

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



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DENSIDAD Y HUMEDAD
DE LA SUBRASANTE NATURAL Y LA SUBRASANTE
UTILIZANDO PRODUCTO TERRASIL”**

Por:

CIMAR CONDORI LOPEZ

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 – 2018

TARIJA – BOLIVIA

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

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DENSIDAD Y HUMEDAD
DE LA SUBRASANTE NATURAL Y LA SUBRASANTE
UTILIZANDO PRODUCTO TERRASIL

Por:

CIMAR CONDORI LOPEZ

SEMESTRE II - 2018

TARIJA - BOLIVIA

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

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

TRIBUNAL:

.....
Ing. Ricardo Arce Avendaño

.....
Ing. Marcelo Pacheco Núñez

.....
Ing. Grover Torres Ibieta

ADVERTENCIA

El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por cuidarme y protegerme siempre, darme salud, sabiduría y entendimiento para alcanzar este logro. A mis queridos padres Florentino y Rosaura, por el apoyo moral e incondicional, que sin su ayuda hubiese sido difícil elaborar el presente trabajo.

A mis hermanos que siempre me están apoyando en los buenos y malos momentos.

A todos los docentes que me brindaron sus conocimientos en mi formación como profesional.

Un agradecimiento a Samuel Rocabado encargado de laboratorio de asfaltos y suelos por su apoyo incondicional en toda la etapa del proyecto, por brindarme su amistad y apoyo.

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos y además por su infinita bondad y amor.

A Mi padre Florentino, al que debo lo que soy, que siempre fue un guía en el camino, por ser el principal motivo de superación en mi vida.

A Mi madre Rosaura, por el apoyo, comprensión y colaboración que siempre me brinda.

Mis hermanos que siempre me están apoyando en los buenos y malos momentos.

INDICE GENERAL

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

	PAG.
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3.1. Situación problemática.....	3
1.3.2. Problema.....	3
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. HIPÓTESIS.....	4
1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTE.....	4
1.6.1. Variable independiente.....	4
1.6.2. Variable dependiente.....	4
1.6.3. Conceptualización y operacionalización de variables.....	5
1.7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	6
1.7.1. Unidades de estudio y decisión muestral.....	6
1.7.1.1. Unidades de estudio.....	6
1.7.1.2. Población.....	6
1.7.1.3. Muestra.....	6
1.7.1.4. Muestreo.....	6
1.7.2. Métodos y técnicas empleadas.....	6
1.7.2.1. Diseño experimentales.....	6
1.7.2.2. Técnica.....	6
1.7.2.3. Descripción de equipos e instrumentos.....	7
1.7.3. Procedimiento de aplicación.....	8
1.7.4. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.....	9

1.7.4.1. Método del error experimental promedio.....	9
1.8. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	11

CAPITULO II
ESTADO DE CONOCIMIENTO DE LA SUBRASANTE NATURAL Y
SUBRASANTE CON TERRASIL

	PAG.
2.1. ANTECEDENTES.....	12
2.2. SUELO.....	13
2.2.1. El contenido de agua en la masa del suelo (w%).....	13
2.2.2. Suelos arcillosos características y propiedades.....	14
2.2.2.1. Definición.....	14
2.2.2.2. Arcillas.....	14
2.2.2.3. Características de las arcillas.....	14
2.2.2.4. Clasificación de las arcillas.....	14
2.2.3. Plasticidad.....	14
2.2.3.1. El índice de plasticidad (IP).....	15
2.2.3.2. Límites de Atterberg.....	15
2.2.3.3. Determinación del límite líquido.....	15
2.2.3.4. Determinación del límite plástico.....	16
2.2.4. Compactación de los suelos.....	17
2.2.4.1. Prueba Proctor estándar.....	17
2.2.4.2. Prueba Proctor modificada.....	18
2.2.5. Método CBR.....	20
2.3. SUBRASANTE.....	21
2.3.1. Propiedades de los suelos como subrasante en carreteras.....	22
2.3.2. Funciones de los materiales subrasante – terraplén.....	23
2.3.2.1. Terraplén.....	24
2.3.3. Terrenos de fundación para subrasante.....	24

