

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA APLICANDO
GEOSINTÉTICOS FRENTE A LA SUSTITUCIÓN DE MATERIAL
PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE LA
CARRETERA PU 135 CHECCA-MAZOCRUZ-PUNO**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. FARIAS ESQUIVES, ESTEFANY KRISTEL

Bach. PORTALES TINOCO, MANUEL ALBERTO

ASESOR: Mg. Ing. TORRES CHUNG, CÉSAR ROBERTO

LIMA-PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi padre, que desde el cielo es un soporte emocional constante, a mi madre por preocuparse día a día por mi crecimiento profesional, a mi abuela por su bondad y cariño, a mi familia por su motivación y a mi compañero por su apoyo incondicional.

Estefany Kristel Farias Esquivas

Dedico de manera especial a mis padres, hermano y mi familia por su apoyo incondicional durante todo momento. A mi compañera por ser mi soporte en momentos de dificultad y debilidad.

Manuel Alberto Portales Tinoco

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a nuestra alma mater, la cual nos formó con conocimientos sólidos para desarrollarnos como los profesionales que somos hoy en día. También agradecer a nuestro asesor el ingeniero César Torres Chung al guiarnos mediante críticas constructivas para el desarrollo de nuestra investigación.

Estefany Farias y Manuel Portales

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos	3
1.1.1 Descripción de la Problemática.....	3
1.1.2 Problema Principal:	4
1.1.3 Problemas Secundarios:	4
1.2 Objetivo general y específico	5
1.2.1 Objetivo Principal	5
1.2.2 Objetivos Secundarios:.....	5
1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática.....	5
1.4 Justificación e importancia	6
1.4.1 Justificación.....	6
1.4.2 Importancia.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes del estudio de investigación	8
2.1.1 Marco histórico	8
2.1.2 Investigaciones Internacionales.....	8
2.1.3 Investigaciones Nacionales	10
2.2 Bases teóricas vinculadas a las variables de estudio	11
2.2.1 Tipos de los Geosintéticos.....	12
2.2.2 Funciones de los Geosintéticos	13
2.2.3 Geotextiles.....	19
2.2.4 Funciones y aplicaciones de los geotextiles.....	21
2.2.5 Geomallas.....	21
2.2.6 Funciones y aplicaciones de las geomallas	24
2.2.7 Uso de geosintéticos en carreteras	25
2.2.8 Carreteras sin pavimentar	26
2.2.9 Carreteras pavimentadas	29
2.2.10 Método de selección de geosintéticos.....	33

2.3	Definición de términos básicos.....	35
2.3.1	Geotecnia.....	35
2.3.2	Pavimentos	35
2.3.3	Subrasante	35
2.3.4	Geosintético.....	35
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS		36
3.1	Hipótesis	36
3.1.1	Hipótesis principal.....	36
3.1.2	Hipótesis Secundarias	36
3.2	Variables	36
3.2.1	Definición conceptual de las variables.....	36
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		37
4.1	Tipo y nivel.....	37
4.2	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
4.2.1	Tipos de técnicas e instrumentos.....	38
4.2.2	Procedimiento para la recolección de datos	38
4.3	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	38
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....		40
5.1	Revisión bibliográfica.....	40
CAPÍTULO VI: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....		62
6.1	Descripción de la zona de investigación.....	62
6.1.1	Ubicación del proyecto.....	62
6.1.2	Ubicación geográfica.....	63
6.1.3	Clima	63
6.1.4	Altitud.....	63
6.1.5	Clasificación Vial.....	63
6.1.6	Presentación de ensayos geotécnicos realizados	63
6.1.7	Estabilización por sustitución de material.....	64
6.2	Diseño del pavimento flexible del proyecto	65
6.2.1	Datos del diseño de pavimento.....	65
6.2.2	Diseño del pavimento flexible AASHTO 1993	65
6.3	Diseño del pavimento flexible no reforzado.....	70
6.4	Selección de geosintético.....	76
6.4.1	Guía del Departamento de Transporte de California	76
6.4.2	Guía de diseño de la Administración Federal de Carreteras (FHWA).....	82

6.5	Diseño del pavimento flexible aplicando geomallas	84
6.5.1	Relación del Coeficiente de Capa (LCR)	84
6.6	Diseño del pavimento flexible aplicando geotextiles	87
6.6.1	Datos de entrada	87
6.6.2	Valores admisibles	87
6.6.3	Elasticidad de las capas de pavimento	88
6.6.4	Relación de Poisson	89
6.6.5	DEPAV.....	90
6.6.6	Resultados obtenidos por el método racional.....	94
6.7	Presentación de costos directos	100
	CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	101
7.1	Resultados de la investigación.....	101
7.1.1	Propiedades mecánicas de los geosintéticos	101
7.1.2	Análisis técnico	103
7.1.3	Análisis económico	105
7.2	Contrastación de hipótesis	108
7.2.1	Contrastación de hipótesis general.....	108
7.2.2	Contrastación de hipótesis específica 1.....	109
7.2.3	Contrastación de hipótesis específica 2.....	110
7.2.4	Contrastación de hipótesis específica 3.....	110
	CONCLUSIONES	112
	RECOMENDACIONES	115
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
	ANEXOS	121
	Anexo 1. Diseño Metodológico	121
	Anexo 2. Cotizaciones	124
	Anexo 3. Datos de calicatas	127
	Anexo 4. Planos	128
	Anexo 5. Presupuestos	134
	Anexo 6. Análisis de costos unitarios	138
	Anexo 7. Autorización de uso de datos	154

ÍNDICE TABLAS

Tabla N° 1. Identificación de funciones primarias frente a los tipos de geosintéticos	13
Tabla N° 2. Función principal de la capa geosintética en la construcción de carreteras no pavimentadas basada en el valor CBR del campo	27
Tabla N° 3. Aplicaciones y funciones de los geosintéticos en carreteras pavimentadas	34
Tabla N° 4. Propiedades técnicas de los suelos	40
Tabla N° 5. Propiedades técnicas del agregado en base al Ministerio de transportes y carreteras de India MoRT&H	41
Tabla N° 6. Resultados de las pruebas de carga repetida (asentamiento total y plástico) de secciones de pavimento modelo sin reforzar y reforzadas con geomallas, con diferentes espesores de la sub-base, rigidez de la geomalla y posición de la geomalla	45
Tabla N° 7. Propiedades de los geotextiles de coco	47
Tabla N° 8. Porcentaje de reducción de la deformación permanente para diferentes secciones	51
Tabla N° 9. Propiedades físicas y mecánicas de las geomallas biaxiales en la dirección de la máquina	52
Tabla N° 10. Propiedades de las arenas	56
Tabla N° 11. Propiedades de los Geotextiles.....	56
Tabla N° 12. Valores medios de la deformación axial al fallo de las arenas reforzadas (%)	57
Tabla N° 13. Resultados de los ensayos de tracción del geotextil.....	60
Tabla N° 14. Espesores Recomendados para Estabilización por Sustitución de Suelos	64
Tabla N° 15. Mr promedio.....	65
Tabla N° 16. Mr promedio obtenido sin control de carga	66
Tabla N° 17. Confiabilidad sugerida para diferentes carreteras	66
Tabla N° 18. Coeficientes Estructurales por Capa	68
Tabla N° 19. Calidad del Drenaje de las Capas	68
Tabla N° 20. Coeficientes del Drenaje	69
Tabla N° 21. Espesores Recomendados según AASHTO-1993	69
Tabla N° 22. Espesores de Pavimento (20 años).....	70
Tabla N° 23. Valores CBR Promedio	70
Tabla N° 24. Valores CBR Promedio.....	71

Tabla N° 25. Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 t, en el Carril de Diseño	71
Tabla N° 26. Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola etapa de diseño según rango de Tráfico	72
Tabla N° 27. Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Z_r) para una sola etapa de diseño según el Nivel de Confiabilidad Seleccionado y el Rango de Tráfico.....	73
Tabla N° 28. Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i) Según Rango de Tráfico.....	74
Tabla N° 29. Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i) Según Rango de Tráfico.....	75
Tabla N° 30. Valores número estructural requerido	75
Tabla N° 31. Coeficientes Estructurales por Capa	76
Tabla N° 32. Valores de espesores finales.....	76
Tabla N° 33. Requisitos de las propiedades del geotextil para la mejora de la subrasante (SEGT).....	78
Tabla N° 34. Requisitos de las propiedades de geomalla para la mejora de la subrasante (SEGG)	79
Tabla N° 35. Porcentaje acumulado de la granulometría que pasan	80
Tabla N° 36. Tamaño de partículas de las calicatas para D15, D50 y D85.....	80
Tabla N° 37. Selección de geosintético según tamaño de partículas de las calicatas.....	81
Tabla N° 38. Características de los geotextiles escogidos.....	81
Tabla N° 39. Revisión cualitativa de la aplicación de refuerzo en carreteras pavimentadas permanentes	82
Tabla N° 40. Propiedades de las geomallas McGrid EG 20S, EG 30S y EG 40S.....	83
Tabla N° 41. Valores LCR para CBR=3.63	85
Tabla N° 42. Valores LCR para CBR=2.60	85
Tabla N° 43. Espesores finales con geomalla McGrid EG 20S para CBR=3.63	85
Tabla N° 44. Espesores finales con geomalla McGrid EG 30S para CBR=3.63	85
Tabla N° 45. Espesores finales con geomalla McGrid EG 40S para CBR=3.63	86
Tabla N° 46. Espesores finales con geomalla McGrid EG 20S para CBR=2.60	86
Tabla N° 47. Espesores finales con geomalla McGrid EG 30S para CBR=2.60	86
Tabla N° 48. Espesores finales con geomalla McGrid EG 40S para CBR=2.60	87
Tabla N° 49. Coeficientes de Poisson.....	89
Tabla N° 50. Resultados obtenidos por el software DEPAV	95
Tabla N° 51. Especificaciones técnicas de los geotextiles tejidos.....	96

Tabla N° 52. Tensión disponible de los geotextiles tejidos.....	96
Tabla N° 53. Factores de seguridad global de los geotextiles tejidos.....	96
Tabla N° 54. Segunda iteración de espesores de capas de pavimento.....	97
Tabla N° 55. Esfuerzos y deformaciones obtenidos por el software DEPAV para CBR=3.63	97
Tabla N° 56. Esfuerzos y deformaciones obtenidos por el software DEPAV para CBR=2.60	97
Tabla N° 57. Geotextiles escogidos en la segunda iteración	98
Tabla N° 58. Tercera iteración de espesores de capas de pavimento	98
Tabla N° 59. Esfuerzos y deformaciones obtenidos por el software DEPAV para CBR=3.63	98
Tabla N° 60. Esfuerzos y deformaciones obtenidos por el software DEPAV para CBR=2.60	98
Tabla N° 61. Geotextiles escogidos en la tercera iteración	99
Tabla N° 62. Cuarta iteración de espesores de capas de pavimento.....	99
Tabla N° 63. Esfuerzos y deformaciones obtenidos por el software DEPAV para CBR=3.63	99
Tabla N° 64. Esfuerzos y deformaciones obtenidos por el software DEPAV para CBR=2.60	99
Tabla N° 65. Geotextiles escogidos en la cuarta iteración	100
Tabla N° 66. Espesores finales de las capas del pavimentos y altura de relleno para CBR=3.63%.....	104
Tabla N° 67. Espesores finales de las capas del pavimentos y altura de relleno para CBR=2.60%	105
Tabla N° 68 Costos directos de las propuestas de solución para la estabilización de subrasante.....	106
Tabla N° 69 Costos directos por partidas de las soluciones para la estabilización de subrasante tramo 1	106
Tabla N° 70 Costos directos por partidas de las soluciones para la estabilización de subrasante tramo 2	107
Tabla N° 71 Costos directos por partidas de las soluciones para la estabilización de subrasante tramo 3	108

ÍNDICE FIGURAS

Figura N°1: Mecanismo básico de la función de separación.....	14
Figura N°2: Mecanismo básico de la función de filtración	15
Figura N°3: Mecanismo básico de la función drenaje.....	15
Figura N°4: Mecanismo básico de la función de refuerzo.....	16
Figura N°5: Función de refuerzo según Fluet (1988).....	17
Figura N°6: Cambio de modo de falla (efecto de reducción de esfuerzo cortante).....	17
Figura N°7: Redistribución de la carga superficial aplicada (efecto de confinamiento)	18
Figura N°8: Fuerza vertical debido a cargas sometidas (efecto membrana)	18
Figura N°9: Resistencia pasiva del enclavamiento de las partículas del suelo	19
Figura N°10: (a) Geotextil tejido; (b) geotextil no tejido	19
Figura N°11: Tejido plano y multifilamento tejido	20
Figura N°12: (a) No tejido punzonado por agujas, (b) No tejido unido por calor.....	21
Figura N°13: (a) Geomallas extruidas: (i) uniaxial, (ii) biaxial, (iii) triaxial; (b) geomallas tejidas	22
Figura N°14: Geomalla extruida mono-orientada o uniaxial	22
Figura N°15: Geomalla extruida bi-orientada o biaxial.....	23
Figura N°16: Geomalla triaxial	23
Figura N°17: Geomalla tejida.....	24
Figura N°18: Sección típica de una carretera no pavimentada reforzada con geosintéticos.....	27
Figura N°19: Concepto de separación geosintética en calzadas pavimentadas (modificado de Rankilor, 1981).....	30
Figura N°20: Concepto de capa de suelo encapsulado con membrana (MESL) como capa base/subbase en carreteras pavimentadas.....	31
Figura N°21: Compuestos geotextiles de capa fina	31
Figura N°22: Asentamiento plástico frente al número de ciclos de carga de secciones de pavimento modelo sin reforzar y reforzadas con geomalla: a) 0.25m b) 0.30m c) 0.35m	43
Figura N°23: Asentamiento elástico frente al número de ciclos de carga de secciones de pavimento modelo sin reforzar y reforzadas con geomalla: a) 0.25m b) 0.30m c) 0.35m.....	44
Figura N°24: Variación del factor de mejora de la geomalla reforzada (a) BX1 (b) BX 2.....	45
Figura N°25: Variación de la relación beneficio-tráfico de la geomalla reforzada (a) BX1 (b) BX 2.....	45

Figura N°26: Configuración de la prueba para el estudio de laboratorio (dimensiones en mm)	48
Figura N°27: Sección transversal típica de la carretera utilizada para el estudio (sin escala)	49
Figura N°28: Diagrama esquemático del aparato de ensayo BBD	49
Figura N°29: Deformación plástica vs número de ciclos con geotextiles entre la subrasante y la capa base en una sección: a) no pavimentada b) pavimentada.....	51
Figura N°30: Montaje de la caja de cizallamiento directo: a) material glacial en la caja inferior b) geomalla biaxial como interface c) el agregado No 53 en la caja superior	53
Figura N°31: Envoltentes de resistencia al cizallamiento máximo y final de la prueba para muestras de suelo-agregado con y sin geomallas G2, G5 y G7 en la interfaz.....	54
Figura N°32: Coeficiente medio de resistencia al cizallamiento de la interfaz frente a la apertura de la geomalla área.....	55
Figura N°33: Esfuerzo de cizallamiento máximos en las interfaces suelo-suelo, suelo-agregado y agregado-agregado, con y sin geomalla G2, para una tensión normal de 100 kPa.....	55
Figura N°34: Efecto de (a) el número de capas de geotextil, (b) las propiedades del geotextil, (c) la forma del grano de arena y (d) el tamaño del grano de arena en la resistencia de las arenas reforzadas.....	57
Figura N°35: Envoltentes de fallo de ensayos de compresión triaxial en arenas reforzadas con 5 capas de geotextil.....	58
Figura N°36: Esquema de la caja de pruebas (vista lateral)	59
Figura N°37: Mecanismo de transferencia de carga para las pruebas de interacción suelo-geosintético mostrando las fuerzas que actúan sobre la pared lateral móvil S1 y la fuerza de reacción del refuerzo.....	59
Figura N°38: Granulometría de la arena ensayada	60
Figura N°39: Deformaciones del refuerzo a lo largo del tiempo mediante mediciones externas e internas (ensayos de interacción arena-geotextil SG-100 y SG-200)	61
Figura N°40: Carga del refuerzo en el tiempo a partir de las pruebas de interacción arena-geotextil	61
Figura N°41: Mapa de la carretera del proyecto	62
Figura N°42: Diagrama de flujo para la selección apropiada del geosintético	78
Figura N°43: Coeficiente LCR según geomalla.....	84

Figura N°44: Software DEPAV	90
Figura N°45: Parámetros de inicio para el software DEPAV	90
Figura N°46: Panel principal del software DEPAV	91
Figura N°47: Código y Título del trabajo del software DEPAV	91
Figura N°48: Alternativas para el ingreso de datos en el software DEPAV	91
Figura N°49: Ingreso de datos en el software DEPAV	92
Figura N°50: Elección de alternativas a evaluar en el software DEPAV	92
Figura N°51: Confirmación del proceso de cálculos en el software DEPAV	92
Figura N°52: Proceso de análisis en el software DEPAV.....	93
Figura N°53: Proceso de resultados en el software DEPAV	93
Figura N°54: Resultados obtenidos en el software DEPAV.....	93
Figura N°55: Continuación de los resultados obtenidos en el software DEPAV	94
Figura N°56: Determinación de los resultados obtenidos en el software DEPAV.....	94
Figura N°57: Continuación de la determinación de los resultados obtenidos en el software DEPAV	94

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar los efectos técnicos económicos que conlleva la aplicación de los geosintéticos, frente a la sustitución de material entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135

Checca-Mazocruz-Puno. Para ello se seleccionaron geotextiles y geomallas usando las guías del Departamento de Transporte de California, y de la Administración Federal de Carreteras (FHWA), respectivamente. Posteriormente, por medio del método empírico mecanístico AASHTO 1993 junto con AASHTO R50 y del método racional, se calculó cómo influyeron estos materiales en la estructura de pavimento. Finalmente se realizó un presupuesto de la implementación de estas soluciones y se comparó con la propuesta de sustitución de material.

Del estudio definitivo del proyecto “Mejoramiento de la carretera PU 135 Checca–Mazocruz, Provincia de El Collao – Puno” publicado por Provías Nacional, se recolectó datos generales y de carácter técnico como el tipo de suelo, ensayos realizados, trazo vial, etc. Además, se observó que la solución para la estabilización de la subrasante fue la sustitución de material. Por ende, se quiso comparar la solución planteada con la implementación de materiales como los geosintéticos, mostrando una propuesta de diseño más viable técnica y económicamente.

La propuesta que logró mejores resultados de carácter técnico como económico entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820, fue la aplicación de la geomalla McGrid EG 40S, ya que redujo los espesores totales de la vía y los costos, en comparación de la sustitución de material.

Palabras Clave: Geomallas, geotextiles, método empírico mecanístico, método racional, subrasante.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the technical and economic effects of the application of geosynthetics, versus the replacement of material between KM 12+580 to KM 13+820 of the PU 135 Checca-Mazocruz-Puno highway. For this

purpose, geotextiles and geogrids were selected using the guidelines of the California Department of Transportation and the Federal Highway Administration (FHWA), respectively. Subsequently, by means of the empirical mechanistic method AASHTO 1993 together with AASHTO R50 and the rational method, it was calculated how these materials influenced the pavement structure. Finally, an estimate of the implementation of these solutions was made and compared with the proposed material substitution.

From the final study of the project "Improvement of the road PU 135 Checca-Mazocruz, Province of El Collao - Puno" published by Provías Nacional, general and technical data were collected, such as the type of soil, tests performed, road layout, etc. In addition, it was observed that the solution for the stabilization of the subgrade was the substitution of material. Therefore, we wanted to compare the proposed solution with the implementation of materials such as geosynthetics, showing a more technically and economically viable design proposal.

The proposal that achieved the best technical and economic results between KM 12+580 to KM 13+820, was the application of McGrid EG 40S geogrid, since it reduced the total thickness of the road and the costs, compared to the substitution of material.

