.1.5. Determinación del contenido optimo de Cemento.....	154
4.6.1.2. Estabilización suelo-cal.....	155
4.6.1.2.1. Determinación del límite liquido, plástico e Índice de plasticidad.....	157
4.6.1.2.2. Determinación de la humedad optima y la Máxima densidad alcanzada en laboratorio utilizando diferentes Porcentajes de cal como estabilizante.....	159
4.6.1.2.3. Determinación del CBR y expansión del Suelo estabilizado a diferentes porcentajes de cal Como estabilizante.....	160
4.6.1.2.4. Determinación de la resistencia a Comprensión simple.....	162
4.6.1.2.5. Determinación del espesor de las capas del pavimento Y su costo para cada porcentaje de cal aplicado.....	164
4.6.1.2.6. Determinación del contenido optimo de Cal.....	164
4.6.2. Estabilización Mecánica de Suelos.....	165
4.6.2.1. Determinación de las propiedades físicas de la mezcla Suelo-granular.....	166
4.6.2.1.1. Determinación de la humedad optima y la Máxima densidad alcanzada en laboratorio usando Diferentes dosificaciones de suelo como estabilizante.....	167
4.6.2.1.2. Determinación del CBR y expansión del Suelo estabilizado a diferentes dosificaciones de suelo Como estabilizante.....	168
4.6.2.1.3. Determinación del espesor de las capas del Pavimento y su costo para cada porcentaje de material Granular aplicado.....	169

4.6.2.1.4. Determinación del porcentaje óptimo de material granular en la mezcla suelo-suelo.....	170
4.6.3. Análisis de Precios Unitarios Referencial.....	171
4.6.3.1. Costos directos.....	172
4.6.3.2. Costos indirectos.....	173
4.6.3.3. Precios unitarios de las estabilizaciones planteadas.....	173
4.6.4. Análisis de Actividades de Mayor Impacto Ambiental en la Realización de las Estabilizaciones Planteadas.....	174
4.6.4.1. Impacto ambiental causado por la estabilización Suelo-Cemento.....	174
4.6.4.2. Impacto ambiental causado por la estabilización Suelo-Cal.....	175
4.6.4.3. Impacto ambiental causado por la estabilización Suelo-Suelo.....	176
4.7. RESULTADOS OBTENIDOS.....	177
4.7.1. Resultados Alcanzados por las Estabilizantes Óptimos Analizados.....	177
4.7.2. Análisis Técnico de Resultados.....	178
4.7.3. Análisis Económico.....	180
4.7.4. Análisis Ambiental.....	181

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.....	183
5.2. RECOMENDACIONES.....	188
 BIBLIOGRAFÍA.....	 190
ANEXOS.	

ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACION DE LA SUBRAZANTE PARA LA ZONA DEL BARRIO EL CONSTRUCTOR

B. INDICE DE ABACOS, GRAFICOS Y FIGURAS.

	Página
1. Figura 2.1. Esquema de Representación de las tres fases.....	16
2. Figura 2.2. Esquema Ensayo limite liquido.....	21
3. Diagrama 2.1. Flujograma para Clasificación de Suelos mediante el Sistema unificado.....	30
4. Figura 2.3. Contenido de Agua vs Peso Especifico húmedo en Compactaciones.....	35
5. Figura 2.4a. Dimensiones del Molde para Prueba Proctor Estándar.....	37
6. Figura 2.4b. Dimensiones del Pistón para Prueba Proctor Estándar.....	37
7. Figura 2.5. Curvas típicas de Compactación para cinco suelos.....	38
8. Figura 2.6. Dimensiones del Cono de Arena y su Placa.....	41
9. Figura 2.7a. Ubicación de la Subrasante para un paquete de pavimento flexible...54	
10. Figura 2.7b. Ubicación de la Subrasante para un paquete de pavimento rígido....54	
11. Abaco 2.1. Valores Típicos de Subrasantes.....	60
12. Figura 3.1. Grafica de Curvas de esfuerzo-deformación en función del Tiempo y el tipo de suelo.....	90
13. Figura 3.2. Curvas esfuerzo-deformación en función del tiempo Para la Estabilización suelo-cemento.....	92
14. Figura 3.3. Efectos del Retraso de la Compactación después del Hidratado En la comprensión simple.....	93
15. Figura 3.4. Influencia del Tiempo de Curado en la resistencia a la Comprensión simple.....	93
16. Figura 3.5. Formas Típicas que Muestran la Influencia del contenido de Cemento en el agrietamiento.....	94
17. Figura 3.6. Curvas Típicas de la Variación de la Contracción con el Contenido de cemento.....	96
18. Figura 3.7. Efecto de la Contracción por el Contenido de humedad	