2.3.3.1. La roca como subrasante.....	24
2.3.3.2. Los suelos como subrasante.....	24
2.3.4. Tipos de estabilización.....	26
2.3.5. Características y control.....	27
2.3.6. Procedimientos de construcción.....	28
2.4. ADITIVO ESTABILIZADOR TERRASIL.....	29
2.4.1. Aplicación del aditivo Terrasil en suelos.....	29
2.4.2. Estabilizaciones viales con Terrasil.....	31
2.4.3. Ventajas técnicas.....	33
2.4.3.1. Suelos resistentes al agua permeabilidad.....	33
2.4.3.2. Incremento de densidades.....	34
2.4.3.3. Multiplica el índice CBR.....	34
2.4.3.4. Evita la absorción de agua.....	34
2.4.3.5. Mantiene la transpirabilidad.....	35
2.4.3.6. Minimiza la expansividad del suelo.....	35
2.4.3.7. Beneficios del Terrasil.....	36

CAPITULO III

ANALISIS COMPARATIVO DE LA DENSIDAD Y HUMEDAD DE LA SUBRASANTE NATURAL Y LA SUBRASANTE UTILIZANDO PRODUCTO TERRASIL

	PAG.
3.1. UBICACION DEL PROYECTO.....	37
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	38
3.2.1. Muestra.....	38
3.2.2. Muestreo de la calicata progresiva 2+000.....	39
3.2.3. Muestreo de la calicata progresiva 2+500.....	40
3.2.4. Muestreo de la calicata progresiva 3+000.....	41
3.2.5. Muestreo de la calicata progresiva 3+500.....	42

3.2.6. Muestreo de la calicata progresiva 4+000.....	43
3.2.7. Muestreo de la calicata progresiva 4+500.....	44
3.2.8. Proceso de obtención del producto de Terrasil.....	45
3.2.9. Criterio de selección de la muestra.....	46
3.3. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES.....	46
3.3.1. Ensayos de caracterización en los suelos naturales.....	47
3.3.1.1 Contenido de humedad de la muestra (ASTM D2216).....	47
3.3.1.2. Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 - AASHTO T-88).....	49
3.3.1.3. Determinación del límite líquido (ASTM D4318 AASHTO T89).....	55
3.3.1.4. Determinación del límite plástico (ASTM D4318 AASHTO T89).....	59
3.3.1.5. Clasificación del suelo.....	61
3.3.1.6. Ensayo de compactación método modificado (Método "C" ASTM D422 AASHTO T180).....	62
3.3.1.7. Determinación de la relación de soporte del suelo en laboratorio (CBR de laboratorio) (ASTM D1883 AASHTO T193).....	66
3.3.1.8. Resumen de resultados.....	70
3.4. ESTUDIO DE SUELO – ADITIVO TERRASIL.....	71
3.4.1. Enfoque general.....	71
3.4.2. Dosificación.....	71
3.4.3. Preparación de mezclas de prueba variando dosificaciones de Terrasil.....	71
3.4.4. Evaluación del suelo - Terrasil.....	73
3.4.4.1 Caracterización del suelo-Terrasil.....	74
3.4.4.2. Determinación de la relación de soporte del suelo-Terrasil (CBR de laboratorio) (ASTM D1883 AASHTO T193).....	77
3.4.5. Resultados de los ensayos de suelo-Terrasil.....	79
3.4.6. Análisis de resultados de las mezclas de suelo -Terrasil.....	89
3.4.6.1. Plasticidad.....	89
3.4.6.2. Clasificación.....	93
3.4.6.3. Compactación método modificado T-180.....	95
3.4.6.4. Razón soporte de califormia (CBR) del suelo-Terrasil.....	102

3.4.6.5. Expansión del suelo-Terrasil.....	106
3.4.7. Determinación del porcentaje de incremento a la influencia del Terrasil.....	107
3.4.7.1. Incremento de la densidad máxima seca.....	107
3.4.7.2. Incremento del CBR a la influencia del terrasil.....	110
3.4.8. Comparación del Terrasil con otro producto.....	113
3.5. Costo económico del Terrasil.....	116
3.5.1. Comparación y análisis de costos económicos con otros productos.....	117
3.6. Tratamiento estadístico.....	119
3.6.1. Tratamiento estadístico para la mezcla suelo-Terrasil.....	119

