

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



**“COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE LA
APLICACIÓN DE GEOCELDAS DE POLIETILENO DE ALTA
DENSIDAD Y EL MÉTODO CORTE - RELLENO PARA LA
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EN CALLES DE TIERRA
APLICADO EN LA CALLE 7 DEL BARRIO MIRAFLORES”**

Por:

CARLOS ESTEBAN PÉREZ CIFUENTES

**SEMESTRE II - 2020
TARIJA - BOLIVIA**

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

**COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE LA APLICACIÓN DE
GEOCELDAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD Y EL MÉTODO CORTE
- RELLENO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EN CALLES DE TIERRA
APLICADO EN LA CALLE 7 DEL BARRIO MIRAFLORES**

Por:

CARLOS ESTEBAN PEREZ CIFUENTES

Proyecto de grado presentado a mi consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura de Ingeniería Civil.

TARIJA – BOLIVIA
Noviembre 2020

V°B°

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

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

TRIBUNAL:

Msc. Ing. Laura Karina Soto Salgado

Msc. Ing. Marcelo Humberto Pacheco Nuñez

Msc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

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

DEDICATORIA

A mis padres, Marcela y Alejandro mi abuela, Fidelity, mi amigo Alejandro y en especial a mi abuelo, Carlos, que se encuentra en la gracia Dios.

AGRADECIMIENTOS:

A mi madre, Marcela por haberme dado la vida y las oportunidades de llegar hasta este momento.

A mi abuela Fidelia, por ser el pilar fundamental en mi educación como persona, pero más que nada, por su cariño.

Al amigo que conocí en la universidad, Alejandro, gracias por su sincera amistad y por el apoyo de siempre.

A la universidad y a mis maestros por el tiempo y comprensión compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación.

Y a los tribunales de mi proyecto por su colaboración y consejos.

PENSAMIENTO:

«No se puede mirar demasiado lejos. Porque si miras demasiado lejos pierdes de vista el suelo y corres el riesgo de tropezar. Pero tampoco debes distraerte con los pequeños detalles que están a tus pies. Porque si no miras al frente, acabarás topando con algo. Total, hay que mirar un poco hacia delante, seguir un orden determinado e ir despachando las cosas. Eso es fundamental. En cualquier cosa que hagas».

Haruki Murakami

ÍNDICE DE DOCUMENTO

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Situación problemática.....	3
1.3.1. Problema de investigación.....	3
1.3.2. Conceptualización puntual del objeto de estudio.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis.....	4
1.5.1. Hipótesis.....	4
1.5.2. Identificación de variables.....	4
1.5.3. Conceptualización y operacionalización de las variables.....	5
1.6. Diseño metodológico.....	6
1.6.1. Identificación del tipo del diseño de investigación.....	6
1.6.2. Unidades de estudio, población y muestra.....	6
1.6.3. Población y muestra.....	7
1.6.4. Tamaño de muestra.....	7
1.6.4.1. Selección de las técnicas de muestreo.....	8
1.7. Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva.....	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

	Página
2.1. Introducción.....	10
2.2. Antecedentes.....	11
2.3. Estabilización de suelos.....	12
2.3.1. La subrasante.....	14
2.3.2. Clasificación de suelos.....	19
2.3.3. Conceptos de corte - relleno.....	21

2.4. Geoceldas HDPE (High Density Polyethylene).....	26
2.4.1. Funcionamiento de los sistemas de geoceldas.....	27
2.4.2. Estudios realizados a nivel mundial del comportamiento de geoceldas.....	32
2.4.3. Ventajas de las geoceldas HDPE (High Density Polyethylene)	46
2.4.4. Modificación de módulos con geoceldas.....	48
2.4.5. Criterios de supervivencia del material	54
2.5. Criterios y metodologías de diseño con geoceldas utilizados	57
2.6. Pavimento flexible.....	57
2.6.1. Ahuellamiento en pavimentos flexibles	58
2.6.2. Fatiga en pavimentos flexibles	59
2.7. Método AASHTO-93	60
2.8. Método empírico mecanicista SHELL	62
2.9. Marco normativo	62
2.10. Posición del investigador.....	63
2.11. Presupuesto y evaluación económica de la obra	64
2.11.1. Cálculos métricos	64
2.11.2. Precios unitarios	65
2.11.3. Presupuesto.....	66
2.11.4. Planificación	66
2.12. Tiempo de ejecución.....	67