Key Words: Geogrids, geotextiles, empirical mechanistic method, rational method, subgrade.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de unir mediante carreteras a los pueblos más alejados del país, obliga a idear soluciones para distintos problemas ingenieriles. En la construcción de vías pavimentadas, la subrasante se usa como base para la estructura de pavimento y para este propósito, se requiere un valor apropiado de CBR, de esta manera se logra asegurar la resistencia adecuada frente a la carga de tráfico impuesta. Sin embargo, no todas las subrasantes pueden cumplir con este criterio, debido a que valores de CBR < 6% son inapropiados según la normativa peruana, siendo necesario sustituirlos o reforzarlos.

El método de sustitución de material proporciona una plataforma de trabajo adecuada, sin embargo, cuando actividades como el movimiento de tierras generan costos elevados, se deben buscar otras alternativas. Las geomallas y geotextiles son materiales los cuales están diseñados para cumplir las funciones de refuerzo, separación, filtración y drenaje, sujetos a la necesidad del proyecto.

En esta investigación se busca comparar técnica y económicamente la implementación de geomallas y geotextiles frente a la sustitución de material.

La presente investigación se estructura en siete capítulos:

En el capítulo I, se presenta la descripción de la problemática que se usa como base para realizar el estudio, mencionando la ubicación y condiciones actuales. También se especifica los objetivos, delimitaciones, justificación e importancia de la investigación.

En el capítulo II, se presentan los antecedentes del estudio a nivel de solución en el ámbito nacional e internacional como también sobre el proyecto existente que se contrastará en la investigación.

En el capítulo III, se presenta la hipótesis principal y secundarias planteadas. De igual manera las variables dependientes e independientes del estudio.

En el capítulo IV, se presenta el tipo y nivel de la investigación, las técnicas e instrumentos de recolección de datos explicando el procedimiento de su elaboración. Además, se presenta el desarrollo del procesamiento y análisis de datos.

En el capítulo V, se presentan artículos de investigación que se tomarán como sustento bibliográfico para el presente estudio. En cada una de estas investigaciones se analiza la implementación de geosintéticos para diferentes escenarios, teniendo como resultado el comportamiento de estos materiales.

En el capítulo VI, se presentan las características de la zona de investigación, el procedimiento de los diseños propuestos en el que se incluye la selección de los geosintéticos a través de criterios desarrollados por entidades internacionales.

En el capítulo VII, se presenta el análisis de los resultados obtenidos a nivel técnico y económico de las soluciones propuestas que se comparan con el método de sustitución de material. Además, se contrastan las hipótesis del estudio.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presenta la descripción de la problemática que se usa como base para realizar el estudio, mencionando la ubicación y condiciones actuales. También se especifica los objetivos, delimitaciones, justificación e importancia de la investigación.

1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos

1.1.1 Descripción de la Problemática

Las obras viales requieren de estudios previos veraces, los cuales comienzan con la evaluación ambiental, estudios de mecánica de suelos y geología, para poder planificar, diseñar y cubrir la necesidad de la población. Teniendo como resultado un proyecto en condiciones óptimas. Es importante tener en claro que el comportamiento del pavimento inicia desde la subrasante, ya que es el primer plano probable de falla que afecta la totalidad de la estructura, presentando deterioros prematuros superficiales como también deficiencias funcionales.

Según el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de República Dominicana (2016) en su manual de “Identificación de Fallas en Pavimentos y Técnicas de Reparación” hace mención a distintos tipos de falla en los pavimentos, donde uno de los factores es la insuficiencia en la estabilidad de la subrasante, esto puede ocurrir por la deficiencia en la calidad del material generando fallas por corte, compresión o desplazamiento lateral. Como consecuencia, no soportan cargas adicionales, por lo que requieren ser reemplazados, mejorados o ser estabilizados, con el fin de optimizar sus propiedades mecánicas.

Según Ramos y Seminario (2019) gran variedad de las obras viales en el Perú, son efectuadas en suelos de baja capacidad portante. Esto genera inconvenientes durante la etapa de construcción y su vida útil. Entre estos se presentan problemas en la colocación y compactación de las capas de pavimento, así mismo, deficiencia en el soporte de la estructura vial, siendo inadecuado para las cargas de diseño (Hernández, Mejía y Zelaya, 2016); es por ello que para evitar problemas a futuro se debe evaluar la resistencia del terreno.

Métodos convencionales como el reemplazo de material y estabilización química para la resolución de la baja capacidad portante en la subrasante, causan excesivos costos y corta vida útil de las vías (Bustamante, 2016). Según Provías Nacional (2019), en su memoria anual, respecto a actividades y obras públicas de infraestructura vial, solo en obras de rehabilitación se invirtieron S/. 1,448 millones mientras que, en mantenimiento vial, S/. 1,297 millones.

El presente proyecto se desarrolla en la provincia de Puno, el cual tiene temperaturas bajas, sectores con nivel freático elevado y por zonas, mezcla de suelos finos con gruesos, lo cual puede hacer que el presupuesto de obras viales sea muy elevado. El tramo escogido, es una de las zonas más críticas, en donde se puede plantear alternativas de solución distintas a lo propuesto por el proyectista, las cuales benefician los costos, medio ambiente y los tiempos de la etapa constructiva.

1.1.2 Problema Principal:

¿Qué efectos técnicos- económicos tendrá la aplicación de geosintéticos frente a la sustitución de material para el mejoramiento de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno?

1.1.3 Problemas Secundarios:

- a) ¿Cuál geosintético, geotextil o geomalla, mejora las propiedades mecánicas de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno?
- b) ¿Qué geosintético refuerza la subrasante y reduce los espesores de la estructura de pavimento entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno?
- c) ¿Cuál solución conlleva a la reducción de costos para el mejoramiento de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno?

1.2 Objetivo general y específico

1.2.1 Objetivo Principal

Determinar los efectos técnicos- económicos que tendrá la aplicación de geosintéticos frente a la sustitución de material para el mejoramiento de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.

1.2.2 Objetivos Secundarios:

- a) Determinar qué geosintético mejora las propiedades mecánicas de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.
- b) Demostrar qué geosintético refuerza la subrasante y reduce los espesores de la estructura de pavimento entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.
- c) Analizar económicamente la implementación de un geotextil y una geomalla frente a la sustitución de material para reducir costos en el mejoramiento de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno

1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática

Temática

La presente investigación evalúa de manera técnico- económica la aplicación de geosintéticos, geotextil y geomalla, frente a la sustitución de material para el mejoramiento de la subrasante de la carretera PU 135 Checca-Mazocruz en Puno.

Espacial

Los ensayos y datos obtenidos son del estudio definitivo para el mejoramiento de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz en Puno, siendo la sección de estudio desde la progresiva KM 12+580 hasta la progresiva KM 13+820.

Temporal

La presente investigación abarca los meses de Mayo a Octubre del 2021 y se desarrolla en base a la información técnica del estudio definitivo para el mejoramiento de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz del año 2016.

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Justificación

Justificación Teórica

Se aplicará como antecedente el uso de geosintéticos como refuerzo de la subrasante para futuros problemas viales con condiciones técnicas similares.

Justificación Económica

El presente estudio se basa en determinar por medio de métodos analíticos los beneficios técnicos y económicos, como es la reducción de costos en el transporte, mano de obra y maquinarias especializadas, obtenidos por la aplicación de geosintéticos para el mejoramiento de la subrasante en la carretera PU 135 Checca-Mazocruz, Puno.

Justificación Social

La aplicación de geosintéticos aumenta la vida útil de la carretera y reduce plazos de ejecución en obra, aminorando las incomodidades que esta genera a los pobladores. De esta manera se permite la conexión entre pueblos generando crecimiento económico y desarrollo para la región.

1.4.2 Importancia

La importancia de esta investigación es crear un precedente con el objetivo de promover la implementación de tecnologías en la construcción vial; logrando de esta manera agilizar las obras, beneficiar al medio ambiente y dar nuevas alternativas de solución a problemáticas usuales. Se tendrá en consideración la normativa establecida en el Manual de carreteras, suelos y pavimentos del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) el cual menciona que el Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR) sea

mayor a 6% para que la subrasante funcione como soporte de la estructura de pavimento. Esta problemática no solo se da en el país y se encuentra en constante desarrollo por las nuevas alternativas que surgen con el pasar del tiempo, es por ello que la investigación contribuye al ámbito nacional como internacional.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los antecedentes del estudio a nivel de solución en el ámbito nacional e internacional como también sobre el proyecto existente que se contrastará en la investigación.

2.1 Antecedentes del estudio de investigación

2.1.1 Marco histórico

En el año 2012 se aprobó el estudio a nivel perfil del proyecto de Mejoramiento de la carretera (PU 135) Checca - Mazocruz. Continuando a un nivel de Factibilidad a fin de realizar los estudios necesarios para profundizar y perfeccionar la alternativa técnica viable. Entre estos estudios, en el 2013, se realizó una encuesta local sobre la calidad de servicio de la vía sin pavimentar, teniendo como resultado que los usuarios consideran regular a mala la transitabilidad de la vía, costo de pasaje, flete y tiempo de viaje. Por lo tanto, en el año 2016 el gobierno Regional de Puno aprobó el estudio definitivo del proyecto de Mejoramiento de la carretera (PU 135) Checca - Mazocruz, el cual especifica que la vía necesitaba modificaciones sustanciales de su geometría y estructura de pavimento, debido a la nueva clasificación vial según el Índice Medio Diario Anual (Provías Nacional, 2020; Gobierno Regional de Puno, 2016).

2.1.2 Investigaciones Internacionales

Bustamante (2016). En su tesis llamada “Evaluación en el nivel de resistencia de una subrasante, con el uso combinado de una geomalla y un geotextil” realizada en la carretera Sigsig-Gualaquiza, Ecuador; tiene como objetivo evaluar la resistencia de la subrasante aplicando simultáneamente una geomalla y un geotextil en función de refuerzo, de esta manera comparar con distintas situaciones las cuales son, el uso de geotextil, el uso de geomalla y sin ningún refuerzo adicional. En esta investigación se obtuvieron los resultados por medio de ensayos de laboratorio para cada escenario y luego se simuló a través de un software de elementos finitos (Plaxis 8.6) para determinar los factores de

reforzamiento, logrando de esta manera la comparación de la aplicación de estos elementos. Como conclusión se tiene que la aplicación en simultáneo de los geosintéticos mencionados, pueden reducir considerablemente la capa de subrasante y dar al suelo, las propiedades idóneas para su desempeño.

Mestre (2020). En su investigación “Aplicación de Geosintéticos en vías terciarias: caso de estudio Municipio de Carurú departamento del Vaupés”, Colombia; tiene como objetivo optimizar la capacidad portante de la subrasante usando geosintéticos como refuerzo. Para ello se evaluará el comportamiento de los materiales geosintéticos (geotextiles, geomallas y geoceldas), se identificará los beneficios de su aplicación y el costo que se tendrá para cada tipo de geosintético. En esta investigación se realizó un estudio de tráfico a fin de identificar las cargas de diseño equivalentes a un periodo de 10 años. Luego, se estudió las propiedades mecánicas del suelo donde se determinó que el valor del CBR exige que se aplique una estabilización. Por consiguiente, se realizaron los diseños de subrasante para cada tipo de geosintético. Como resultado de los diseños propuestos se obtuvo que para el geotextil se tiene un espesor de subbase de 0.50 metros, para la geomalla triaxial un espesor de subbase de 0.25 metros y para el diseño de geocelda un espesor de subbase de 0.30 metros. En el aspecto económico se evidencia que el diseño de geotextil es el de mayor costo, seguido del diseño de geocelda y el diseño de geomalla. Como conclusión se tiene que para el diseño de geotextil la función de refuerzo no es la principal, según las solicitudes del diseño, ya que los esfuerzos inducidos son mayores al aporte estructural y se tiene un espesor de subbase granular considerable. Para el diseño de la geomalla triaxial se presentan deformaciones por fatiga y ahuellamiento debido a que no es suficientemente resistente para las cargas de tránsito, por lo que es necesario incluir otras alternativas para ser viable. Debido a esto se planteó el diseño de geoceldas, que incluye una capa de geomalla biaxial y un geotextil en función de separación, pudiendo ser esta la alternativa que genera mayor aporte estructural.

Lombeida (2021) en su proyecto de investigación de reducción de volúmenes de relleno empleando geotextil en carreteras de Guayaquil,

Ecuador; tiene como objetivo principal evaluar cómo el uso de geotextil reduce el volumen de relleno en una carretera. Para ello se analizará las propiedades y aplicaciones del geotextil a ser utilizado, luego se medirá el porcentaje de reducción de volumen de relleno. En esta investigación se realizaron ensayos geotécnicos para clasificar y determinar las propiedades mecánicas del suelo. Una vez obtenido los resultados se procedió a escoger el tipo de geosintético a utilizar, escogiendo el geotextil tejido 2400 de PAVCO como el más adecuado para el proyecto, debido a que con este tipo de geosintético se evita la pérdida de finos al tener contacto con un material blando con presencia de nivel freático. Posteriormente se planteó dos escenarios, uno donde se emplea material de relleno y en el segundo aplicando el geotextil. Finalmente se compararon ambas alternativas, logrando una reducción de volumen en un 12% debido al geotextil. Como conclusión se tiene que el uso de geotextil es muy favorable ya que mantiene la integridad de los suelos, se evita el cambio volumétrico que tendría una vía y con ello su deformación.

2.1.3 Investigaciones Nacionales

Silva (2016) en su investigación de mejoramiento de la capa de subrasante aplicando geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160 en un tramo de la calle Alemania - La Molina en la provincia de Cajamarca, Perú; busca evaluar, diseñar y comparar el comportamiento de la subrasante al implementarse geomallas multiaxiales, determinando por medio de ensayos, el valor del CBR y el módulo de reacción, para luego con los datos obtenidos realizar el diseño mediante el software SpectraPave 4.0. Por tanto, se realizó el estudio de tráfico y suelos para clasificar la vía de estudio y conocer las condiciones iniciales de la subrasante, respectivamente. Después, se procesó la información obtenida para calcular los espesores de la capa de subrasante en caso de ser o no reforzado con las mallas triaxiales. Como resultado se determinó que la aplicación de la geomalla triaxial Tx140 y Tx160 como refuerzo, aumenta la capacidad de soporte de la subrasante y contribuye a la reducción de los espesores de mejoramiento de 54% y 72%, respectivamente.

Novoa (2017) en su investigación “Aplicación de la Geomalla Triaxial para mejorar la estabilización de suelos blandos en la avenida Trapiche Chillón, Carabayllo”, tiene como objetivo general definir de qué manera la geomalla triaxial en función de refuerzo beneficia el comportamiento de la subrasante. Para ello, se planteó dos escenarios en dos tramos de la misma vía, donde en uno se diseñará de forma convencional un pavimento flexible mientras que en el segundo se hará una consideración adicional que vendría ser el refuerzo de la subrasante con la geomalla triaxial. Luego, se realizó un estudio de suelos para demostrar que ambos tramos presentan condiciones similares. Finalmente se diseñó el pavimento flexible según el método AASHTO 93 para ambos tramos. Se concluyó que con el uso de la geomalla triaxial se logró una reducción del espesor total del pavimento de modo que la capa sub-base no fue necesaria y se obtuvo una reducción del 14% del costo inicial del proyecto.

Mera (2017) en su tesis “Evaluación técnico- económico del uso de geomalla multiaxial como refuerzo en la subrasante de la carretera Santa Cruz bellavista, Distrito Bellavista-Jaén-Cajamarca” tiene como objetivo hacer una evaluación técnico- económica del uso de geomalla triaxial como refuerzo de la subrasante para una vía no pavimentada. La presente investigación realizó un estudio de tráfico para determinar la carga vehicular de diseño y el estudio de suelos para conocer los sectores vulnerables que son necesarios reforzar. Luego, se procedió a calcular el espesor de la capa granular para dos escenarios, de un diseño convencional y del diseño con refuerzo de geomalla. Como resultado se obtuvo una reducción en el espesor de la capa granular y reducción de los costos. Se concluye que la aplicación de geomallas triaxiales como refuerzo de la subrasante reduce los espesores de la capa granular entre 5.4% y 39.2% sin afectar el aspecto técnico ni la resistencia a cargas de tránsito. Además, es económicamente viable debido a que se obtuvo un ahorro de entre 10.09% y 24.48% con respecto a costos de ejecución de diseños convencionales.

2.2 Bases teóricas vinculadas a las variables de estudio

Según Koerner (2012), desde 1977, año en que se celebró la primera conferencia sobre geosintéticos en París, se han convertido en un material interesante con una

amplia gama de aplicaciones en la ingeniería civil, como es en transporte, geotecnia, geoambiente e hidráulica. La rapidez con la que se han desarrollado, y se siguen desarrollando, no deja de ser sorprendente. En la experiencia del autor, nunca antes un nuevo material de ingeniería irrumpió con tanta fuerza. Razón por la que estos materiales siguen evolucionando es debido a los beneficios que conlleva su implementación.

Koerner (2012) menciona los siguientes beneficios:

- Se fabrican con control de calidad;
- Instalación rápida;
- Sustituyen generalmente los recursos de materias primas;
- Sustituyen generalmente a los diseños difíciles con tierra u otros materiales de construcción;
- Su uso es exigido por la normativa en muchos casos;
- Hacen posibles diseños y aplicaciones hasta ahora imposibles;
- Se comercializan activamente y están ampliamente disponibles;
- Sus fichas técnicas (tanto de diseño como de pruebas) están bien establecidas;
- Son competitivos en costos frente a los suelos u otros materiales de construcción;
- Su huella de carbono es mucho menor que la de las soluciones tradicionales.

(p.3)

Geosistemas Pavco (2012) define a los geosintéticos como productos a base de polímeros sintéticos o naturales los cuales se presentan en forma de filtro, manto, lámina o estructura tridimensional. Estos se derivan de fibras artificiales como lo son el polipropileno, poliéster, poliamida y polietileno. La fabricación de estos materiales sigue procedimientos de extrusión, tecnología textil y/o ambas tecnologías: textil y plástica.

2.2.1 Tipos de los Geosintéticos

Existen siete tipos de geosintético, los cuales son geotextiles, geomallas, geogrillas, geomembranas, revestimientos geosintéticos de arcilla (GCL's), geoespumas y geocompuestos (Koerner, 2012). Estas pueden desempeñar una o más funciones tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 1.

Identificación de funciones primarias frente a los tipos de geosintéticos

Tipos de Geosintéticos (GS)	Funciones				
	Separación	Refuerzo	Filtración	Drenaje	Contención
Geotextil	X	X	X	X	
Geomalla		X			
Geogrilla				X	
Geomalla De arcilla revestida					X
Geoespuma	X				
Geocompuesto	X	X	X	X	X

Fuente: Koerner (2012)

2.2.2 Funciones de los Geosintéticos

Las capas geosintéticas generalmente se utilizan en las carreteras pavimentadas en la interfaz de la capa de base granular y la subrasante de suelo blando durante la etapa inicial de construcción, esta implementación mejora el rendimiento general de las carreteras pavimentadas, con su larga vida útil, debido a sus funciones de separación, filtración, drenaje y refuerzo (Holtz, Christopher, Berg y Shukla, como se citó en Shukla y Yin, 2006).

– Separación

Shukla y Yin (2006) mencionan que esta función evita la mezcla de suelos y/o materiales de relleno durante la construcción y vida útil. La Figura N°1 muestra que la capa de geosintético impide la mezcla de suelos blandos y rellenos granulares, de manera que se mantiene la integridad estructural y funcionamiento de ambos materiales. Esta función se presenta a nivel de subrasante del suelo en pavimentos o vías férreas para evitar el bombeo de finos hacia las capas estructurales y/o para evitar la intrusión de partículas granulares en la subrasante del suelo. Es importante indicar que la separación de suelos depende del tamaño del grano. En el caso de suelos de cimentación de

baja resistencia están compuestas por partículas pequeñas, mientras que en las capas estructurales son de material más grueso.