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	PAG.
4.1. CONCLUSIONES.....	123
4.2. RECOMENDACIONES.....	127
BIBLIOGRAFIA	129

ANEXOS

ANEXO I. Información sobre Terrasil

ANEXO II. Ensayos de suelos en estado natural

ANEXO III. Ensayos de suelos tratados con producto Terrasil

ANEXO IV. Reporte fotográfico

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág. N°
Grafico 3.1. Granulometría progresiva 2+000	52
Grafico 3.2. Granulometría progresiva 2+500.	53
Grafico 3.3. Granulometría progresiva 3+000.	53
Grafico 3.4. Granulometría progresiva 3+500.	54
Grafico 3.5. Granulometría progresiva 4+000.	54
Grafico 3.6. Granulometría progresiva 4+500.	55
Grafico 3.7. Curvas de compactación con dosificaciones de 0.2, 0.5, 0.75, 1.0, 2.0, 2.5 Kg/m ³ muestra N° 1.	80
Grafico 3.8. Curvas de compactación con dosificaciones de 0.2, 0.5, 0.75, 1.0, 2.0, 2.5 Kg/m ³ muestra N° 2.	81
Grafico 3.9. Curvas de compactación con dosificaciones de 0.2, 0.5, 0.75, 1.0, 2.0, 2.5 Kg/m ³ muestra N° 3.	83
Grafico 3.10. Curvas de compactación con dosificaciones de 0.2, 0.5, 0.75, 1.0, 2.0, 2.5 Kg/m ³ muestra N° 4.	84
Grafico 3.11. Curvas de compactación con dosificaciones de 0.2, 0.5, 0.75, 1.0, 2.0, 2.5 Kg/m ³ muestra N° 5.	86
Grafico 3.12. Curvas de compactación con dosificaciones de 0.2, 0.5, 0.75, 1.0, 2.0, 2.5 Kg/m ³ muestra N° 6.	88
Grafico 3.13. Índice de plasticidad vs Dosificación Terrasil muestra N° 1.....	89
Grafico 3.14. Índice de plasticidad vs Dosificación Terrasil muestra N° 2.....	90
Grafico 3.15. Índice de plasticidad vs Dosificación Terrasil muestra N° 3.....	91
Grafico 3.16. Índice de plasticidad vs Dosificación Terrasil muestra N° 4.....	91
Grafico 3.17. Índice de plasticidad vs Dosificación Terrasil muestra N° 5.....	92
Grafico 3.18. Índice de plasticidad vs Dosificación Terrasil muestra N° 6.....	92
Grafico 3.19. Densidad máxima vs Dosificación Terrasil	92
Grafico 3.20. Influencia del Terrasil al 0.2 Kg/m ³ en la densidad seca	96
Grafico 3.21. Influencia del Terrasil al 0.5 Kg/m ³ en la densidad seca	96
Grafico 3.22. Influencia del Terrasil al 0.75 Kg/m ³ en la densidad seca	96