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN

	Página
3.1. Ubicación.....	68
3.2. Topografía	70
3.2.1. Características del levantamiento topográfico.....	70
3.2.2. Equipo y software.....	71
3.3. Características de la zona	72
3.3.1. Clima	72
3.4. Tráfico	72
3.4.1. Crecimiento de la población.....	72
3.4.2. Periodo de proyección y volúmenes futuros.....	73

3.4.2.1. Período de Proyección:	73
3.4.2.2. Proyección del TPDA	73
3.4.2.2.1. Tráfico Derivado.....	73
3.4.2.2.2. Tráfico total	74
3.5. Categoría de investigación y muestreo	75
3.6. Ensayos de selección y caracterización de la subrasante	75
3.7. Evaluación del comportamiento de la subrasante estabilizada con un sistema de geoceldas y convencional ante ciclos de carga y descarga.....	79
3.8. Características de los materiales	89
3.8.1. Geoceldas	89
3.8.2. Material granular de relleno	89

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

	Página
4.1. Diseño de pavimento flexible método ASSHTO-93	90
4.1.1. Confiabilidad “R”.....	90
4.1.2. Desviación estándar normalizada	91
4.1.3. Desviación estándar de las variables “So”	91
4.1.4. Estimación de ejes equivalentes (ESALs)	92
4.1.4.1. Composición del Tráfico	93
4.1.5. Configuración de Ejes de los Vehículos.....	94
4.1.6. Factores de Equivalencia de Carga y Factor camión.....	97
4.1.7. Pérdida de serviciabilidad de diseño “ PSI”.....	100
4.1.8. Módulo resiliente de la subrasante	100
4.1.9. Determinación de espesores por capas.	101
4.1.10. Coeficientes estructurales o de capa.....	102
4.1.10.1. Coeficiente Estructural para la Capa de Rodadura “a1”.....	102
4.1.10.2. Coeficiente Estructural para la Capa Base “a2”	103
4.1.10.3. Coeficiente Estructural para la Capa Sub-Base “a3”.....	104
4.1.10.4. Coeficientes de drenaje “mi”	104
4.1.11. Diseño de espesor de capas	106
4.2. Diseño de pavimento flexible método empírico mecanicista.....	108

4.2.1. Parámetros de diseño	108
4.2.1.1. Transito	108
4.2.1.2. Temperatura.....	108
4.2.1.3. Propiedades de la subrasante, subbase y base	110
4.2.1.4. Características de la mezcla asfáltica	112
4.2.2. Proceso de cálculo mediante Software WINDEPAV	112

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
5.1. Características físicas y mecánicas del suelo de la calle 7 del barrio Miraflores	117
5.2. Características mecánicas de los materiales de los materiales que componen el paquete estructural del pavimento flexible.....	118
5.3. Diseño de pavimento flexible	130
5.4. Presupuesto de construcción.....	133

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
6.1. Conclusiones.....	135
6.2. Recomendaciones	136
BIBLIOGRAFÍA	137

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla I.1 Conceptualización y operacionalización de las variables	5
Tabla I.2 Unidades de estudio, población y muestra	6
Tabla II.1 Características de los diferentes tipos de geoceldas	40
Tabla II.2 Valores típicos del MIF	51
Tabla II.3 Valores mínimos ensayo DMA.....	56
Tabla III.1 Población y tasa de crecimiento	72
Tabla III.2 Proyección del TPDA (normal, generado, derivado y total)	74