Durante la compactación.....	96
19. Figura 3.8. Abaco para la Dosificación y Rendimiento de la cal.....	115
20. Figura 3.9. Abaco para Determinar la Distancia entre bolsas de cal.....	116
21. Figura 3.10. Extendido de la Cal por Vía seca.....	117
22. Figura 3.11. Granulometría en Grupos y su Función dentro de la Estructura de un suelo.....	129
23. Figura 3.12. Especificaciones para Curvas Granulométricas recomendables....	132
24. Grafico 4.1. Curvas granulométricas de las muestras extraídas del Suelo natural.....	139
25. Grafico 4.2. Curva de Compactación del Suelo natural.....	143
26. Grafico 4.3. Curva de esfuerzo-deformación del Suelo natural.....	146
27. Abaco 4.1. Espesores de Pavimento en carreteras según el VRS.....	147
28. Grafico 4.4. Curvas de Compactación para la mezcla suelo-cemento a Diferentes porcentajes de estabilizante.....	149
29. Grafico 4.5. Influencia del Porcentaje de Cemento en el CBR con Relación al suelo natural y suelo mejorado con ripio.....	150
30. Grafico 4.6. Influencia del Porcentaje de Cemento en la expansión con Relación al suelo natural y suelo mejorado con ripio.....	151
31. Grafico 4.7. Influencia del Porcentaje de cemento en la resistencia a Comprensión simple.....	152
32. Grafico 4.8. Efecto del Porcentaje de cemento en la relación esfuerzo-deformación.....	152
33. Grafico 4.9. Variación del Costo total según el cemento aplicado.....	154
34. Grafico 4.10. Variación de los Limites de Atterberg en la Mezcla suelo-cal....	158
35. Grafico 4.11. Variación de los Limites de Atterberg con el contenido de cal...	159
36. Grafico 4.12. Curvas de Compactación para la Mezcla suelo-cal a Diferentes porcentajes de estabilizante.....	160
37. Grafico 4.13. Influencia del Porcentaje de cal en el CBR con relación al Suelo en estado natural.....	161
38. Grafico 4.14. Influencia del % de cal en la Expansión con relación al Suelo natural.....	162

39. Grafico 4.15. Influencia del % de cal en la Resistencia a compresión Simple.....	163
40. Grafico 4.16. Efecto del Porcentaje de cal en la Relación esfuerzo-deformación.....	163
41. Grafico 4.17. Variación del Costo total según el porcentaje de cal.....	164
42. Grafico 4.18. Cuevas de Compactación para la Mezcla suelo-suelo a Diferentes porcentajes de material granular.....	167
43. Grafico 4.19. Influencia del % de Material granular en el CBR con relación al suelo natural	168
44. Grafico 4.20. Influencia del % de Material Granular en la expansión con Relación al suelo natural.....	169
45. Grafico 4.21. Variación del Costo total según el Porcentaje de material granular aplicado.....	170
46. Grafico 4.22. Evaluación de la Humedad Optima, densidad máxima y CBR..	178
47. Grafico 4.23. Evaluación económica de los Valores Óptimos de cada Estabilizante Analizado.....	180

ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACION DE LA SUBRAZANTE PARA LA ZONA DEL BARRIO EL CONSTRUCTOR

A. INDICE DE CUADROS Y TABLAS

	Página
1. Tabla 2.1. Descripción del Suelo según su Consistencia Relativa.....	26
2. Tabla 2.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.....	29
3. Tabla 2.3. Sistema de Clasificación AASHTO.....	32
4. Tabla 2.4. Valores De la Carga Unitaria Patrón para Ensayo de CBR.....	43
5. Tabla 2.5. Clasificación de la Calidad de la Subrasante de Acuerdo al Valor de CBR.....	44
6. Tabla 2.6. Referencia para Anotación de Cargas en el Ensayo de CBR.....	47
7. Tabla 2.7. Clasificación de Acuerdo a Consistencia y Carga Ultima del Suelo.....	51
8. Tabla 2.8. Resumen de Aplicación de Ensayos y Practicas.....	53
9. Tabla 2.9. Condiciones a Contemplar en una Subrasante.....	57
10. Tabla 2.10. Clasificación de la Subrasante de acuerdo al CBR.....	60
11. Tabla 3.1. Categorías Resistentes de los Cementos.....	81
12. Tabla 3.2. Especificaciones Físicas de los Cementos.....	81
13. Tabla 3.3. Contenido de Cemento Aproximado de Acuerdo al tipo de Suelo.....	83
14. Tabla 3.4. Especificaciones Técnicas de Acuerdo al Tipo de Suelo.....	83
15. Tabla 3.5. Valores del CBR y otras Propiedades Exigidas para Distintas capas de suelo-cemento.....	95
16. Tabla 3.6. Denominación de los Tipos de Suelos Estabilizados con cal.....	109
17. Tabla 3.7. Rangos de Distribución Granulométrica Recomendables.....	131
18. Tabla 4.1. Contenido de Humedad del suelo natural.....	138
19. Tabla 4.2. Resumen de los Limites de Plasticidad de las muestras del suelo natural.....	140
20. Tabla 4.3. Resumen de la Clasificación de las Muestras del suelo natural.....	141
21. Tabla 4.4. Especificaciones del CBR y Expansión de acuerdo a normativa	