Grafico 3.23. Influencia del Terrasil al 1.0 Kg/m ³ en la densidad seca	97
Grafico 3.24. Influencia del Terrasil al 2.0 Kg/m ³ en la densidad seca	97
Grafico 3.25. Influencia del Terrasil al 2.5 Kg/m ³ en la densidad seca	97
Grafico 3.26. Humedad óptima % vs Terrasil 0.2 kg/m ³	99
Grafico 3.27. Humedad óptima % vs Terrasil 0.5 kg/m ³	99
Grafico 3.28. Humedad óptima % vs Terrasil 0.75 kg/m ³	99
Grafico 3.29. Humedad óptima % vs Terrasil 1.0 kg/m ³	100
Grafico 3.30. Humedad óptima % vs Terrasil 2.0 kg/m ³	100
Grafico 3.31. Humedad óptima % vs Terrasil 2.5 kg/m ³	100
Grafico 3.32. CBR vs Terrasil.....	102
Grafico 3.33. CBR vs Terrasil A-4(5).....	103
Grafico 3.34. CBR vs Terrasil A-4(3).....	103
Grafico 3.35. CBR vs Terrasil A-6(10).....	103
Grafico 3.36. CBR vs Terrasil A-6(11).....	104
Grafico 3.37. CBR vs Terrasil A-4(7).....	104
Grafico 3.38. CBR vs Terrasil A-6(9).....	104
Grafico 3.39. Expansión vs. Terrasil.....	106
Grafico 3.40. Incremento Dmax vs Dosificación Terrasil A-4(5)	107
Grafico 3.41. Incremento Dmax vs Dosificación Terrasil A-4(3)	107
Grafico 3.42. Incremento Dmax vs Dosificación Terrasil A-6(10)	108
Grafico 3.43. Incremento Dmax vs Dosificación Terrasil A-6(11)	108
Grafico 3.44. Incremento Dmax vs Dosificación Terrasil A-4(7)	109
Grafico 3.45. Incremento Dmax vs Dosificación Terrasil A-6(9)	109
Grafico 3.46. Incremento % CBR vs Dosificación Terrasil A-4(5).....	110
Grafico 3.47. Incremento % CBR vs Dosificación Terrasil A-4(3).....	110
Grafico 3.48. Incremento % CBR vs Dosificación Terrasil A-6(10).....	110
Grafico 3.49. Incremento % CBR vs Dosificación Terrasil A-6(11).....	111
Grafico 3.50. Incremento % CBR vs Dosificación Terrasil A-4(7).....	111
Grafico 3.51. Incremento % CBR vs Dosificación Terrasil A-6(9).....	111
Grafico 3.52. Comparación económica.....	117

INDICE DE TABLAS

	Pág. N°
Tabla 1.1. Operacionalización de variables	5
Tabla 1.2. Caracterización de los materiales.....	7
Tabla 2.1. Especificaciones para prueba de proctor estándar	19
Tabla 2.2. Especificaciones para prueba de proctor modificada (ASTMD 1557-91).....	20
Tabla 2.3. Categorías de suelos para terracerías y capa subrasante	27
Tabla 2.4. Coeficientes de drenaje	35
Tabla 3.1. Numero de muestras	38
Tabla 3.2. Ensayos de caracterización a los suelos naturales	46
Tabla 3.3. Resultados del contenido de humedad natural	48
Tabla 3.4. Resultados de granulometría del suelo natural	52
Tabla 3.5. Resultados correspondientes a la plasticidad de los suelos naturales	61
Tabla 3.6. Clasificación de los suelos según AASTHO y SUCS	61
Tabla 3.7. Resultados de compactación del suelo natural	66
Tabla 3.8. Resultados de CBR de los suelos naturales	74
Tabla 3.9. Resumen de la caracterización de los suelos naturales	75
Tabla 3.10. Resumen de la caracterización de los suelos naturales (Proctor y CBR).....	75
Tabla 3.11. Distribución de dosificaciones en cada muestra	77
Tabla 3.12. Ensayos realizados para suelo terrasil	73
Tabla 3.13. Resultados de clasificación de suelo con terrasil muestra N°1	79
Tabla 3.14. Resultados de compactación con terrasil muestra N°1	80
Tabla 3.15. Resultados de CBR y expansión con terrasil muestra N°1	80
Tabla 3.16. Resultados de clasificación del suelo con terrasil muestra N°2	81
Tabla 3.17. Resultados de compactación con terrasil muestra N°2	81
Tabla 3.18. Resultados de CBR y expansión con terrasil muestra N°2	82
Tabla 3.19. Resultados de clasificación del suelo con terrasil muestra N°3	82
Tabla 3.20. Resultados de compactación con terrasil muestra N°3	82
Tabla 3.21. Resultados de CBR y expansión con terrasil muestra N°3	83
Tabla 3.22. Resultados de clasificación del suelo con terrasil muestra N°4	84