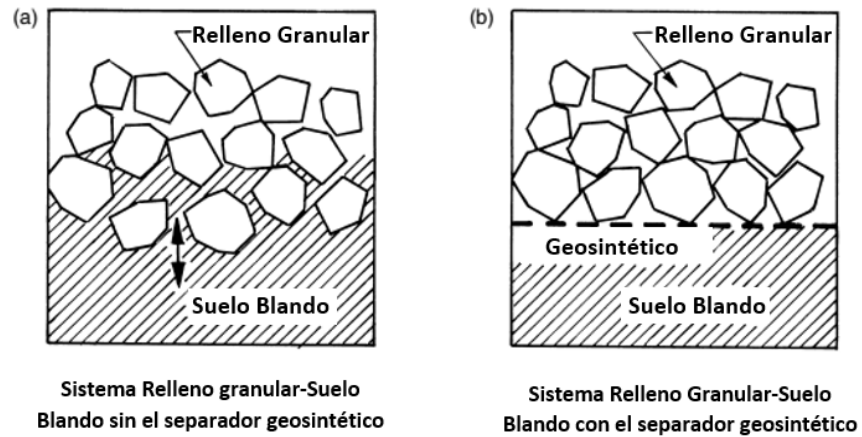


Figura N°1: Mecanismo básico de la función de separación

Fuente: Shukla y Yin (2006)

Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones - MTC (2014) en suelos de subrasante, en una profundidad no menor de 0.60 metros, deberán ser adecuados y estables con $CBR \geq 6\%$. Caso contrario deberá ser estabilizado mediante alguna alternativa viable, entre estos el uso de geosintéticos. Sin embargo, Shukla y Yin (2006) mencionan que la aplicación de geosintéticos en subrasantes con un CBR no saturado superior a 8 o un CBR saturado superior a 3, no suelen cumplir un papel de refuerzo, sino que la función principal es de separación. En caso de suelos con valores de CBR no saturados entre 3 y 8 o CBR saturado entre 1 y 3, la función principal dependerá de las condiciones del proyecto.

– Filtración

Según Shukla y Yin (2006) la función de filtración permite el paso de fluidos con limitado transporte de partículas a través del geosintético durante la vida útil proyectada de su aplicación. Es esencial que se establezca una condición de equilibrio en la interfaz suelo/geosintético en su instalación para evitar un transporte indefinido de las partículas del suelo. Esta función también proporciona beneficios de separación (Figura N°2). Sin embargo, se puede distinguir con respecto a la cantidad de fluido implicado y en la selección del geosintético. Por lo

tanto, si la filtración de fluidos no es una situación crítica, entonces cumple como función de separación.

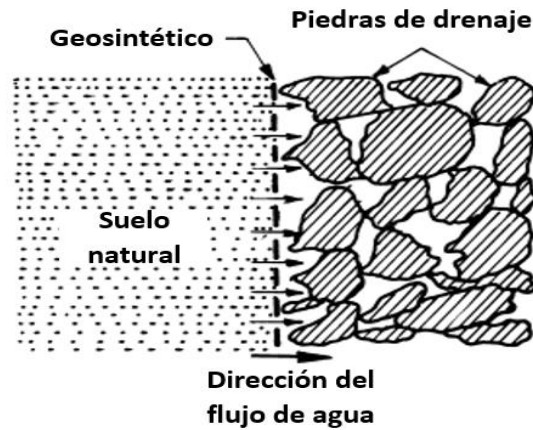


Figura N°2: Mecanismo básico de la función de filtración

Fuente: Shukla y Yin (2006)

– Drenaje

Geosistemas Pavco (2012) la función de drenaje es la captación y conducción de fluidos y gases mediante el geosintético. Su efectividad depende de sus características y la gradiente de presiones a lo largo de la evacuación del fluido. Sin embargo, se debe evitar el transporte de partículas pequeñas ya que al depositarse reduce su permeabilidad. En la Figura N°3 se muestra que la capa geosintética adyacente al muro de contención recoge el agua del relleno y la transporta a los agujeros de drenaje construidos en el muro de contención. Hay que tener en cuenta que al mismo tiempo que realiza las funciones de filtración y drenaje, un geosintético disipa el exceso de presión del agua de los poros permitiendo el flujo de agua en el plano y a través de su plano.

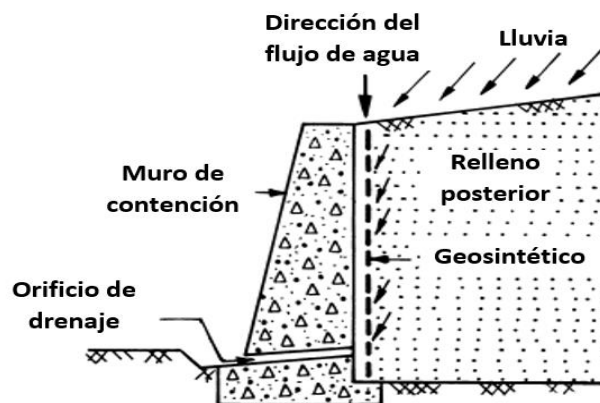


Figura N°3: Mecanismo básico de la función drenaje

Fuente: Shukla y Yin (2006)

– Refuerzo

Shukla y Yin (2006) mencionan que esta función tiene como objetivo mejorar las propiedades mecánicas de una masa de suelo, de manera que al combinar el suelo y el refuerzo geosintético se produzca un “suelo reforzado” que posea una elevada resistencia a la compresión y a la tracción o evite deformaciones inadmisibles en las estructuras geotécnicas. En este proceso, el geosintético actúa como un elemento tensado que se acopla al suelo/relleno por fricción, adhesión, enclavamiento o confinamiento, a fin de mantener la estabilidad de la masa de suelo (Figura N°4).

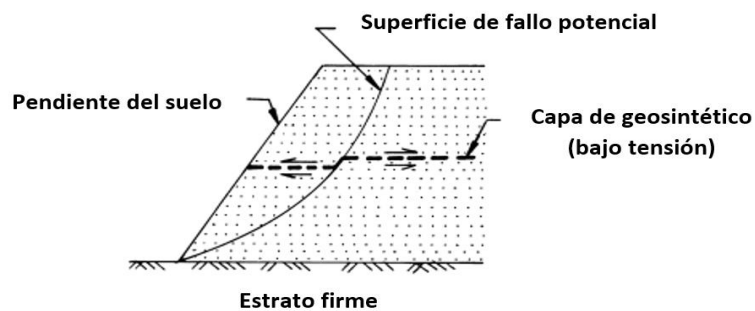


Figura N°4: Mecanismo básico de la función de refuerzo

Fuente: Shukla y Yin (2006)

Fluet (como se citó en Shukla y Yin, 2006) subdividió la función de refuerzo en las dos categorías:

- Como un miembro de tracción, que soporta una carga plana (Figura N°5.a)
- Como una barra de tracción, que no sólo soporta una carga plana sino también una carga normal (Figura N°5.b)

Sin embargo, Jewell y Koerner (como se citó en Shukla y Yin, 2006) consideran que son tres mecanismos de refuerzo del suelo, debido a que cuando el geosintético funciona a tracción pueden generarse dos mecanismos diferentes: el cizallamiento y el anclaje. Por lo tanto, los tres mecanismos de refuerzo, en cuanto a los tipos de carga que soportan son:

- Corte, también llamado deslizamiento: El geosintético soporta una carga plana debida al deslizamiento del suelo sobre él.
- Anclaje, también llamado arrancamiento: El geosintético soporta una carga plana debido a su arrancamiento del suelo.
- Membrana: El geosintético soporta tanto una carga plana como una carga normal cuando se coloca sobre un suelo deformable.

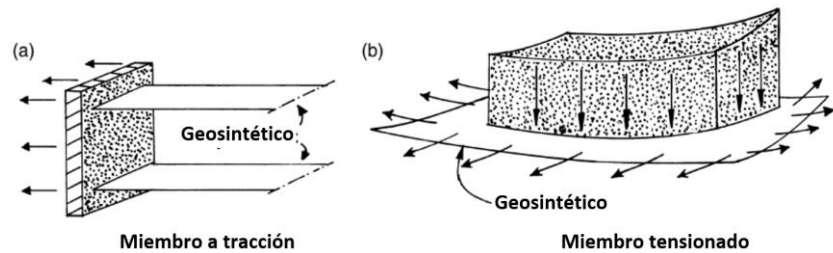


Figura N°5: Función de refuerzo según Fluet (1988)

Fuente: Shukla y Yin (2006)

Shukla (como se citó en Shukla y Yin, 2006) describe cómo el refuerzo geosintético recibe las cargas tensionantes del suelo y qué tipos se toman. El autor describe que estas cargas pueden observarse en términos de las funciones de los geosintéticos:

Reduce las tensiones horizontales hacia el exterior (tensiones de cizallamiento) transmitidas desde el suelo/relleno a la parte superior del suelo de cimentación, conocido como efecto de reducción del esfuerzo cortante. Este efecto resulta en un cizallamiento general en lugar de un fallo por cizallamiento local (Figura N°6), provocando un aumento en la capacidad de soporte del suelo de cimentación (Bourdeau et al., como se citó en Shukla y Yin, 2006).

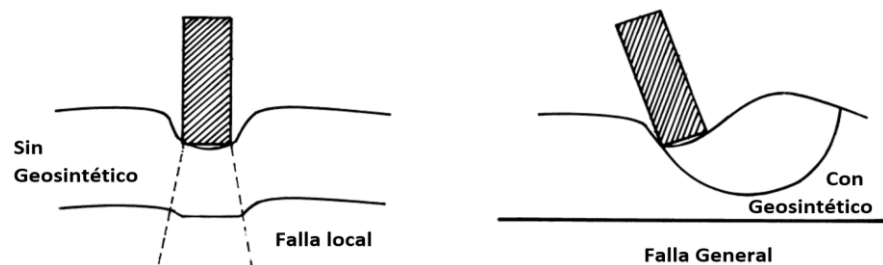


Figura N°6: Cambio de modo de falla (efecto de reducción de esfuerzo cortante)

Fuente: Shukla y Yin (2006)

Redistribuye la carga superficial aplicada proporcionando estabilidad al relleno granular o al relleno granular y suelo blando de cimentación si está como interfaz de estos, resultando la reducción de la tensión normal aplicada en el suelo de cimentación subyacente (Figura N°7). Este efecto se conoce como efecto de confinamiento (Bourdeau et al., como se citó en Shukla y Yin, 2006).

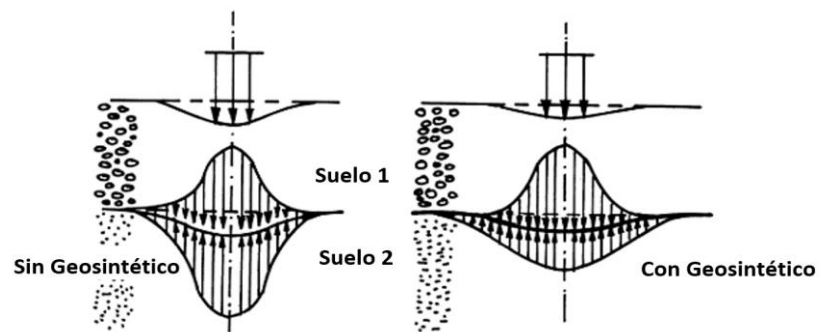


Figura N°7: Redistribución de la carga superficial aplicada (efecto de confinamiento)

Fuente: Shukla y Yin (2006)

El geosintético deformado, al soportar tensiones normales y de cizallamiento, proporciona una fuerza vertical a fin de contrarrestar las cargas sometidas (Figura N°8). Este efecto es conocido como efecto membrana (Giroud et al., como se citó en Shukla y Yin, 2006).

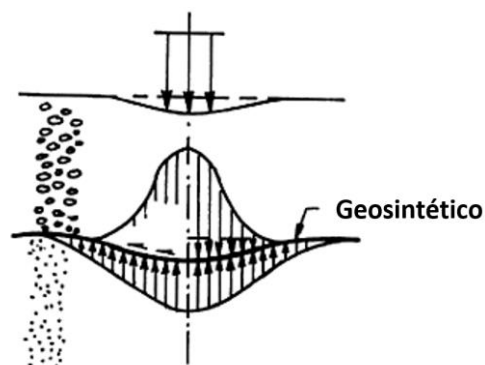


Figura N°8: Fuerza vertical debido a cargas sometidas (efecto membrana)

Fuente: Shukla y Yin (2006)

Otro beneficio debido al uso de geomallas es el enclavamiento del suelo a través de las aberturas (Figura N°9). Este efecto se conoce como efecto de enclavamiento. La transferencia de esfuerzos del suelo a la geomalla en función de refuerzo (resistencia pasiva) se realiza a

través de la interfaz suelo-barra transversal de la malla (Pinto, como se citó en Shukla y Yin, 2006).

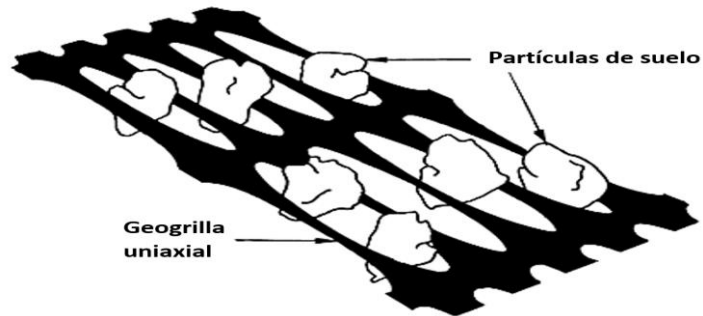


Figura N°9: Resistencia pasiva del enclavamiento de las partículas del suelo
Fuente: Shukla y Yin (2006)

2.2.3 Geotextiles

Los geotextiles son un material textil plano, hecho de polímeros permeables, sea sintético o natural, que puede ser No Tejido, Tejido o tricotado, de acuerdo a su fabricación, y que se utiliza en contacto con el suelo u otros materiales para aplicaciones geotécnicas (Geosistemas Pavco, 2012).

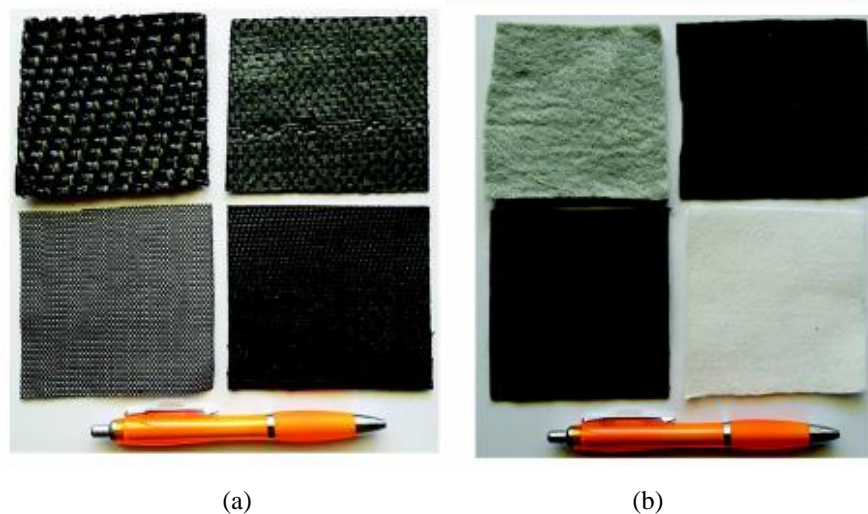


Figura N°10: (a) Geotextil tejido; (b) geotextil no tejido
Fuente: Shukla (2016)

– Geotextiles Tejidos

Geosistemas Pavco (2012) los geotextiles tejidos se encuentran formados por cintas entrecruzadas, pueden ser tejidos de calada o tricotados. Los tejidos de calada se caracterizan por su estructura

plana conformada por cintas de hilo en sentido longitudinal y de trama en sentido transversal. Posee resistencia biaxial a la tracción y puede ser muy elevada, dependiendo de las cintas empleadas (Figura N°10.a). Los tricotados tienen estructura tridimensional fabricados con cintas entrecruzadas en máquinas de tejido de punto. Su resistencia traccional puede ser biaxial o multiaxial, según sea fabricado (Figura N°10.b).

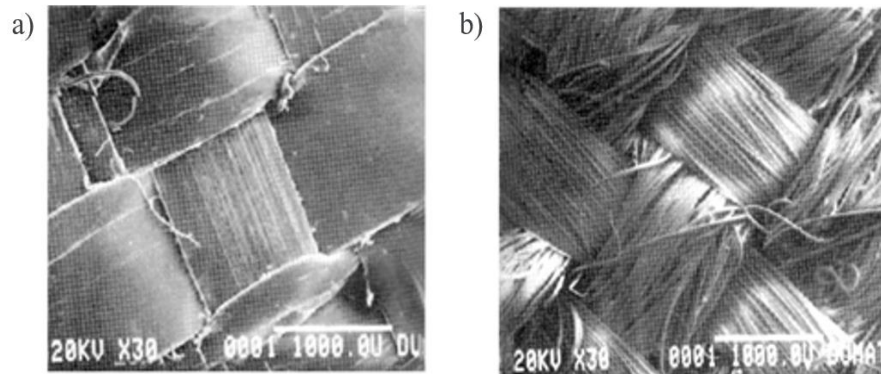


Figura N°11: Tejido plano y multifilamento tejido

Fuente: Geosistemas Pavco (2012)

– Geotextiles No Tejidos

Geosistemas Pavco (2012) son los geotextiles estructurados por fibras o filamentos superpuestos formando una lámina que puede variar según el sistema de fabricación.

Geosistemas Pavco (2012) los clasifica en:

- Geotextiles No Tejidos ligados mecánicamente o punzonados por agujas (Figura N°11.a)
- Geotextiles No Tejidos ligados térmicamente o termosoldados (Figura N°11.b)
- Geotextiles No Tejidos ligados químicamente o resinados (p.5)

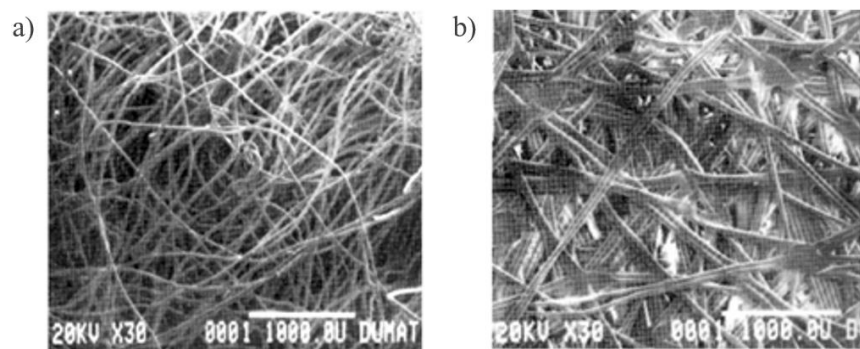


Figura N°12: (a) No tejido punzonado por agujas, (b) No tejido unido por calor
Fuente: Geosistemas Pavco (2012)

2.2.4 Funciones y aplicaciones de los geotextiles

Koerner (2012) los geotextiles tienen un gran número de áreas de uso y aplicaciones, sin embargo, sus funciones principales son: separación, refuerzo, filtración y drenaje.

Koerner (2012) presenta las aplicaciones de uso de estos materiales:

- Separación de materiales disímiles: entre la subrasante y base en carreteras pavimentadas y no pavimentadas, entre suelos de cimentación y terraplenes, entre capas antiguas y nuevas de pavimento, etc.
- Refuerzo de suelos débiles y otros materiales: sobre suelos blandos para vías no pavimentadas, aeropuertos, vías ferroviarias, vertederos, refuerzo de gaviones, etc.
- Filtración de flujo transversal: sustituyendo los filtros de suelo granular, debajo de la base en carreteras no pavimentadas, como control de erosión, etc.
- Drenaje de flujo planar: drenaje en presas de tierra, detrás de muros de contención, en reemplazo de arenas para drenaje.

2.2.5 Geomallas

Geosistemas Pavco (2012) son geosintéticos de estructuras bidimensionales formadas por una red de costillas conectadas por extrusión, con aberturas que permiten su conexión con el suelo, piedra u otro material geotécnico. Las geomallas se caracterizan por su función de refuerzo debido a que incrementan la resistencia cortante del suelo. Según Shukla (2016) las costillas de las geomallas pueden estar unidas por extrusión, unión o entrelazamiento; las geomallas resultantes de estos procesos se denominan geomalla extruida, geomalla unida y geomalla tejida, respectivamente. Las geomallas extruidas se pueden clasificar en uniaxial, biaxial y triaxial y esto se define por el estiramiento durante su proceso de fabricación.