Tabla III.3 Ubicación y coordenadas de puntos de muestreo.....	78
Tabla III.4 Resumen de resultados de caracterización física de la muestra	78
Tabla III.5 Resumen de resultados de caracterización mecánica de la muestra.....	78
Tabla III.6 Configuración de ensayos.....	80
Tabla III.7 Densidades tomadas en cada montaje	84
Tabla III.8 Resumen de configuración de ensayos de aplicación de ciclos de carga y descarga	88
Tabla III.9 Resumen de datos de celdas de presión para distintas configuraciones de ensayos.....	88
Tabla III.10 Características de geoceldas Neoloy de Neoweb	89
Tabla IV.1 Valores de “R” de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales	90
Tabla IV.2 Valores de Desviación Estándar Normalizada.....	91
Tabla IV.3 Valores de Desviación Estándar.....	91
Tabla IV.4 Tráfico total estimado.....	93
Tabla IV.5 Configuración de Ejes de los Vehículos	94
Tabla IV.6 Límites de Cargas según ley de cargas N°1769	94
Tabla IV.7 Cargas por ejes de flota vehicular (TON)	96
Tabla IV.8 Factores equivalentes vehiculares	99
Tabla IV.9 Modulo resiliente de la subrasante	101
Tabla IV.10 Tiempo de Drenaje	105
Tabla IV.11 Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles	105
Tabla IV.12 Temperatura promedio y factor de ponderación	109
Tabla IV.13 Selección de tipo de asfalto.....	112
Tabla V.1 Humedad natural y clasificación	117
Tabla V.2 Compactación	117
Tabla V.3 Límites de Atterberg.....	117
Tabla V.4 California Bearing Ratio (CBR).....	118
Tabla V.6 Relación entre los indicadores de los métodos AASHTO-93 y SHELL.....	131
Tabla V.7 Diseño de pavimento flexible método AASHTO-93	132
Tabla V.8 Diseño de pavimento flexible método empírico mecanicista SHELL	133
Tabla V.9 Resumen de presupuestos de construcción.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura II.1 Redistribución de carga en un sistema reforzado con geoceldas	28
Figura II.2 Profundización de la superficie de falla	29
Figura II.3 Esquema de esfuerzos y deformaciones para la estructura con y sin refuerzo... 29	
Figura II.4 Esquema de funcionamiento de geoceldas	31
Figura II.5 Cohesión aparente	31
Figura II.6 Modelo de prueba con presión aplicada a un refuerzo de geoceldas	32
Figura II.7 Montaje de ensayo con un sistema de geoceldas.....	33
Figura II.8 Montaje de ensayo con grava como capa de conformación	33
Figura II.9 Carga aplicada Vs Desplazamiento vertical	34
Figura II.10 Perfiles de desplazamientos verticales en la superficie	35
Figura II.11 Máximo esfuerzo cortante Vs Carga aplicada.....	35
Figura II.12 Montaje de ensayo con arena como capa de conformación	36
Figura II.13 Asentamiento Vs Carga, de acuerdo a diferentes diámetros de geocelda	37
Figura II.14 Asentamiento Vs Carga, de acuerdo a diferentes alturas de geocelda	37
Figura II.15 Esfuerzo vertical en la subrasante Vs Distancia al plato de carga, de acuerdo con diferentes diámetros de geocelda	38
Figura II.16 Esfuerzo vertical en la subrasante Vs Distancia al plato de carga, de acuerdo con diferentes diámetros de geocelda.....	39
Figura II.17 Curva carga - desplazamiento	39
Figura II.18 Montaje de ensayo.....	41
Figura II.19 Desplazamiento Vs Carga aplicada	42
Figura II.20 Montaje de ensayo	42
Figura II.21 Desplazamiento Vs Presión aplicada.....	43
Figura II.22 Desplazamiento Vs Presión aplicada.....	44
Figura II.23 Utilización sistema de geoceldas autopista Polonia S7	45
Figura II.24 Utilización sistema de geoceldas en el desierto de Kazakhstan	45
Figura II.25 Esquema de esfuerzos y deformaciones para la estructura con y sin refuerzo.....	48
Figura II.26 Modelo de capas para una estructura con refuerzo	49
Figura II.27 Geosensor para medición de esfuerzos.....	50
Figura II.28 Capas donde actúa el MIF	51