Tabla 3.23. Resultados de compactación con terrasil muestra N°4	84
Tabla 3.24. Resultados de CBR y expansión con terrasil muestra N°4	85
Tabla 3.25. Resultados de clasificación del suelo con terrasil muestra N°5	85
Tabla 3.26. Resultados de compactación con terrasil muestra N°5	85
Tabla 3.27. Resultados de CBR y expansión con terrasil muestra N°5	86
Tabla 3.28. Resultados de clasificación del suelo con terrasil muestra N°6	87
Tabla 3.29. Resultados de compactación con terrasil muestra N°6	87
Tabla 3.30. Resultados de CBR y expansión con terrasil muestra N°6	88
Tabla 3.31. Índice de plasticidad suelo-terrasil	89
Tabla 3.32. Tabla de clasificación de la mezcla suelo-terrasil.....	94
Tabla 3.33. Resumen de resultados de compactación	95
Tabla 3.34. Resumen de valores de CBR de suelo-terrasil.....	102
Tabla 3.35. Expansión del suelo-terrasil.....	106
Tabla 3.36. Resultado de compactación con terrasil.....	112
Tabla 3.37. Resultados de CBR y expansión terrasil.....	112
Tabla 3.38. Resultados de compactación con sulfato de calcio	113
Tabla 3.39. Resultados de % CBR y expansión con sulfato de calcio.....	113
Tabla 3.40. Terrasil vs Sulfato de calcio.....	113
Tabla 3.41. CBRI vs Sulfato de calcio	114
Tabla 3.42. Precio unitario	115
Tabla 3.43. Estadística para los suelos LL, LP, IP	118
Tabla 3.44. Estadística para la H.O. y la densidad	119
Tabla 3.45. Estadística para la expansión y el CBR	121

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág. N°
Figura 2.1. Fases de estabilización en sitio	28
Figura 2.2. Estabilizaciones viales sin asfaltar	31
Figura 2.3. Estabilizaciones de bases y sub-bases	31
Figura 2.4. Pavimentos ecológicos con terrizos	32
Figura 2.5. Áreas de aparcamiento.....	32
Figura 2.6. Arcenes no pavimentados	33
Figura 2.7. Estabilización de bases de campo de futbol	33
Figura 3.1. Localización satelital del área de estudio	37
Figura 3.2. Zona de procedencia del material extraído	39
Figura 3.3. Zona de procedencia del material extraído	40
Figura 3.4. Zona de procedencia del material extraído	41
Figura 3.5. Zona de procedencia del material extraído	42
Figura 3.6. Zona de procedencia del material extraído	43
Figura 3.7. Zona de procedencia del material extraído	44
Figura 3.8. Producto aditivo terrasil.....	69
Figura 3.9. Dosificación mezclada.....	70
Figura 3.10. Pesado de la muestra húmeda y secado en el horno	70
Figura 3.11. Cortado de material por tamiz N°4 y cantidad de muestra.....	72
Figura 3.12. Muestra en saturación	50
Figura 3.13. Lavado de la muestra en tamiz N°200.....	50
Figura 3.14. Muestra retenida tamiz N°200.....	51
Figura 3.15. Retamizado de suelo seco y cantidades retenidas en cada malla.....	51
Figura 3.16. Calibración de aparato casagrande	56
Figura 3.17. Material pasante por el tamiz N°40	56
Figura 3.18. Preparación de la mezcla	57
Figura 3.19. Colocado y moldeado de la muestra	57
Figura 3.20. Conteo de golpes.....	58
Figura 3.21. Corte y retiro del material.....	58

Figura 3.22. Paso de muestra húmeda y muestra seca	59
Figura 3.23. Descripción de realización del ensayo.....	60
Figura 3.24. Preparación de la muestra	62
Figura 3.25. Mezclado del suelo	63
Figura 3.26. Compactado	64
Figura 3.27. Peso del molde con muestra	64
Figura 3.28. Preparación del material para CBR y muestra para contenido de humedad...	67
Figura 3.29. Procedimiento de inmersión	68
Figura 3.30. Procedimiento de rotura de CBR.....	69
Figura 3.31. Mezcla del suelo con terrasil	72
Figura 3.32. Practica de granulometría del suelo-terrasil ASTM D422 AASHTO T88	74
Figura 3.33. Practica de límites del suelo-terrasil (ASTM D4318 AASHTO T89, AASHTO T90.....	75
Figura 3.34. Practica de compactación del suelo-terrasil (AST D422 AASHTO T180	76
Figura 3.35. Proporción de terrasil en la mezcla	77
Figura 3.36. Preparación de suelo-terrasil para CBR y muestra para contenido de humedad...	78
Figura 3.37. Compactación del suelo-terrasil con diferentes energías	79