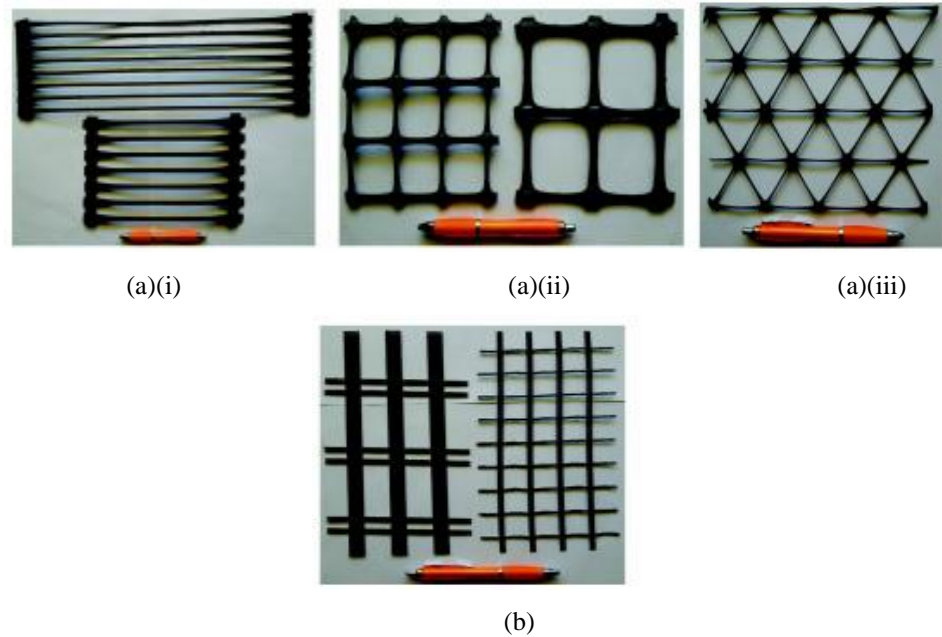


Figura N°13: (a) Geomallas extruidas: (i) uniaxial, (ii) biaxial, (iii) triaxial; (b) geomallas tejidas

Fuente: Shukla (2016)

– Geomalla extruida uniaxial

Geosistemas Pavco (2012) refiere que la geomalla extruida uniaxial se caracteriza por ser producida de polietileno de alta densidad (HDPE) a través de un proceso de extrusión y luego es estirado en una dirección, logrando una estructura monolítica distribuida uniformemente de aberturas elípticas (Figura N°12). Con esta configuración se logra gran resistencia a la tensión y gran módulo de tensión en la dirección longitudinal. Este sistema provee gran enlace con el suelo, especialmente de tipo granular. Este tipo de geomalla coextruida se caracteriza por ser inertes a las condiciones químicas o biológicas que suelen presentarse en el suelo, por su gran resistencia tensional, logrando soportar hasta 160 kN/m aproximadamente.

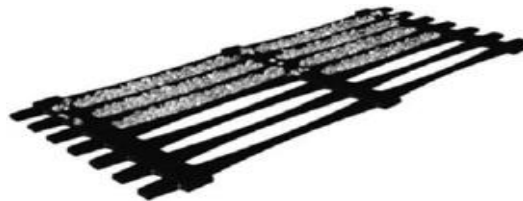


Figura N°14: Geomalla extruida mono-orientada o uniaxial

Fuente: Geosistemas Pavco (2012)

– Geomalla extruida biaxial

Geosistemas Pavco (2012) las geomallas extruidas biaxiales están fabricadas mediante un proceso de extrusión, a base de polipropileno, que posteriormente son estiradas en ambas direcciones de forma uniforme y homogénea. Están compuestas de elementos y nudos rígidos, logrando aberturas rectangulares de alta resistencia tensional y un alto módulo de elasticidad. Además, la estructura permite una unión óptima con el suelo. Estas geomallas proveen un gran confinamiento y son efectivas para reforzar estructuras de pavimentos rígidos y flexibles (Figura N°13).



Figura N°15: Geomalla extruida bi-orientada o biaxial

Fuente: Geosistemas Pavco (2012)

– Geomalla extruida triaxial

Shukla (2016) esta geomalla está fabricada mediante un proceso que le permite tener la misma resistencia a la tracción en multidireccionales, propiedades de tracción a 360°. Tensar International Corporation (2016) las geomallas triaxiales aprovechan su geometría triangular para brindar rigidez planar, la forma de las costillas logra confinar los agregados.



Figura N°16: Geomalla triaxial

Fuente: Tensar International Corporation (2016)

– Geomalla tejida

Las geomallas tejidas se realizan en base al poliéster (PET), materiales sintéticos de alto módulo elástico (tracción) con una baja elongación. Geosistemas (2015) las geomallas tejidas elaboradas en base a PET, pueden fabricarse tomando en consideración el tamaño de apertura requerido para adaptarse a distintas aplicaciones, estas son de alta resistencia y tienen tensiones máximas inferiores al 10%. Geosynthetics Australia(s.f.).



Figura N°17: Geomalla tejida

Fuente: Geosynthetics Australia (s.f.)

2.2.6 Funciones y aplicaciones de las geomallas

Geosistemas Pavco (2012) las geomallas coextruídas, sean bi-orientadas o mono-orientadas, se aplican en diferentes campos geotécnicos debido a su función de refuerzo. Esta función inicia cuando la geomalla provee resistencia a la tensión, que se complementa con el uso de agregados de diferentes tipos de materiales.

Geosistemas Pavco (2012) presenta las aplicaciones para ambos tipos de geomallas:

Las geomallas coextruídas mono-orientadas, las principales aplicaciones son:

- Refuerzo de muros y taludes.
- Refuerzo de terraplenes con taludes pronunciados y diques.
- Estabilización de suelos blandos.
- Reparación de deslizamientos.
- Ampliación de cresta de taludes.

- Reparación de cortes en taludes.
- Estribos, muros y aletas de puentes.
- Muros vegetados o recubiertos con concreto.

Las geomallas coextruídas bi–direccionales se aplican principalmente en:

- Terraplenes para caminos y vías férreas.
- Refuerzo en bases de caminos pavimentados y no pavimentados.
- Refuerzo en estructuras de pavimento de pistas de aterrizaje en aeropuertos.
- Refuerzo debajo del balasto de las vías de ferrocarril.
- Como sistema de contención sobre rocas fisuradas. (p.17)

Geosistemas Pavco (2012) sugiere que para escoger el tipo de geomalla se debe estudiar cómo se generan y transmiten los esfuerzos. Por ejemplo, en muros de suelo reforzado los esfuerzos principales se presentan en una dirección debido a la presión lateral del suelo retenido por la estructura. Por otro lado, en estructuras de pavimentos los esfuerzos verticales debido a las cargas de tránsito, se distribuyen en múltiples direcciones, por lo que en el diseño de la geomalla deben considerarse las propiedades mecánicas del geosintético en ambas direcciones.

2.2.7 Uso de geosintéticos en carreteras

Shukla y Yin (2006) es común encontrar subsuelos débiles y compresibles en construcciones de carreteras, por lo que se suele distribuir las cargas de tránsito a fin de reducir las tensiones aplicadas a la subrasante del suelo. Generalmente esto se logra colocando una capa granular con propiedades mecánicas adecuadas y un espesor necesario. Sin embargo, la interacción entre la subrasante de suelo fino y la capa granular, genera a largo plazo una erosión de bombeo y penetración de partículas granulares en la subrasante cuando se les aplica cargas dinámicas. Dando como resultado deflexiones permanentes y posteriormente, el fallo de la estructura. Actualmente, los geosintéticos son utilizados como solución ante estos problemas, siendo según el tipo de revestimiento del pavimento, se clasifican en: Carreteras sin pavimentar y pavimentadas. En el caso de que las carreteras no estén provistas de un revestimiento duro permanente, es

decir, pavimentos asfálticos o de hormigón de cemento; se denominan carreteras sin pavimentar. Estas carreteras están hechas de capas de piedras que se colocan encima de la subrasante del suelo de manera que sean transitables y posteriormente se coloca una capa granular que funciona como base y capa de rodadura al mismo tiempo. En el caso de que las carreteras sin pavimentar dispongan de capas duras permanentes pasan a ser carreteras pavimentadas, ya que su comportamiento bajo cargas dinámicas cambia considerablemente. Es importante conocer que las carreteras sin pavimentar pueden ser utilizadas de forma temporal o permanente, mientras que las carreteras pavimentadas, en la mayoría de los casos, se diseñan para una vida útil de 10 años o más.

2.2.8 Carreteras sin pavimentar

Shukla y Yin (2006) generalmente, los geotextiles y las geomallas se utilizan ampliamente en carreteras no pavimentadas debido a que su construcción es más económica por la reducción de su espesor total, así como también optimiza las características técnicas de la carretera y prolonga su vida útil. La capa geosintética suele usarse como interfaz de la capa granular y la subrasante del suelo (Figura N°14), ya que cumple las funciones de refuerzo y separación. Si la subrasante del suelo es blanda, es decir, el valor de CBR es baja, el geosintético trabaja como refuerzo porque provee resistencia a la tracción a través de una gran deformación (surcos profundos). Por otro lado, si la subrasante posee un valor de CBR no saturado superior a 8 o saturado superior a 3, la función principal es de separación. Si se tiene valores intermedios de CBR no saturados entre 3 y 8, o saturados entre 1 y 3; se tiene las funciones de separación, filtración y refuerzo; esto se denomina función de estabilización del geosintético (Tabla N° 2).

Shukla y Yin (2006) mencionan que una carretera no pavimentada, con el espesor de la capa granular establecida, al aplicarse una capa de geosintético se puede aumentar la carga de diseño. Por otro lado, si la carga de diseño es inalterable, al aplicarse una capa de geosintético se puede reducir la capa granular de la vía. La implementación de una capa de geotextil puede reducir un tercio del espesor de la capa granular en

suelos de débiles a moderados. Giroud, Ah-Line y Bonaparte (como se citó en Shukla y Yin, 2006) reportaron que, en una capa de agregados, se logró reducir su espesor entre el 30 a 50% aplicándose una geomalla. En adición a lo anterior, varios trabajadores en el pasado reportaron una reducción de las deformaciones permanentes entre el 25 al 50% con la aplicación de geosintéticos (Shukla y Yin, 2006).

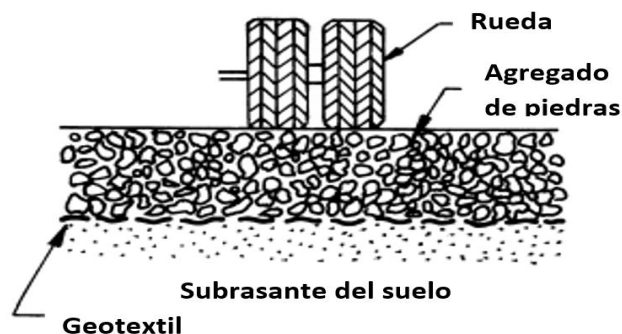


Figura N°18: Sección típica de una carretera no pavimentada reforzada con geosintéticos
Fuente: Shukla y Yin (2006)

Tabla N° 2.

Función principal de la capa geosintética en la construcción de carreteras no pavimentadas basada en el valor CBR del campo

Descripción de la subrasante del suelo	CBR		Función principal del geosintético	Justificación del funcionamiento del geosintético
	No saturado	Saturado		
Blando	Menos de 3	Menos de 1	Refuerzo	Utilización de material granular significativamente menor
Moderado	3-8	1-3	Estabilización (un grupo interrelacionado de funciones de separación, filtración y refuerzo)	Menor utilización de material granular y mayor vida útil
Firme	Mayor de 8	Mayor a 3	Separación	Una vida útil mucho más larga

Fuente: Shukla y Yin (2006)

– Método de diseño por función de refuerzo (RFDm)

Giroud y Noiray (como se citó en Shukla, 2016) presentaron un método de diseño para carreteras no pavimentadas y reforzadas con geotextiles, el cual evalúa el riesgo de falla del suelo de fundación con la implementación del material, sin embargo este método asume que el coeficiente de fricción de la capa granular es lo suficientemente grande para la estabilidad mecánica entre el suelo y el geotextil y que el espesor de esta capa no se verá afectado por la deflexión que pudiera ocurrir por el tipo de suelo de la subrasante. Luego de un par de años este método fue modificado para no solo evaluar el riesgo de falla, sino diseñar los espesores de la capa base con refuerzo de geosintéticos. Giroud y Han (como se citó en Shukla, 2016) presentaron en el 2004 un método mejorado, el cual adiciona al método anterior factores como la distribución de esfuerzos, la resistencia del material utilizado como base y la rigidez de la geomalla; el cálculo para este diseño utiliza una única ecuación, mientras que, en el anterior, el procedimiento era más extenso.

– Método de diseño por función de separación (SFDm)

Steward, Williamson y Nohney, en el año 1977 (como se citó en Shukla, 2016) presentaron un método de diseño considerando principalmente la función de separación para vías no pavimentadas; este se basa en ensayos de laboratorio y campo, en donde se considera la cantidad de vehículos que utilizan la vía, las cargas por ejes equivalentes y la resistencia de la subrasante. Este método utiliza gráficos para determinar los espesores en la capa granular, dependiendo de factores como la carga aplicada. En 1997 Richardson (como se citó en Shukla, 2016) presenta un método simplificado de diseño para la función de separación, el cual consiste en implementar un espesor de capa granular que cumpla en aplicar una determinada presión a la subrasante, evitando deformaciones y evaluar las especificaciones generales del geosintético para su correcto uso y aplicación.

2.2.9 Carreteras pavimentadas

Shukla y Yin (2006) las carreteras pavimentadas conformadas por calzadas y bermas llevan construyéndose más de un siglo, mediante métodos básicos, técnicas de diseño y construcción que han evolucionado con el pasar del tiempo. Sin embargo, en las últimas cuatro décadas con el desarrollo de los geosintéticos se proporcionaron nuevas estrategias para optimizar el rendimiento general de la estructura del pavimento.

- Capa geosintética en el nivel de la subrasante del suelo

Shukla y Yin (2006) en carreteras pavimentadas, generalmente las capas de geosintéticos se usan como interfaz de la capa granular y la subrasante de suelo blando, que son colocadas en la fase inicial de su construcción. Una vez puestas en la vía, funciona como capa estabilizadora ya que permite el acceso de las maquinarias de construcción a lugares de la subrasante de suelo blando sin ser alterada. Asimismo, permite la compactación adecuada de las primeras capas del suelo granular. En el caso de tener un mayor espesor de la base granular, la capa geosintética puede colocarse dentro de la misma, a un nivel intermedio para lograr un efecto óptimo. En la etapa de construcción como también durante la vida útil de las carreteras pavimentadas, el no controlar la contaminación de la capa granular debido a las partículas finas de la subrasante trae como consecuencia que se presenten deficiencias estructurales (pérdida de la capacidad de carga de los vehículos) o deficiencias funcionales (superficie de rodadura muy ásperas, agrietadas, surcos excesivos, baches, etc.) causando un fallo prematuro en la vía(Perkins, Berg y Christopher, como se citó en Shukla y Yin, 2006). Esto se debe a que se reduce el espesor efectivo de la base granular a un valor inferior al proyectado en el diseño. Al aplicarse un geosintético como interfaz de la base granular y la subrasante se evitan este tipo de problemas gracias a su papel de separador y/o filtro (Figura N°15).

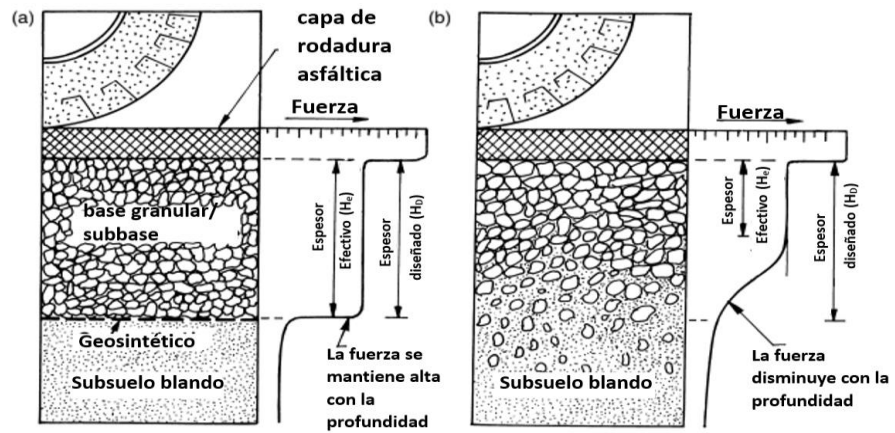


Figura N°19: Concepto de separación geosintética en calzadas pavimentadas (modificado de Rankilor, 1981)

Fuente: Shukla y Yin (2006)

Shukla y Yin (2006) los geotextiles impregnados de betún son utilizados para como separador y/o barrera ante fluidos, proporcionando roturas capilares con el fin de reducir los efectos de las heladas en suelos susceptibles (suelos finos - limos, arcillas y suelos mixtos). Otra alternativa es utilizando capas de suelos encapsuladas por membranas (MESL) que operan como barrera hermética ante la humedad existente bajo la capa de rodadura, con el objetivo de reducir los efectos del agua debido al cambio climático (Figura N°16). De no contar con materiales granulares de buena calidad para conformar las capas de base/subbase, puede utilizarse el concepto de MESL para las carreteras pavimentadas utilizando material granular de baja calidad disponibles. Otra opción es utilizar los compuestos geotextiles de capa fina que se encuentran disponibles en el mercado (Figura N°17), ya que funcionan como barreras ante la humedad en la construcción de carreteras, de modo que se evita o reduce los cambios de humedad en las subrasantes del pavimento. Cedergren (como se citó en Shukla y Yin, 2006) comenta que un drenaje lateral inadecuado a través de la base granular genera deterioro en el pavimento. Asimismo, de no solucionarse este problema, la vida útil del pavimento puede reducirse a más de la mitad que un pavimento con drenaje adecuado. El uso de un geotextil grueso

o un geocompuesto drenante puede ayudar a interceptar y transportar el agua a los desagües laterales del pavimento.

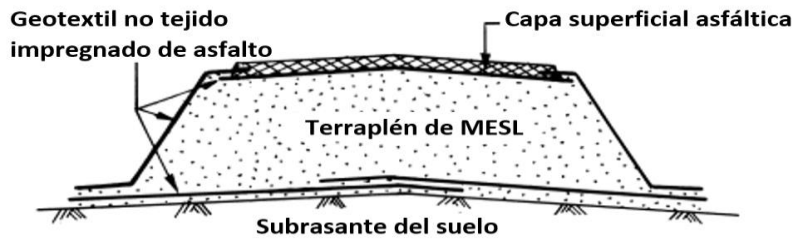


Figura N°20: Concepto de capa de suelo encapsulado con membrana (MESL) como capa base/subbase en carreteras pavimentadas

Fuente: Shukla y Yin (2006)

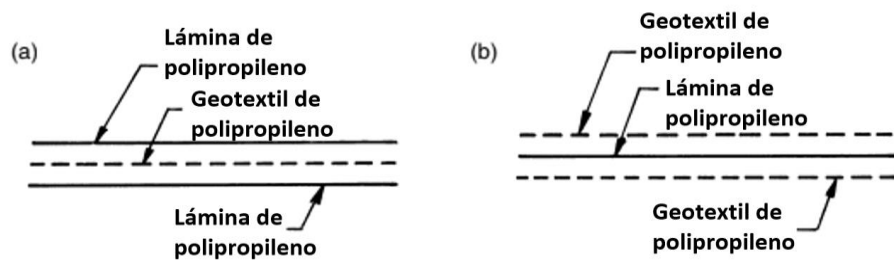


Figura N°21: Compuestos geotextiles de capa fina

Fuente: Shukla y Yin (2006)

– Método de diseño empírico-mecanístico

MTC (2014) los métodos mecanísticos se basan en calcular tensiones y deformaciones producidas por las cargas de tráfico y los efectos del clima, sin embargo, el comportamiento de los pavimentos está influenciado por más factores que no permiten usar solo este método debido a la inexactitud de sus resultados. Es allí donde se logra implementar un programa de investigación con ensayos a escala real, desarrollando de esta manera una metodología empírica, logrando resultados confiables para todo el ciclo de vida del pavimento. Para la última edición de 1993 se incluyeron investigaciones y ensayos adicionales, causando que se incorporen indirectamente procedimientos para evaluar el clima, condiciones de drenaje, transferencia de cargas y propiedades de los materiales. La guía de diseño AASHTO 1993 es tanto de carácter empírico como mecanístico y es utilizada hasta la actualidad para el diseño de pavimentos flexibles.