Figura II.29	Ábaco de módulos modificados de acuerdo con el MIF	52
Figura II.30	Distribución del confinamiento en la zona reforzada.....	53
Figura II.31	Distribución del confinamiento en la zona reforzada por espesores	54
Figura II.32	Fases de degradación por el fenómeno de fatiga en mezclas asfálticas	60
Figura III.1	Ubicación de la ciudad de Tarija.....	68
Figura III.2	Ubicación de la calle 7 del barrio Miraflores.....	69
Figura III.3	Ubicación de los puntos de muestreo por conveniencia no probabilístico	77
Figura III.4	Esquema de instrumentación.....	80
Figura III.5	Ubicación de medidores de deformación	81
Figura III.6	Medidores de Presión	81
Figura IV.1	Cálculo de ejes equivalentes ESAL's	97
Figura IV.2	Cálculo de los factores equivalentes vehiculares	98
Figura IV.3	Diseño de pavimento flexible método AASHTO software DIPAV 2.2	102
Figura IV.4	Relación entre el coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente adoptado.....	103
Figura IV.5	Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes	103
Figura IV.6	Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes	104
Figura IV.7	Diseño con verificación por capas AASTHO-93, software DIPAV 2.2.....	106
Figura IV.8	Diseño especificado AASTHO-93, software DIPAV 2.2.....	107
Figura IV.9	Número de ejes equivalente Vs Número estructural.....	107
Figura IV.10	Curva de ponderación de temperatura	109
Figura IV.11	Temperatura de la mezcla en función de la temperatura del aire	110
Figura IV.12	Ventana principal de software WinDepav	112
Figura IV.13	Propiedades de carpeta asfáltica	113
Figura IV.14	Repeticiones de carga para falla, carpeta asfáltica método Shell	113
Figura IV.15	Número de repeticiones de carga para falla, capa base método Shell	114
Figura IV.16	Número de repeticiones de carga para falla, capa subbase método Shell.....	114
Figura IV.17	Número de repeticiones de carga para falla, subrasante método Shell.....	115
Figura IV.18	Geometría del semieje de carga sobre el pavimento método Shell	115
Figura IV.19	Resultados del paquete estructural de pavimento flexible con geoceldas en capa base	116

Figura IV.20 Sigma Z (kg/cm ²)	116
Figura V.1 Asentamientos a 20 cm de distancia del punto de aplicación de la carga, bajo un esfuerzo aplicado de 212,2 kPa	118
Figura V.2 Asentamientos a 40 cm de distancia del punto de aplicación de la carga, bajo un esfuerzo aplicado de 212,2 kPa	119
Figura V.3 Asentamientos a 20 cm de distancia del punto de aplicación de la carga, bajo un esfuerzo aplicado de 212,2 kPa, material del granular-geocelda	120
Figura V.4 Asentamientos a 40 cm de distancia del punto de aplicación de la carga, bajo un esfuerzo aplicado de 212,2 kPa, material del granular-geocelda	120
Figura V.5 Bulbos de presión ante un esfuerzo aplicado de 212,21 kPa	121
Figura V.6 Bulbos de presión ante un esfuerzo aplicado de 212,21 kPa	122
Figura V.7 Bulbos de presión ante un esfuerzo de 495,15 kPa	122
Figura V.8 Esfuerzo Vs deformación a 0 cm, 15 cm, 30 cm y 45 cm de profundidad	123
Figura V.9 Carga Vs Deformación a 212.21 kPa, material de relleno-geocelda en el plato de carga.....	125
Figura V.10 Carga Vs Deformación a 495.15 kPa, material de relleno-geocelda en el plato de carga.....	126
Figura V.11 Deformación acumulada Vs Número de ciclos subrasante	127
Figura V.12 Deformación acumulada Vs Numero de ciclos sistema corte - relleno	127
Figura V.13 Deformación acumulada Vs Número de ciclos sistema de geoceldas	128
Figura V.14 Esfuerzo Vs Deformación	129
Figura V.15 Composición de pavimento flexible por método AASHTO-93.....	132
Figura V.16 Composición de pavimento flexible por método mecanicista SHELL	133
Figura V.17 Comparación de presupuestos de construcción.....	134

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página
Fotografía III.1 Progresiva 0+000 de la calle 7 del barrio Miraflores.....	70
Fotografía III.2 Levantamiento topográfico	71
Fotografía III.3 Ensayos de caracterización de suelos	76
Fotografía III.4 Caja metálica utilizada en los ensayos a gran escala	79
Fotografía III.5 Geotextil en la interfase	82
Fotografía III.6 Montajes de las geoceldas.....	83

Fotografía III.7 Geoceldas con material de relleno	83
Fotografía III.8 Toma de densidad en la caja	84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A – Topografía

Anexo B – Caracterización física y mecánica de suelo

Anexo C – Ensayos de ciclos de carga y descarga para distintas configuraciones de estabilización

Anexo D – Diseño geométrico y estructural de pavimento flexible

Anexo E – Presupuesto y evaluación económica de ambas alternativas

Anexo F – Ficha ambiental

Anexo G – Proforma de precios de geoceldas en Tarija

Anexo H – Ficha técnica patentada de geoceldas