Local.....	147
22. Tabla 4.5. Espesor real del Pavimento Determinado Mediante Abaco 4.1	148
23. Tabla 4.6. Humedad Optima y Máxima densidad Alcanzada a diferentes Porcentajes de suelo-cemento.....	149
24. Tabla 4.7. CBR al 100% y CBR al 95% de las Mezclas suelo-cemento.....	150
25. Tabla 4.8. Expansión de la Mezcla suelo-cemento.....	150
26. Tabla 4.9. Carga última Prueba a Compresión simple de la Mezcla suelo-cemento.....	151
27. Tabla 4.10. Espesores y Costos según el Porcentaje de Cemento aplicado.....	153
28. Tabla 4.11. Resumen de Resultados Mezcla suelo-cemento.....	154
29. Tabla 4.12. Análisis Químico de la cal.....	155
30. Tabla 4.13. Índice de pH de la Mezcla suelo-cal.....	156
31. Tabla 4.14. Limites de Atterberg en la mezcla suelo natural con 3% de cal.....	157
32. Tabla 4.15. Limites de Atterberg en la mezcla suelo natural con 5% de cal.....	157
33. Tabla 4.16. Limites de Atterberg en la mezcla suelo natural con 8% de cal.....	158
34. Tabla 4.17. Humedad Optima y Máxima Densidad alcanzada a diferentes Porcentajes de suelo-cal.....	159
35. Tabla 4.18. CBR al 100% y CBR al 95% de la mezcla suelo-cal	160
36. Tabla 4.19. Determinación del Porcentaje Adecuado de cal para Alcanzar Un CBR del 20% en la Subrasante.....	161
37. Tabla 4.20. Expansión de la Mezcla suelo-cal.....	161
38. Tabla 4.21. Determinación de la Resistencia a Compresión simple.....	162
39. Tabla 4.22. Determinación del Espesor de las Capas del pavimento y su Costo para cada Porcentaje de cal aplicado.....	164
40. Tabla 4.23. Resumen de Resultados Mezcla suelo-cal.....	165
41. Tabla 4.24. Determinación de las Propiedades Físicas de la Mezcla Suelo-granular.....	166
42. Tabla 4.25. humedad optima y máxima densidad alcanzada a diferentes porcentajes de material granular.....	167
43. Tabla 4.26. CBR al 100% y CBR al 95% de la Mezcla suelo-suelo.....	168
44. Tabla 4.27. Expansión de la Mezcla suelo-granular.....	168

45. Tabla 4.28. Espesores y Costos según el Porcentaje de material granular aplicado.....	169
46. Tabla 4.29. Resumen de Resultados Mezcla suelo-suelo.....	170
47. Tabla 4.30. Resultado de Cálculo de Precios Unitarios para las Alternativas de Estabilización de suelos.....	173
48. Tabla 4.31. Actividades que Generan Impacto Ambiental causado por la estabilización suelo-cemento.....	175
49. Tabla 4.32. Actividades que Generan Impacto Ambiental causado por la estabilización suelo-cal.....	176
50. Tabla 4.33. Actividades que Generan Impacto Ambiental causado por la estabilización suelo-granular.....	176
51. Tabla 4.34. Resumen de Resultados Obtenidos por los Valores óptimos de cada estabilizante analizado.....	177
52. Tabla 5.1. Clasificación Muestras de Suelos.....	183
53. Tabla 5.2. Propiedades del Suelo en Estado natural.....	184
54. Tabla 5.3. Resultados Obtenidos del Análisis técnico de Porcentajes Óptimos de Estabilizantes Analizados.....	185