Asociación Americana de carreteras estatales y transporte- AASHTO R50-09 (2018) esta guía complementaria al AASHTO 1993, proporciona la orientación adecuada para la incorporación de geosintéticos al diseño de pavimentos flexibles como soporte estructural, el uso de estos materiales se limita a la aplicación dentro de la base o debajo de ésta. La naturaleza de esta guía es de carácter empírico, por lo que se espera aplicar el diseño en una sección de prueba. Para realizar la implementación de geosintéticos se usan valores que representan el aporte estructural del geosintético como, TBR, BCR y LCR, los cuales se encargan de incrementar el número estructural inicial, logrando la reducción de los espesores del pavimento.

- Relación beneficio-tráfico (TBR).- Es un factor que relaciona el número de ciclos de carga de una estructura de pavimento reforzada y no reforzada, que alcanza el mismo estado de falla (AASHTO, 2001).
 - Reducción de la capa base (BCR).- Es el factor que relaciona, en porcentaje, el espesor de la capa base o subbase de un pavimento reforzado y no reforzado con los mismos materiales, a fin de obtener ciclos de vida iguales para el mismo estado de falla (AASHTO, 2001).
 - Relación del coeficiente de capa (LCR).- Es el factor que cuantifica el aporte estructural del geosintético a la capa reforzada (PAVCO, 2012).
- Método racional
- PAVCO (2009) los métodos racionales se basan en aplicar teorías de distribución de esfuerzos y deformaciones, analizando el comportamiento de la estructura de pavimento sometida a todo tipo de cargas, tomando en cuenta las propiedades y características de los materiales involucrados, por esta razón se usa esta metodología para calcular el diseño de pavimentos aplicando geosintéticos.

Para la obtención de resultados de esfuerzos y deformaciones se pueden usar una serie de programas como Cedem, Kenpa, Depav, etc. Según Reyes (2003), estos programas resuelven ecuaciones de distribución de esfuerzos y deformaciones en un sistema multicapa elástico, teniendo en cuenta las condiciones existentes en la interfaz de cada una de las capas para luego optimizar sus espesores según parámetros definidos por el usuario.

2.2.10 Método de selección de geosintéticos

– Metodología de diseño del Departamento de Transporte de California

La guía proporcionada por el Departamento de Transporte de California, tiene como objetivo asistir en la selección de un geosintético para el mejoramiento de la subrasante incluyendo geotextiles y geomallas. Estos geosintéticos se colocan como interface de la subrasante y la estructura de pavimento debido a que proporcionan estabilidad en zonas de suelos blandos (Departamento de Transporte de California, 2013).

– Mejoramiento con Geotextiles.- Las funciones principales que cubre un geotextil son la filtración y separación de subrasantes de material blando y la estructura de pavimento, ya que debido a su configuración en forma de lámina evita la mezcla de suelos finos y granulares. Otras funcionalidades de estos materiales son, la reducción de la presión de poros, mediante filtración y drenaje; contención lateral, al generar fricción entre la superficie del geotextil y los materiales de la subbase o de la base; y refuerzo, al producirse una “membrana tensada” cuando ocurre la deformación de la subrasante y el estiramiento del geotextil (Departamento de Transporte de California, 2013).

– Mejoramiento con Geomallas.- El mecanismo principal de las geomallas es la contención lateral de los materiales, entrelazando el agregado y las aberturas de la geomalla. Dependiendo del tipo de geomalla, su calidad y el tamaño de las partículas de los agregados, se determinará el nivel de contención. Para optimizar el rendimiento, la elección del material para la base o subbase

debe ser bien gradada y de tamaño adecuado según la abertura de la geomalla (Departamento de Transporte de California, 2013).

– Metodología de diseño de la Administración Federal de Carreteras

La guía de diseño de la FHWA, en su sección de implementación de geosintéticos en carreteras pavimentadas, enumera los pasos a seguir utilizando el método empírico mecánico AASHTO 1993 y AASHTO R50-09; proporciona tablas detalladas (Tabla N° 3) en las cuales clasifican las funciones de los geosintéticos en base a las propiedades del suelo de subrasante, otorgando sustento teórico para la implementación adecuada de estos materiales (FHWA,2008).

Tabla N° 3.

Aplicaciones y funciones de los geosintéticos en carreteras pavimentadas

Aplicación	Función (es)	Resistencia de la subrasante	Clasificación
Separación	Separación	$2000 \text{ psf} \leq C_u \leq 5000 \text{ psf}$ ($90 \text{ kPa} \leq C_u \leq 240 \text{ kPa}$)	Suelos con alto contenido en finos (SC, CL, CH, ML, MH, SM, SC, GM, GC)
	Secundario: Filtración	$3 \leq \text{CBR} \leq 8$ $4500 \text{ psi} \leq M_R \leq 11600 \text{ psi}$ ($30 \text{ MPa} \leq M_R \leq 80 \text{ MPa}$)	
Estabilización	Separación, filtración y poco refuerzo	$C_u < 2000 \text{ psf}$ (90kPa)	Suelos húmedos y saturados de grano fino (es decir, suelos limosos, arcillosos y orgánicos)
	(especialmente CBR < 1) Secundario: Transmisión	$\text{CBR} < 3$ $M_R < 4500 \text{ psi}$ (30 MPa)	
Refuerzo de capa base	Refuerzo Secundario: Separación	$600 \text{ psf} \leq C_u \leq 500 \text{ psf}$ ($30 \text{ kPa} \leq C_u \leq 240 \text{ kPa}$) $3 \leq \text{CBR} \leq 8$ $1500 \text{ psi} \leq M_R \leq 11600 \text{ psi}$ ($10 \text{ MPa} \leq M_R \leq 80 \text{ MPa}$)	Todas las condiciones del subsuelo. El refuerzo se ubica dentro de 6 a 12 pulg. (150 a 300 mm) del pavimento.

Drenaje	Transmisión, filtración Secundario: Separación	No aplicable	Subsuelo mal drenado
---------	---	--------------	-------------------------

Fuente: Federal Highway Administration (2008)

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1 Geotecnia

Rama de la ingeniería que comprende la caracterización de suelos y rocas en el subsuelo con el fin de determinar el tipo de cimentación de estructuras empleando estudios de la mecánica de suelos, la mecánica de rocas y la geología.

2.3.2 Pavimentos

Estructura de varias capas construida sobre la subrasante con la finalidad de resistir y distribuir los esfuerzos generados por las cargas de tráfico, logrando mejor transitabilidad a lo largo de su vida útil.

2.3.3 Subrasante

Superficie terminada a nivel de movimiento de tierras que se encarga de soportar la estructura del pavimento o afirmado.

2.3.4 Geosintético

Producto compuesto a base de polímeros sintéticos o naturales que se emplea en contacto con el suelo u otros materiales dentro de la rama de la geotecnia.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

En este capítulo se presenta la hipótesis principal y secundarias planteadas. De igual manera las variables dependientes e independientes del estudio.

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis principal

La aplicación de geosintéticos favorecerá técnica y económicamente al mejoramiento de la subrasante frente al método de sustitución de material entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.

3.1.2 Hipótesis Secundarias

- a) La implementación de geotextiles mejora las propiedades mecánicas de la subrasante a comparación de la aplicación de geomallas entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.
- b) Los geotextiles refuerzan la subrasante y reducen los espesores de pavimento en comparación a la geomalla entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.
- c) Mediante un análisis económico se identifica que el uso de geotextil reduce costos en comparación a la geomalla y la sustitución de material, para el mejoramiento de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.

3.2 Variables

3.2.1 Definición conceptual de las variables

Variable Independiente

- Alternativa técnico económica

Variable dependiente:

- Mejoramiento de subrasante

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presenta el tipo y nivel de la investigación, las técnicas e instrumentos de recolección de datos explicando el procedimiento de su elaboración. Además, se presenta el desarrollo del procesamiento y análisis de datos.

4.1 Tipo y nivel

La investigación es de tipo básica ya que busca investigar y comparar alternativas de solución para el mejoramiento de la subrasante en el tramo de estudio, no obstante, permanece de forma teórica. Borja (2012) menciona que las investigaciones básicas no se implementan de manera inmediata al terminar el estudio y los objetivos no se plantean a corto plazo, sin embargo, estos se pueden usar como precedentes para aplicaciones en el futuro.

La investigación tiene enfoque cuantitativo ya que se realiza cálculos mediante métodos analíticos basados en datos obtenidos anteriormente en campo y publicada en el estudio definitivo realizado por el gobierno regional de Puno. Borja (2012) plantea la investigación cuantitativa como el análisis de datos para probar la hipótesis, utilizando técnicas como la medición numérica y estadística.

La investigación es de diseño descriptivo, debido a que se describen las condiciones del proyecto y la solución planteada (sustitución de material), para luego proponer nuevas alternativas de solución, mostrando la metodología a utilizarse para el diseño de un geotextil y una geomalla como refuerzo de la subrasante. Borja (2012) menciona que los estudios descriptivos tienen como objetivo determinar las características y propiedades más representativas de procesos, situaciones o cualquier otro fenómeno.

La investigación es no experimental-transversal debido a que las condiciones del sector de la carretera escogida no son modificadas, más bien se hace la comparación de la aplicación de un geotextil y geomalla frente a la sustitución de material en la zona de estudio. Borja (2012) define a la investigación no

experimental como el estudio que no puede evidenciar la relación directa entre las variables, es decir, el investigador no puede manipular deliberadamente las variables, más bien solo observar. Asimismo, el autor menciona que este estudio de diseño transversal describe al fenómeno en un momento único, sin interés de su evolución.

4.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.2.1 Tipos de técnicas e instrumentos

La presente investigación realiza la recolección de datos basados en la información del estudio definitivo para el mejoramiento de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz, en la región de Puno. Los instrumentos utilizados son: Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos del MTC, Manual De Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción del MTC, Guía de diseño AASHTO 1993, Guía de diseño AASHTO R-50, Metodología de diseño del departamento de transportes de California, Metodología de diseño de la administración general de carreteras (FHWA), Metodología racional de diseño de pavimentos, hojas de cálculo MS Excel y software DEPAV.

4.2.2 Procedimiento para la recolección de datos

La presente investigación se basa en la solución técnica para la estabilización de la subrasante planteada en el estudio definitivo del proyecto “Mejoramiento de la Carretera (PU 135) Checca - Mazocruz, Provincia de El Collao - Puno”, recolectando de este documento datos generales como de índole técnico; de esta manera realizar la implementación de materiales como los geosintéticos, mostrando una propuesta de diseño más viable técnica y económicamente.

4.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El estudio definitivo brinda información sobre los estudios y ensayos realizados respecto a las especialidades de suelos y pavimentos; con esta data, se procede a clasificar la información primordial para la investigación. Como primer paso, por medio de guías de carácter internacional, se determina qué geosintéticos son más

idóneos para las características encontradas en el proyecto. A raíz de estos resultados se busca los geosintéticos que existen actualmente en el mercado peruano, generando una base de datos propia. Ya que para cada uno de estos materiales existen metodologías de diseño distintas. Se utiliza el método empírico-mecanístico para elaborar el diseño del pavimento con refuerzo de geomalla y el método racional, complementado con el software DEPAV, para el diseño con geotextil; para cada uno de estos se elaborarán hojas de cálculo en el programa MS Excel, diseñando la aplicación de éstas como alternativa de refuerzo de la subrasante. Finalmente, se elabora los análisis de costos y presupuestos para cada implementación según el tramo de estudio, de esta manera realizar un comparativo a nivel técnico y económico de las soluciones propuestas frente a la alternativa planteada en el estudio definitivo.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se presentan artículos de investigación que se tomarán como sustento bibliográfico para el presente estudio. En cada una de estas investigaciones se analiza la implementación de geosintéticos para diferentes escenarios, teniendo como resultado el comportamiento de estos materiales.

5.1 Revisión bibliográfica

Mamatha y Dinesh (2019) en su investigación sobre la efectividad y la posición óptima de las geomallas en carreteras no pavimentadas, ensayadas bajo una carga repetitiva; tiene como objetivo evaluar la eficacia de las geomallas en una vía no pavimentada al ser implementadas en 3 escenarios distintos, buscando la ubicación óptima y reducir el espesor de la vía, respecto a factores de carga y resistencia. Para ello se construyeron secciones de pavimento modelo en un tanque de acero de 2m x 2m x 2m con un suelo orgánico como subrasante, seguido de una sub base granular y una superficie de rodadura.

El suelo orgánico fue de algodón negro y se tomó de Bagalkot, Karnataka, India. El agregado utilizado como sub base se tomó de una cantera ubicada en Mydala, Tumkur, Karnataka, India. Para la superficie de rodadura se utilizó arena silícea de un sitio local en Tumkur, Karnataka, India. Todos los materiales se sometieron a ensayos para determinar sus propiedades técnicas, bajo las normas indias pertinentes. Las propiedades de los suelos utilizados en este estudio se enumeran en las Tablas N° 4 y N° 5.

Tabla N° 4.

Propiedades técnicas de los suelos

Propiedades	Arena limosa	Suelo de algodón negro
Peso específico (kN/m ³)	2.66	2.72
Límites de consistencia (%)		

-Límite líquido	28	71
-Límite plástico	NP	23
-Índice de plasticidad	-	48
-Límite de contracción	18	12
Características de compactación		
Ensayo proctor modificado		
-Óptimo contenido de humedad (%)	9.1	19.4
-Peso unitario seco máximo (kN/m ³)	18	14.6
Resistencia a la compresión no confinada (kPa)		
-No mojado	130	89
-Mojado	-	-
Relación de soporte de California (%)		
-Condición no mojada	7	4
-Condición mojada	5	< 2
-Índice de hinchamiento (%)	-	34

Fuente: Mamatha y Dinesh (2019)

Tabla N° 5.

Propiedades técnicas del agregado en base al Ministerio de transportes y carreteras de India MoRT&H

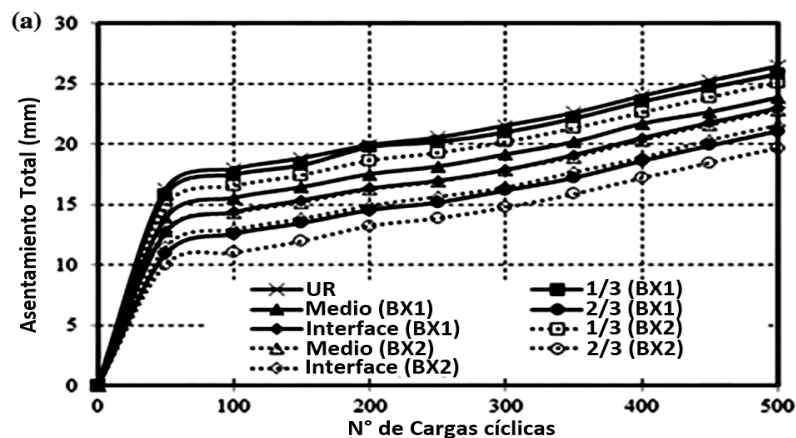
Ensayo	Especificaciones MoRT&H	Resultados		Observaciones
		40 mm de profundidad	12.5 mm de profundidad	
Peso específico (kN/m ³)	2.5-3.2	2.66	2.64	Bueno
Valor de impacto agregado (%)	Máx 30%	25	24	Aceptable
Agregado triturado (%)	Máx 30%	22	23	Aceptable
Absorción de agua (%)	Máx 2%	0.40	0.40	Bueno
Abrasión de Los Ángeles (%)	Máx 40%	31	32	Aceptable
Índices combinados (%)	Máx 30%	27	29	Aceptable

Fuente: Mamatha y Dinesh (2019)

Variando el espesor de la sub base (0.25 m, 0.30 m y 0.35 m), la ubicación de la geomalla ($\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ e interfaz entre sub base y subrasante) y para 2 tipos de geomallas (BX1= 30 kN/m y BX2= 40 kN/m), se obtuvieron gráficos los cuales muestran la variación del asentamiento total, deformación plástica y deformación elástica respecto al número de ejes equivalentes, además de tablas resúmenes de las pruebas de carga. Como resultado se halló que la implementación de geomallas

proporciona resistencia a los agregados dependiendo de la rigidez material y su posición, estos geosintéticos tienen una influencia positiva en el rendimiento del pavimento. Los mejores resultados se obtuvieron cuando la geomalla se aplicó a $\frac{2}{3}$ de la superficie superior de la sub base y en la interfaz de sub base - subrasante. El factor de mejora (If) se define como la relación entre el asentamiento plástico en la sección de pavimento no reforzado y el asentamiento plástico en la sección de pavimento reforzado con geomalla, el valor obtenido fue $If=1.7$ en el escenario de la geomalla BX2 (resistencia a la tracción de 40 kN/m) a 0.35 m de espesor de sub base, en la interfaz de sub base - subrasante, a comparación del valor mínimo $If=1.10$ y el valor máximo $If=2$. La relación de beneficio del tráfico (TBR) se define como la relación entre el número de ciclos de carga en la sección de pavimento reforzado con geomalla y el número de ciclos de carga en la sección de pavimento no reforzado para obtener un asentamiento, los valores obtenidos oscilan entre $TBR= 1.20$ y $TBR= 2.15$, el valor entre la interfaz de la sub base-subrasante para un 0.35m de espesor de sub base fue de $TBR= 1.80$.

Mediante el análisis en base a ensayos realizados por esta investigación, se puede tomar como referencia el comportamiento de los resultados respecto a variables como la resistencia a la tracción de la geomalla utilizada, características de agregados y la ubicación de la aplicación de geomalla, para justificar las propuestas, y corroborar la eficacia como refuerzo de la implementación de geomallas entre la base (GSB) y la subrasante en vías, teniendo como sustento los resultados presentados.



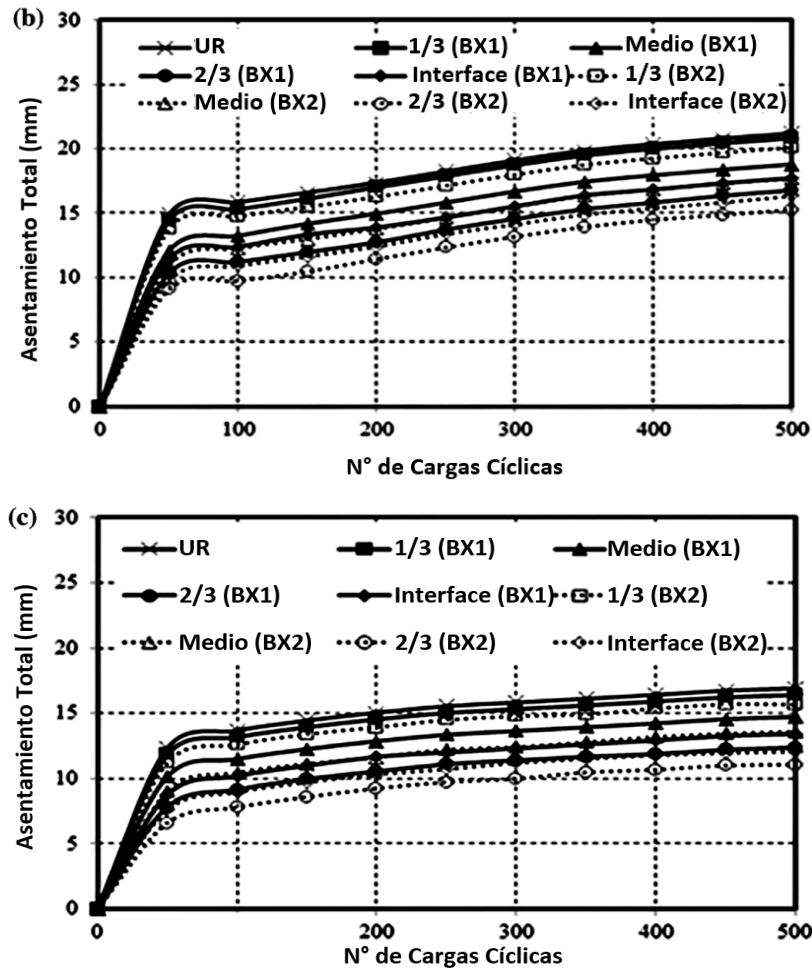
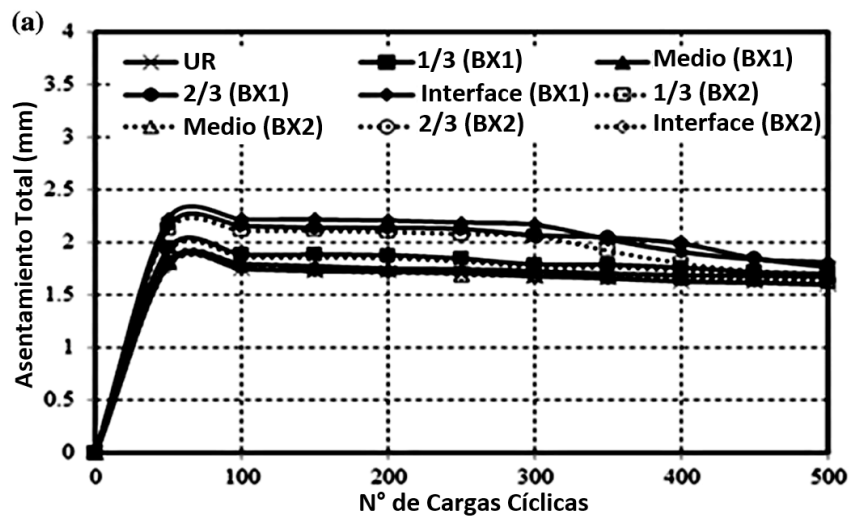


Figura N°22: Asentamiento plástico frente al número de ciclos de carga de secciones de pavimento modelo sin reforzar y reforzadas con geomalla: a) 0.25m b) 0.30m c) 0.35m
Fuente: Mamatha y Dinesh (2019)



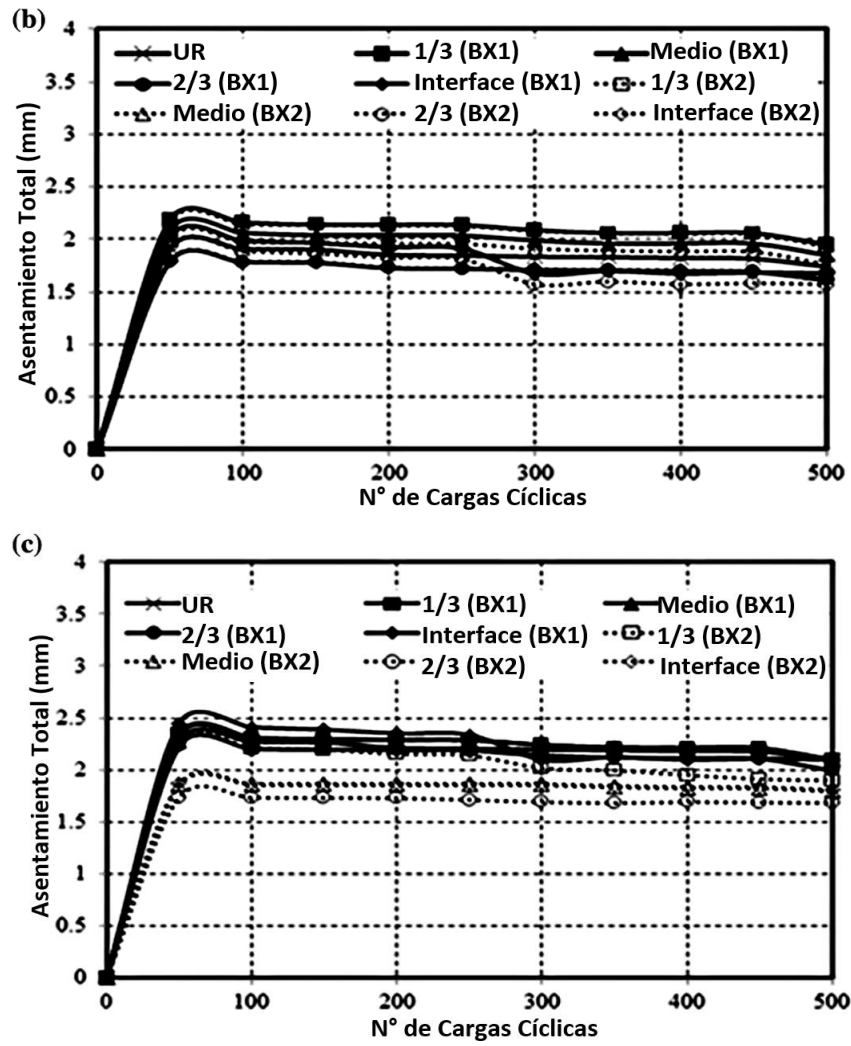
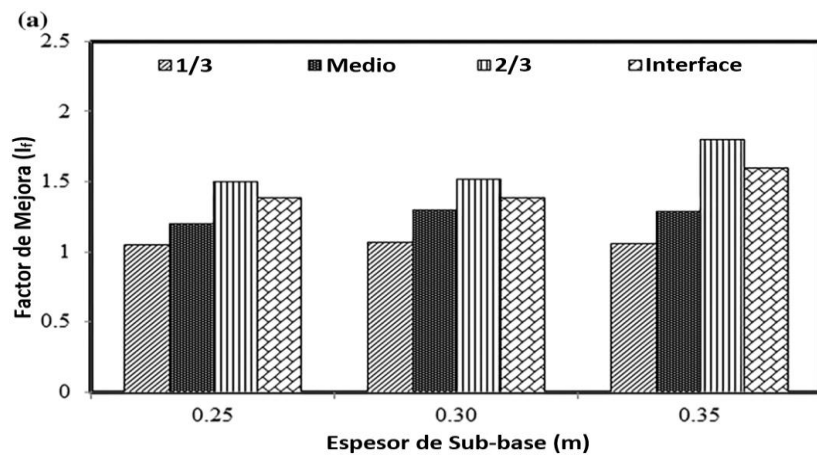


Figura N°23: Asentamiento elástico frente al número de ciclos de carga de secciones de pavimento modelo sin reforzar y reforzadas con geomalla: a) 0.25m b) 0.30m c) 0.35m

Fuente: Mamatha y Dinesh (2019)



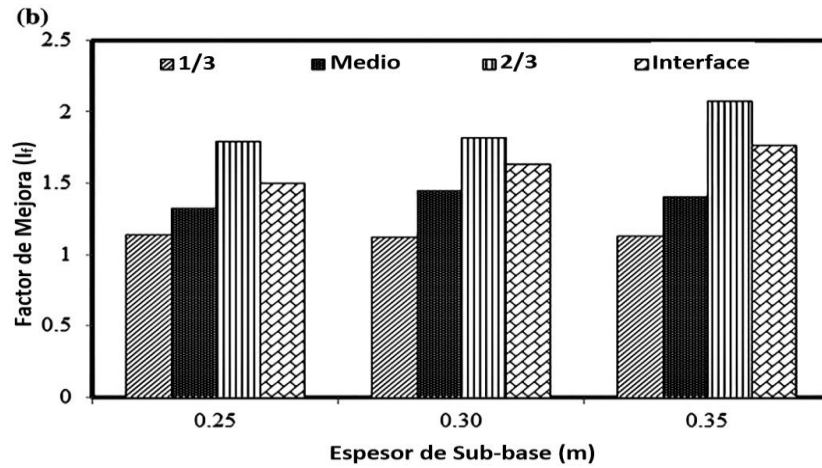


Figura N°24: Variación del factor de mejora de la geomalla reforzada (a) BX1 (b) BX 2
Fuente: Mamatha y Dinesh (2019)

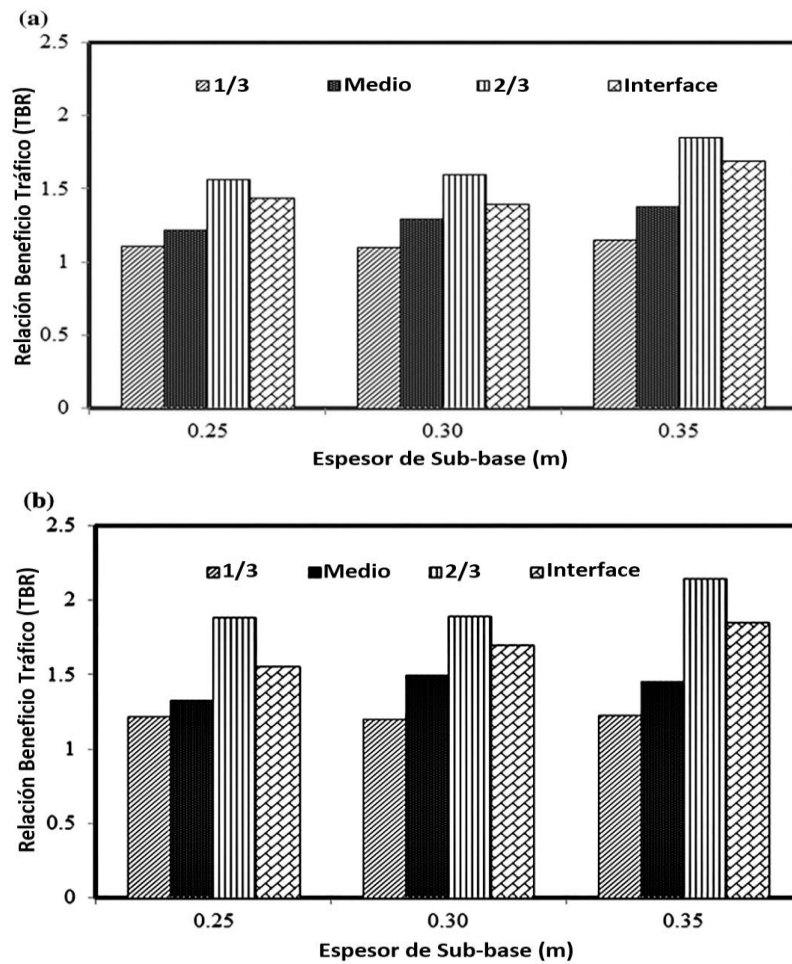


Figura N°25: Variación de la relación beneficio-tráfico de la geomalla reforzada (a) BX1 (b) BX 2
Fuente: Mamatha y Dinesh (2019)

Tabla N° 6.

Resultados de las pruebas de carga repetida (asentamiento total y plástico) de secciones de

pavimento modelo sin reforzar y reforzadas con geomallas, con diferentes espesores de la sub-base, rigidez de la geomalla y posición de la geomalla

Asentamiento total (mm)		% Reducción								
Tipo de geomalla	Espesor GSB (m)	Posición de la geomalla desde la parte superior de la subbase								
		Sin reforzar	1/3	Mitad	2/3	Interfase	1/3	Mitad	2/3	Interfase
BX ₁	0.25	26.5	25.8	23.9	21.1	22.9	2.5	9.8	20.3	13.2
	0.30	21.2	20.9	18.8	16.8	17.7	1.7	11.4	20.9	16.4
	0.35	16.9	16.4	14.7	12.4	13.4	2.9	12.9	26.8	20.6
BX ₂	0.25	26.5	25.1	22.8	19.7	21.6	5.2	13.8	25.7	18.6
	0.30	21.2	20.1	17.7	15.3	16.3	5.2	16.7	28.0	22.9
	0.35	16.9	15.7	13.6	11.1	12.1	7.4	19.5	34.6	28.7

Asentamiento plástico (mm)		% Reducción								
Tipo de geomalla	Espesor GSB (m)	Posición de la geomalla desde la parte superior de la subbase								
		Sin reforzar	1/3	Mitad	2/3	Interfase	1/3	Mitad	2/3	Interfase
BX ₁	0.25	24.9	24.2	22.2	19.3	21.2	3.0	10.7	22.3	14.9
	0.30	19.5	18.9	16.9	15.2	16.1	2.9	12.9	22.1	17.5
	0.35	14.8	14.3	12.6	10.4	11.3	3.4	14.7	29.9	23.5
BX ₂	0.25	24.9	23.4	21.2	18.0	19.9	5.9	14.9	27.6	19.9
	0.30	19.5	18.2	15.9	13.7	14.7	6.7	18.3	29.7	24.4
	0.35	14.8	13.8	11.8	9.4	10.3	7.1	20.2	36.6	30.7

Fuente: Mamatha y Dinesh (2019)

Sayida, Evangeline y Girish (2020) en su investigación de los geotextiles conformados por fibras de coco estudiados en laboratorio y en campo utilizando suelos no plásticos como subrasante; tiene como objetivo realizar pruebas de carga cíclica en secciones modeladas reforzadas con el geotextil de coco y no reforzadas, en condiciones saturadas. Además, realizar estudios en campo utilizando la prueba de deflexión de vigas de Benkelman (BBD), la prueba de penetración dinámica de conos (DCP) y pruebas CBR con el suelo de subrasante blando no plástico. Para esto, los estudios de laboratorio se llevaron a cabo tanto en secciones pavimentadas como no pavimentadas, mientras que el campo, solo en secciones pavimentadas. Primero, se empezó con el estudio en laboratorio donde se utilizaron tres tipos de geotextiles tejidos y un geotextil no tejido, siendo todos conformados por fibras de coco (Tabla N° 7).

Tabla N° 7.

Propiedades de los geotextiles de coco

Datos	Unidad	Tipo Tejido			Tipo No Tejido
		GT1	GT2	GT3	NGT
Masa/Unidad de área	gm/m ²	1200	900	700	420
Espesor	mm	8.35	8.66	7.56	6.97
Tamaño de apertura	mm x mm	9 x 3	10 x 6	20 x 20	2.36 mm diámetro medio
Resistencia a la tensión					
Dirección de la máquina	kg/m	2568.80	1550.50	897.00	81.55
Dirección transversal de la máquina	kg/m	1661.60	1000.00	835.90	76.45
Tensión de falla					
Dirección de la máquina	%	30	21	29	30
Dirección transversal de la máquina	%	32	28	30	25

Datos	Unidad	Tipo Tejido			Tipo No Tejido
		GT1	GT2	GT3	NGT
Masa/Unidad de área	gm/m ²	1200	900	700	420
Espesor	mm	8.35	8.66	7.56	6.97
Tamaño de apertura	mm x mm	9 x 3	10 x 6	20 x 20	2.36 mm diámetro medio
Resistencia a la tensión					
Dirección de la máquina	kg/m	2568.80	1550.50	897.00	81.55
Dirección transversal de la máquina	kg/m	1661.60	1000.00	835.90	76.45
Tensión de falla					
Dirección de la máquina	%	30	21	29	30
Dirección transversal de la máquina	%	32	28	30	25

Fuente: Sayida, Evangeline y Girish (2020)

Las secciones modeladas fueron preparadas en moldes de prueba de 600 mm de diámetro y 400 mm de profundidad. La placa utilizada para la carga tiene un

diámetro de 120 mm y un grosor de 25 mm. Los espesores utilizados para la subrasante y la subbase son de 250 mm y 60 mm, respectivamente. De igual manera para el macadán bituminoso denso (DBM) y la capa superficial son de 20 mm y 12 mm. Para evitar el efecto de borde, en el lado interior del molde se cubrió con una lámina fina de polietileno antes de llenarlo con el suelo (ver Figura N°26). El suelo se llenó en el molde con un contenido de humedad óptimo y una densidad seca máxima. En las secciones pavimentadas, se colocó en una de dos posiciones: como interfaz de la subrasante y la base o como interfaz de la base y la capa de rodadura. En las secciones no pavimentadas, los geotextiles se colocaron entre la subrasante y la base. Luego, se realizaron las pruebas de carga cíclica en los suelos pavimentados y no pavimentados, reforzados y no reforzados. La intensidad de carga para las secciones pavimentadas se probó con una intensidad de carga de 40 M g/m² (equivalente a una presión de neumáticas de 100 M g/m²). Por otro lado, para las secciones no pavimentadas se ensayaron con una intensidad de 30 M g/m² (equivalente a una presión de neumáticos de 75 M g/m²). Posteriormente, se recopilaron los resultados obtenidos.

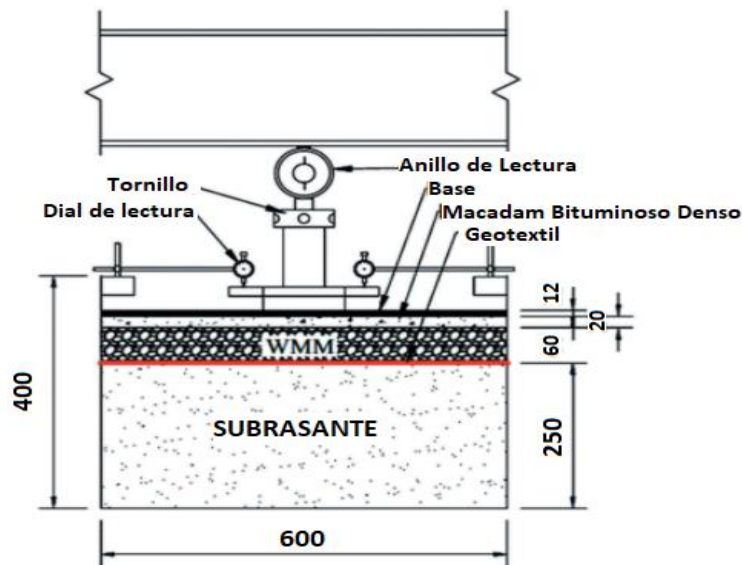


Figura N°26: Configuración de la prueba para el estudio de laboratorio (dimensiones en mm)

Fuente: Sayida, Evangeline y Girish (2020)

Para el estudio en campo, se escogió una carretera de prueba construida por el Gobierno de Kerala en India durante el 2013 que utilizó el mismo suelo de subrasante para el estudio de laboratorio. Se colocaron geotextiles de coco tejido como interfaz de la subrasante y la subbase por el Colegio de Ingeniería de Thiruvananthapuram (CET) y el estudio de rendimiento fue llevado a cabo

continuamente por el CET (ver Figura N°27). Las pruebas se realizaron en una sección reforzada y no reforzada mediante un examen visual, prueba BBD, prueba DCP y prueba CBR de campo.

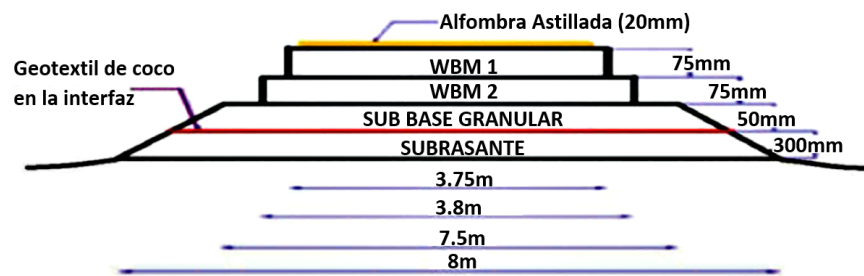


Figura N°27: Sección transversal típica de la carretera utilizada para el estudio (sin escala)

Fuente: Sayida, Evangeline y Girish (2020)

En el examen visual se realizó la identificación de fallas presentes en la sección sin reforzar. En la prueba BBD (Figura N°28) se llevó a cabo según la norma ICR: 81 1997, donde se determinó bajo una carga estándar de ruedas (carga axial de 8170 kg distribuida en dos neumáticos), presión de los neumáticos (5.6 kg/cm²) y temperatura estándar. En la prueba DCP se realizó de acuerdo a la norma ASTM D6951/D6951M-18:2018, donde se perfora 15 cm de diámetro en el suelo y se introduce un cono metálico en el suelo golpeándolo repetidamente con un peso de 8 kg a una altura de 575 mm. Una vez alcanzada la capa a ensayar se toma una lectura de referencia y se registra el espesor de las capas atravesadas por el cono. Para el ensayo CBR se realizó de acuerdo a la normativa ASTM D4429a:2009 donde se aplicó la carga de forma que la penetración fuera aproximadamente 1.25 mm/min y hasta que se alcance una penetración de 12.5 mm. Luego, el suelo de prueba se recogió para hallar el contenido de humedad y la densidad del campo.

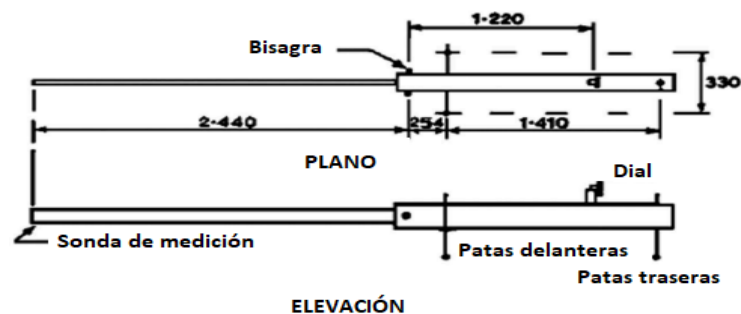


Figura N°28: Diagrama esquemático del aparato de ensayo BBD

Fuente: Sayida, Evangeline y Girish (2020)

De los resultados obtenidos en laboratorio se observó que, después de 100 ciclos de carga, la variación de la deformación plástica frente al número de repeticiones, la deformación plástica es menor para la sección reforzada que la sección no reforzada independientemente de la posición del geotextil. Por otro lado, en la sección sin pavimentar reforzada con el geotextil no tejido en rendimiento es casi igual al geotextil 2, mientras que, en la sección pavimentada, el no tejido es mejor que el geotextil 2. Sin embargo, en los demás casos el rendimiento del no tejido es casi el mismo. En cuanto a los asentamientos, el geotextil con mayor masa por unidad de área obtuvo mejores resultados cuando se coloca entre la subrasante y la base en la sección pavimentada (Figura N°29). En el caso del geotextil con menor masa por unidad de área se obtuvo mejores resultados en la reducción de asentamientos cuando se coloca entre la base y la capa de rodadura. De los resultados obtenidos en campo, en el examen de visualización se observaron muchas deficiencias en la sección sin reforzar. Por otro lado, en la sección reforzada no se encontraron deficiencias. En el ensayo BBD se observó una reducción en la deflexión característica para carreteras reforzadas, el cual se infiere que se debe al drenaje lateral acelerado por el geotextil de coco y por su consolidación debido a las cargas del pavimento y el tránsito pesado causando un incremento en la capacidad de carga del geotextil (Tabla N° 8). En el ensayo CBR se observó diferencias en los valores calculados en campo con los obtenidos con el índice de penetración dinámica (DCPI), donde hubo un aumento de su valor del 63% en 2016 y del 21% en 2017% en la sección reforzada. En el ensayo DCP se observó una disminución en el valor de DCPI en la sección reforzada, pudiendo concluir que la resistencia a la penetración es mayor en las carreteras reforzadas. En conclusión, a partir de los estudios de laboratorio se obtuvo una reducción considerable de los asentamientos en las secciones reforzadas. Además, el porcentaje de reducción de los asentamientos es mayor cuando la masa por unidad de área del geotextil es mayor. En los estudios de campo, basados en las pruebas BBD, en la sección reforzada no fue necesario un recubrimiento adicional después de los cuatro años de construcción. A partir del ensayo DCP se obtuvo una disminución del DCPI del 27-48% en la sección reforzada. Por lo tanto, se puede concluir que el geotextil de coco puede utilizarse como material de refuerzo en la subrasante con un valor de CBR bajo y a largo plazo aumentará el rendimiento de las carreteras rurales.

Mediante esta investigación se puede destacar que el empleo de geotextiles de fibra de coco resultó una alternativa viable como refuerzo de la subrasante a pesar de no ser un material comercial con normativas de diseño establecidas, por lo que emplear geotextiles normados presentarán mejores resultados como refuerzo de la subrasante en pavimentos.

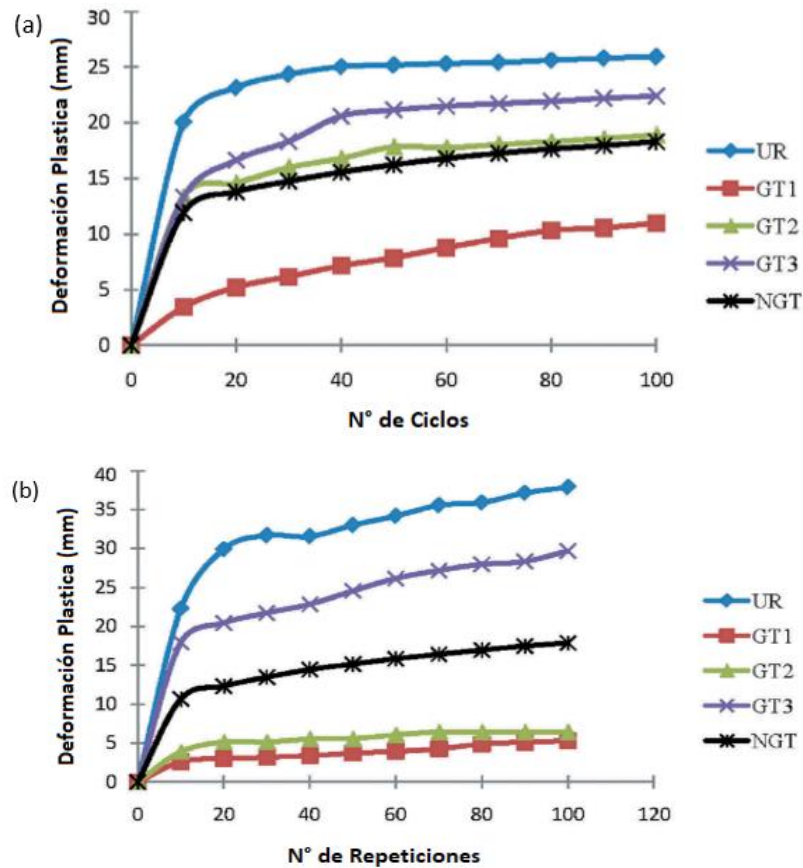


Figura N°29: Deformación plástica vs número de ciclos con geotextiles entre la subrasante y la capa base en una sección: a) no pavimentada b) pavimentada

Fuente: Sayida, Evangeline y Girish (2020)

Tabla N° 8.

Porcentaje de reducción de la deformación permanente para diferentes secciones

Tipo de sección (Capa base de 150mm de espesor)	No pavimentado GSGSB		Pavimentado GSGSB		Pavimentado GSBBC	
	Asenta miento (mm)	% Reducción en el asentamiento	Asenta miento (mm)	% Reducción en el asentamiento	Asenta miento (mm)	% Reducción en el asentamiento
UR	26	-	38	-	38	-
R (GT1)	11	58	5	87	6	84
R (GT2)	18	31	11	71	14	63
R (GT3)	22	15	30	21	16	58

R (NGT)	18	31	18	53	14	63
---------	----	----	----	----	----	----

UR, no reforzado; R, reforzado; GSGSB, entre subrasante y subbase; GSBBC, entre subbase y base

Fuente: Sayida, Evangeline y Girish (2020)

Sakleshpur, Prezzi, Salgado, Siddiki y Choi (2017) en su investigación sobre pruebas de corte directo a gran escala en una base de agregados reforzado con geomalla sobre una subrasante débil; tiene como objetivo determinar si el uso de geomallas como refuerzo garantiza una estructura de pavimento duradera reduciéndose la deformación excesiva y el agrietamiento. Para esto se probaron siete tipos de geomallas biaxiales (Tabla N° 9) en un aparato de corte directo a gran escala que consiste en una caja cuadrada superior de 30.5 x 30.5 x 10 cm y una caja rectangular inferior de 30.5 x 45 x 10 cm. La caja inferior es más grande para mantener un área de corte constante durante el ensayo. Se usó como suelo de subrasante till glacial que se clasificó como CL según SUCS y como A-4 según AASHTO. Está compuesto por 32% de arena, 48% de limo y 20% de arcilla. Para la capa base se usó agregado N°53 (piedra triturada) clasificada como grava bien graduada según SUCS y como fragmento de piedra o grava (A-1-a) según AASHTO. Los materiales de prueba se prepararon con su contenido óptimo de humedad. El till glacial se compactó en la caja inferior en tres capas hasta alcanzar valores de compactación relativa del 94-98% (Figura N°30.a). De igual manera, en la capa superior se compactó el agregado N°53 en tres capas hasta alcanzar valores de 93-96% (Figura N°30.c). Luego, se colocó una sola capa de geomalla en la interfaz de las cajas para comenzar con el ensayo (Figura N°30.b). Los ensayos de corte directo se realizaron con tensiones normales de 50, 100 y 200 kPa, a una velocidad de cizallamiento constante de 1 mm/min. El sistema de recolección de datos y los sensores asociados se calibraron antes del inicio del ensayo.

Tabla N° 9.

Propiedades físicas y mecánicas de las geomallas biaxiales en la dirección de la máquina

Propiedad	Geomallas						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
Tamaño de apertura (mm)	25	25	33	15	15	35	25
Área de apertura (mm ²)	825	825	1089	225	225	1225	625

Resistencia a la tracción 2% de deformación (kN/m)	4.1	6.0	4.0	5.0	6.0	15.0	7.7
Resistencia a la tracción final (kN/m)	12.4	19.2	12.8	13	25	40	34.9
Resistencia de junta (kN/m)	11.53	17.86	11.9	0.44	0.47	1	0.87

Fuente: Sakleshpur, Prezzi, Salgado, Siddiki y Choi (2017)

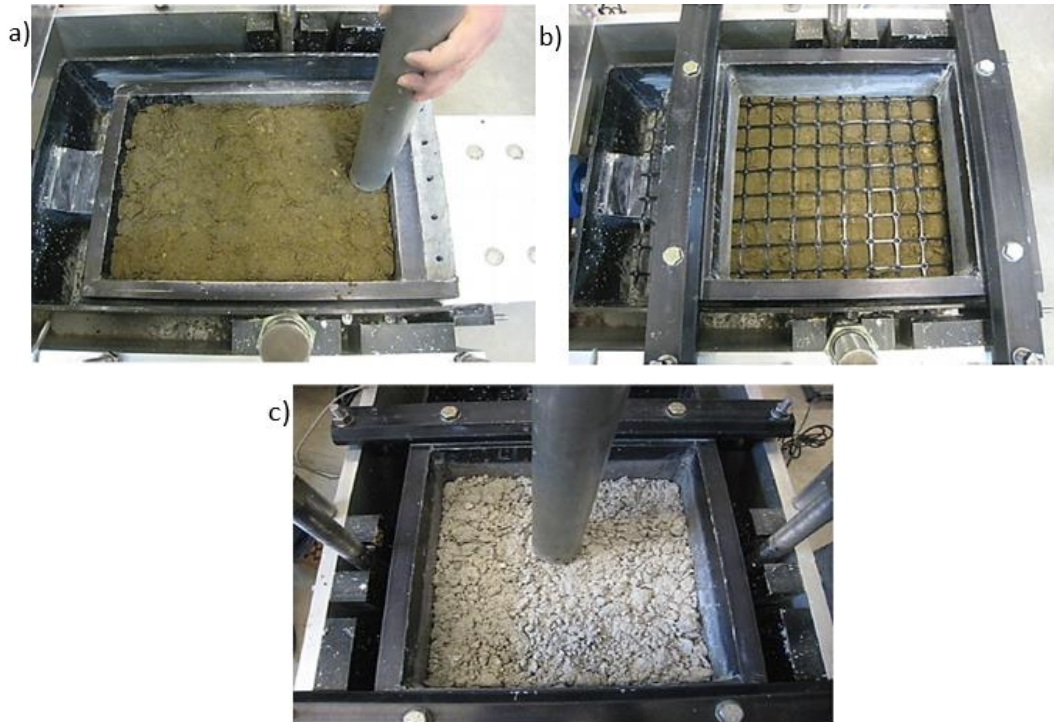


Figura N°30: Montaje de la caja de cizallamiento directo: a) material glacial en la caja inferior b) geomalla biaxial como interface c) el agregado No 53 en la caja superior

Fuente: Sakleshpur, Prezzi, Salgado, Siddiki y Choi (2017)

De los ensayos realizados el que presentó esfuerzos de cizallamiento máximos, se registró como la fuerza de corte máxima y el esfuerzo de cizallamiento obtenido al final de la prueba se registró como la fuerza de cizallamiento final (Figura N°31). Además, se experimentó en acoplar la geomalla a una de las cajas de corte para luego ser ensayada y posteriormente alternar a la otra caja. Del mismo modo se realizaron otros ensayos, pero aumentando el contenido de humedad en 2 y 4%. Finalmente se ensayó con el mismo material en ambas cajas de corte. De los resultados obtenidos se tiene que la principal contribución a la resistencia al cizallamiento se debe al entrelazamiento de las partículas del suelo con la red de la geomalla, que depende del tamaño de las aberturas en relación a las partículas del agregado como es el caso de la geomalla 2 (Figura N°32). Por otro lado, se observó que cuando los materiales de las cajas son de agregado No. 53, a medida

que el contenido óptimo de humedad de la subrasante aumenta, la resistencia máxima al corte de la interfaz disminuye a 0.68. Sin embargo, al ensayar con dos capas de till glacial o entre una capa de till glacial y una capa de agregado No. 53, mejoró el coeficiente máximo de resistencia al corte de la interfaz a 2.02 y 1.59, respectivamente (Figura N°33). Como conclusión se tiene que se debe mantener una relación adecuada entre las aberturas de la geomalla y el tamaño de las partículas para obtener mejores resultados en el comportamiento mecánico en la interfaz de base y subrasante.

Esta investigación evidencia que en la selección de una geomalla influye la relación de la abertura del geosintético con las partículas del suelo ya que de esto dependerá el comportamiento a la resistencia al corte entre la subrasante-base.

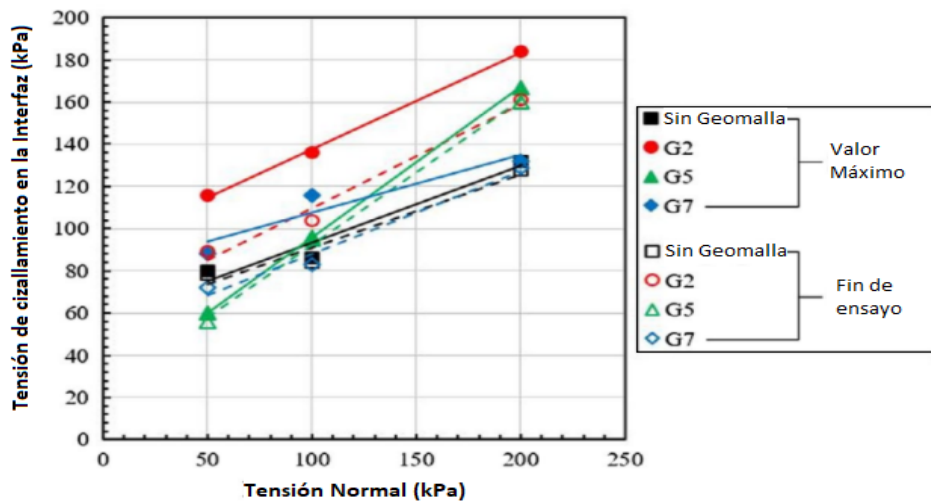


Figura N°31: Envolventes de resistencia al cizallamiento máximo y final de la prueba para muestras de suelo-agregado con y sin geomallas G2, G5 y G7 en la interfaz

Fuente: Sakleshpur, Prezzi, Salgado, Siddiki y Choi (2017)

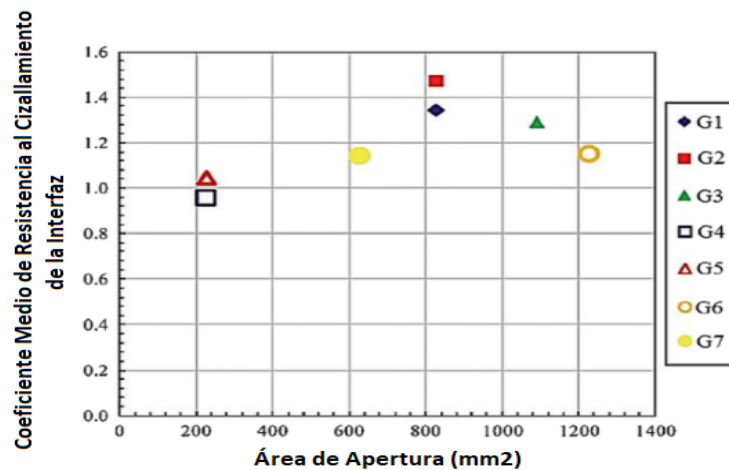


Figura N°32: Coeficiente medio de resistencia al cizallamiento de la interfaz frente a la apertura de la geomalla área

Fuente: Sakleshpur, Prezzi, Salgado, Siddiki y Choi (2017)

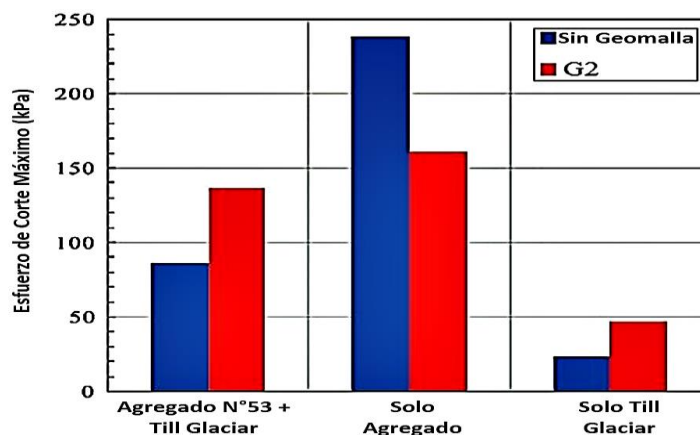


Figura N°33: Esfuerzo de cizallamiento máximos en las interfaces suelo-suelo, suelo-agregado y agregado-agregado, con y sin geomalla G2, para una tensión normal de 100 kPa

Fuente: Sakleshpur, Prezzi, Salgado, Siddiki y Choi (2017)

Markou (2016) en su investigación sobre el efecto de tipo y tamaño de grano para las arenas reforzadas con geotextiles, tiene como objetivo investigar el comportamiento mecánico de las arenas reforzadas con cuatro tipos de geotextiles basándose en ensayos de compresión triaxial. Como primer paso, se obtuvieron muestras de seis tipos de arenas, tres de ellas con granos sub angulares y las otras tres de grano redondeado, para cada una se recopilaron los valores como índice de vacíos (e_{min} - $e_{máx.}$), ángulo de fricción ($^{\circ}$), tamaño de partícula (D) y densidad relativa (D_r %) (Tabla N° 10). Se escogió cuatro geotextiles comerciales, un no tejido y tres tejidos, teniendo características como espesor (mm), masa por unidad de área (g/m^2), tamaño de apertura (mm) y tensión máxima (kN/m , %) (Tabla N° 11). Los ensayos de compresión triaxial se realizaron con muestras de 70 mm de diámetro y 144 mm de altura, aplicando 3, 5 y 7 capas de geotextiles. Los ensayos se realizaron con una densidad relativa entre el 76% y el 99%, con presiones de confinamiento iguales a 10, 25, 50, 100, 200 y 400 kPa y a una velocidad de desplazamiento axial constante de 0.6 mm/min (Figura N°34). Los resultados se muestran por medio de gráficos los cuales relacionan la resistencia respecto la presión de confinamiento (kPa), obteniendo los mejores resultados para arenas de granos subangulares (S 20-30 arena, $D_{max}=0.85$ mm, $D_{min}= 0.60$ mm, ángulo de fricción= 47.0° , $D_r= 83\%$) con un geotextil aplicado en 7 capas (geotextil H 50.145, tipo= tejido, espesor= 1.15mm, masa por unidad de área= 225.0 g/m^2 ,

apertura= 1.20 mm y tensión máxima= 32.0 / 32.0kN/m, 15 / 18%), resistencia $S_r=15$, presión de confinamiento $T_3= 0$ kPa, $S_r=3$, $T_3= 200$ kPa (Tabla N° 12 y Figura N°35). Como conclusión, las arenas reforzadas con geotextil tienen considerablemente una mayor resistencia, que las arenas no reforzadas. Además, la mejora de la resistencia de la arena, debido al refuerzo geotextil, aumenta en los granos subangulares para geotextiles con aberturas, con el aumento del número de capas de geotextil y con la disminución de la presión de confinamiento.

Este análisis muestra mediante ensayos el comportamiento de arenas y geotextiles respecto a cargas y es ideal para comparar las características del material de la subrasante de la zona de estudio, Carretera PU 135 Checca-Mazocruz, Puno, y escoger cual sería el geotextil ideal para obtener un resultado favorable en la aplicación.

Tabla N° 10.

Propiedades de las arenas

Arena	Forma del grano	Tamaño del grano (mm)			Relación de Vacíos		Características de Resistencia al Corte	
		D_{max}	D_{50}	D_{min}	e_{max}	e_{min}	Ángulo de Fricción ϕ (°)	Densidad Relativa D_r (%)
		S 4-10	Subangular	4.75	3.00	2.00	0.81	0.51
S 16-20	Subangular	1.18	1.00	0.85	0.92	0.58	48.5	92
S 20-30	Subangular	0.85	0.71	0.60	0.96	0.62	47.0	83
R 20-30	Redondeado	0.85	0.71	0.60	0.77	0.46	36.0	82
R 30-40	Redondeado	0.60	0.51	0.43	0.85	0.52	35.0	92
R 40-100	Redondeado	0.43	0.25	0.15	0.79	0.52	37.0	90

Fuente: Markou (2016)

Tabla N° 11.

Propiedades de los Geotextiles

Geotextil	Tipo	Espesor (mm)	Masa por unidad de área (g/m^2)	Tamaño de abertura, A (mm)	Resultados del ensayo de tracción	
					Carga de tracción máxima (kN/m)	Extensión a la carga máxima (%)
SF 56	No Tejido	0.54	190.0	-	12.8	65
SG 80/80	Tejido	1.35	360.0	-	82.0/86.0 *	20/11 *
H 50.145	Tejido	1.15	225.0	1.20	32.0/32.0 *	15/18 *

N 66447 Tejido 0.90 194.4 0.77 2.2/2 kN /5cm* 27/22 *

*Dirección de la máquina/Dirección transversal de la máquina

Fuente: Markou (2016)

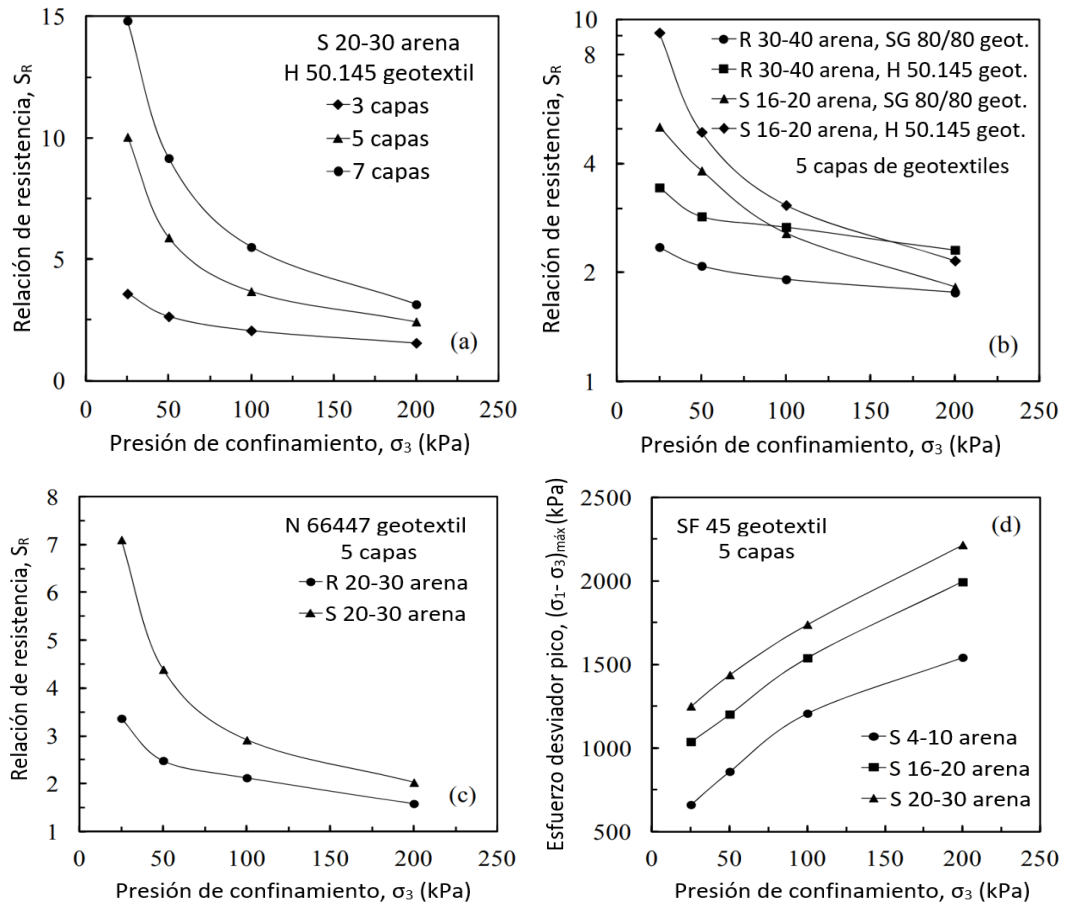


Figura N°34: Efecto de (a) el número de capas de geotextil, (b) las propiedades del geotextil, (c) la forma del grano de arena y (d) el tamaño del grano de arena en la resistencia de las arenas reforzadas.

Fuente: Markou (2016)

Tabla N° 12.

Valores medios de la deformación axial al fallo de las arenas reforzadas (%)

Geotextil	Capas	S 4-10	S 16-20	S 20-30	R 20-30	R 30-40	R 40-100
H 50.145	3	-	-	11.5	-	-	-
	5	11.8	13.2	13.5	11.7	12.4	12.7
	7	-	-	13.5	-	-	-
SF 56	5	12.0	15.0	16.8	10.6	18.9	15.9
SG 80/80	5	13.0	15.0	14.6	7.4	9.3	9.0
N 66447	5	16.6	16.9	14.2	14.3	16.7	14.4

Fuente: Markou (2016)

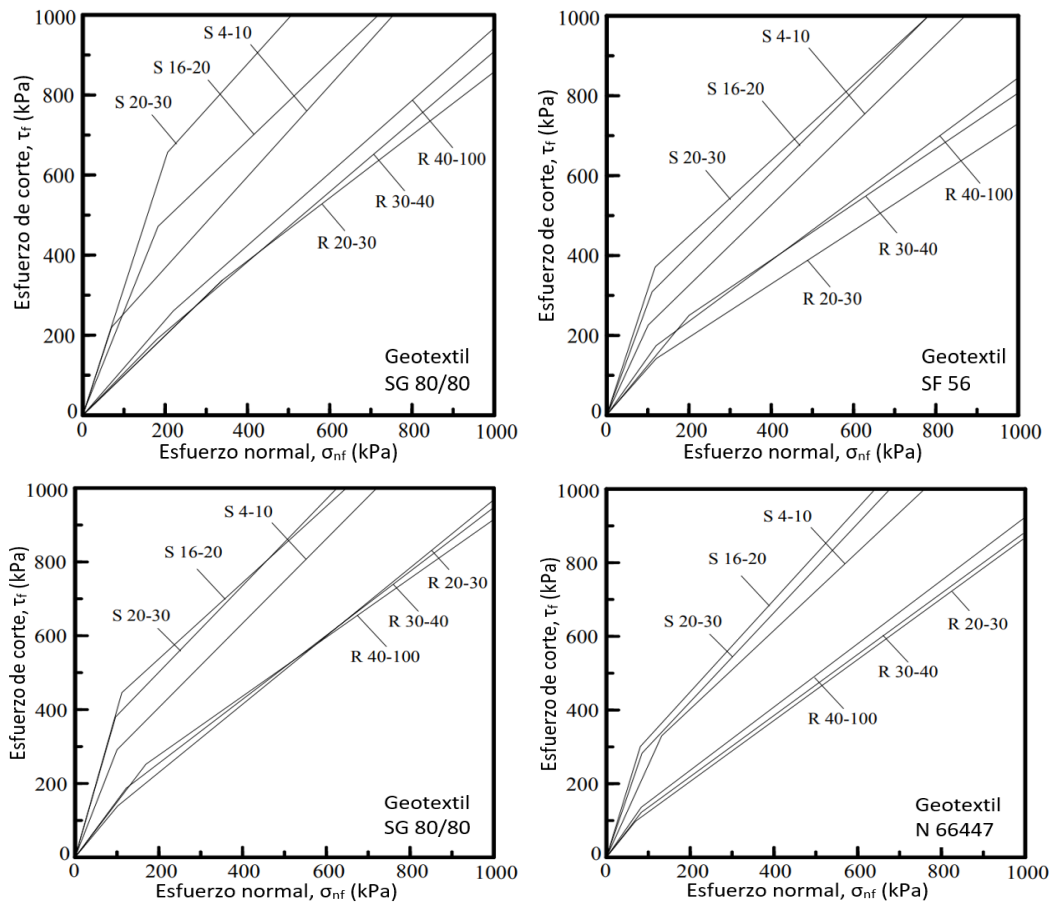


Figura N°35: Envoltentes de fallo de ensayos de compresión triaxial en arenas reforzadas con 5 capas de geotextil.

Fuente: Markou (2016)

Lins y Zornberg (2020) en su investigación sobre nuevas técnicas de laboratorio para determinar el comportamiento de las deformaciones respecto al tiempo en los geosintéticos, tiene como objetivo evaluar las nuevas tecnologías y equipos utilizados para el análisis de las deformaciones de los geosintéticos a través del tiempo. Se diseñó una caja rígida capaz de alojar una masa cúbica de suelo con una longitud lateral de 200 mm de lado (Figura N°36). La capa de geosintético es colocada mediante abrazaderas horizontales a la mitad de la máquina. La presión vertical (σ_v) se aplica inicialmente al suelo a través del sistema de aire presurizado, lo que desarrolla tensiones horizontales dentro de la masa del suelo y consecuentemente una presión horizontal (σ_h) en las paredes laterales, este proceso da resultados medidos por medio de una celda de carga, la cual tiene capacidad de 2.5 kN (Figura N°37).

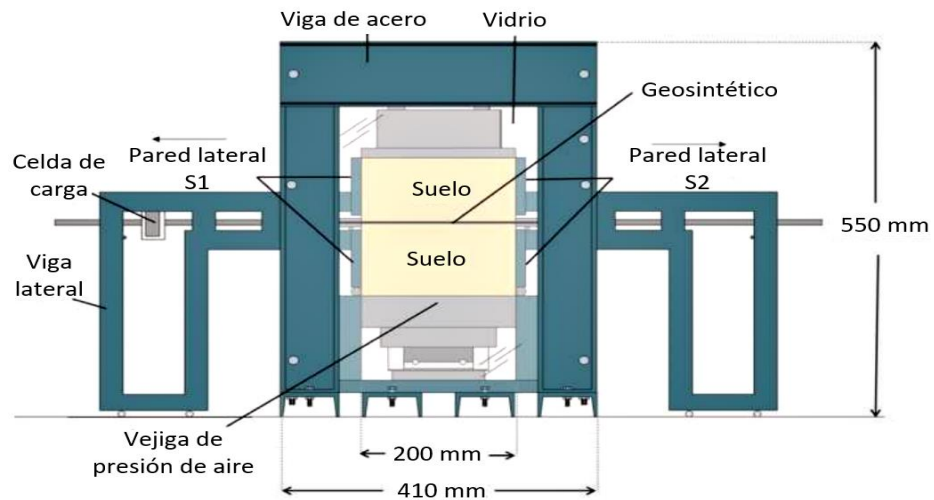


Figura N°36: Esquema de la caja de pruebas (vista lateral)

Fuente: Lins y Zornberg (2020)

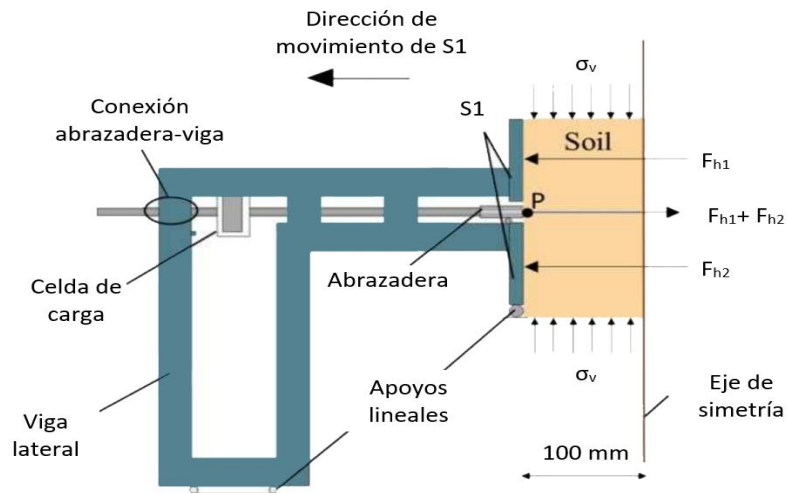


Figura N°37: Mecanismo de transferencia de carga para las pruebas de interacción suelo-geosintético mostrando las fuerzas que actúan sobre la pared lateral móvil S1 y la fuerza de reacción del refuerzo

Fuente: Lins y Zornberg (2020)

Se sometió a ensayo el funcionamiento de un geotextil tejido con características de masa por unidad de área igual a 126 g/m^2 , resistencia a la tracción final $T_{ult}= 21 \text{ kN/m}$, tensión de rotura $E_t= 33\%$ y la rigidez a la tracción al 2% $J=1.7\%$ (Tabla N° 13), con una arena de granos redondeado con clasificación SP, con una granulometría promedio de 0.23mm , coeficiente de uniformidad igual a 2.7, índice de vacíos $e_{max}=0.87$, $e_{min}= 0.5$, ángulo de fricción $=36^\circ$ y densidad relativa $D_r= 50\%$. La granulometría del material ensayado se muestra en la Figura N°38.

Tabla N° 13.

Resultados de los ensayos de tracción del geotextil

Resistencia última a la tracción, T_{ult}		Deformación en el momento del fallo, ϵ_f		Rigidez de tracción secante al 2% de deformación, J	
Valor medio (kN/m)	COV (%)	Valor medio (%)	COV (%)	Valor medio (kN/m)	COV (%)
21	1.8	33	3	62.5	1.7

Fuente: Lins y Zornberg (2020)

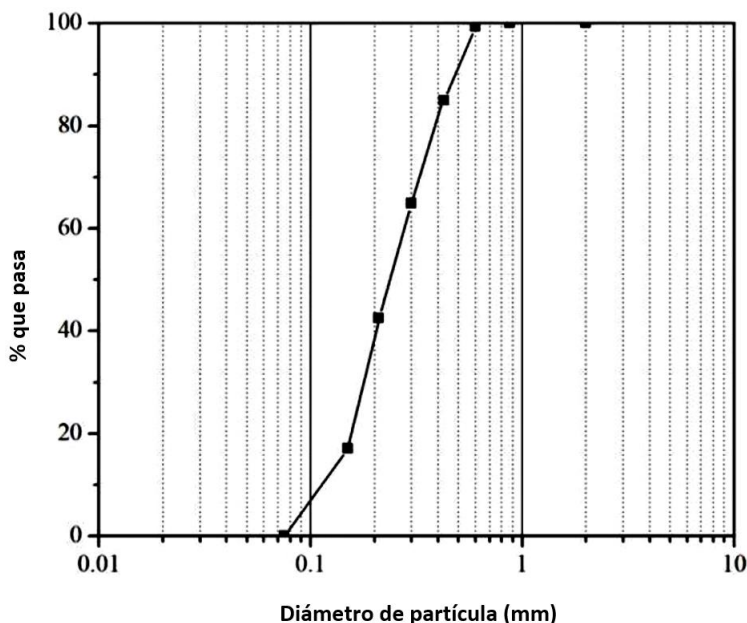


Figura N°38: Granulometría de la arena ensayada

Fuente: Lins y Zornberg (2020)

Los resultados de las pruebas dieron la variación en porcentaje de la deformación del refuerzo en base al tiempo transcurrido, además de medir la resistencia a la tensión del geotextil en función del tiempo. Las arenas ensayadas con geotextil, bajo una carga de 100 kPa disminuye un 10% su resistencia a la tensión en un lapso de 10 horas, mientras bajo carga de 200 kPa disminuye un 20% (Figura N°39 y 40). En conclusión, el dispositivo es adecuado para estudiar el comportamiento en función del tiempo de los geotextiles y las geomallas.

Actualmente en el Perú no se cuenta con maquinaria idónea para medir, investigar y desarrollar nuevas tecnologías para la aplicación de geosintéticos, investigaciones de esta índole abren puertas a nuevas líneas de investigación respecto a estos temas.

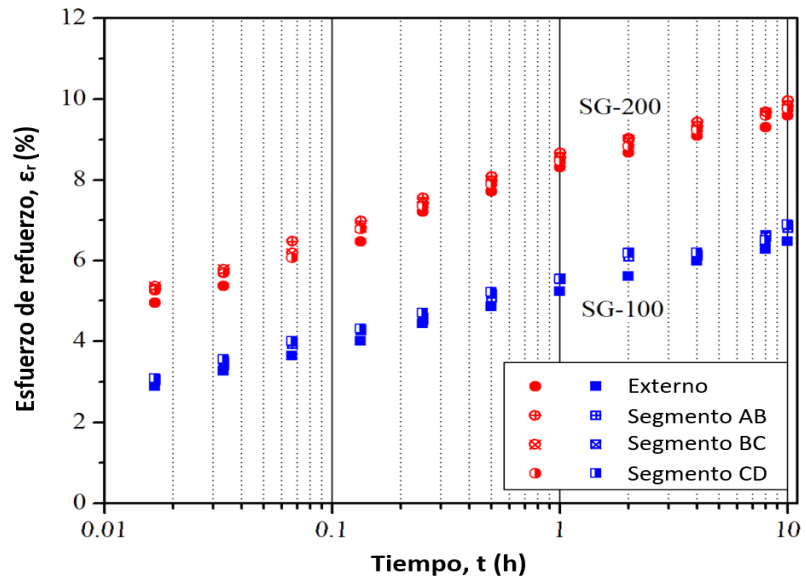


Figura N°39: Deformaciones del refuerzo a lo largo del tiempo mediante mediciones externas e internas (ensayos de interacción arena-geotextil SG-100 y SG-200)

Fuente: Lins y Zornberg (2020)

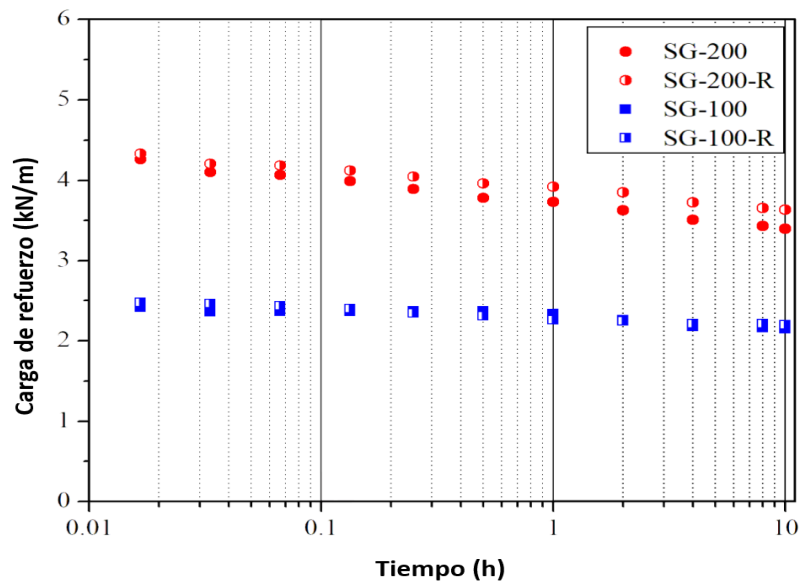


Figura N°40: Carga del refuerzo en el tiempo a partir de las pruebas de interacción arena-geotextil

Fuente: Lins y Zornberg (2020)

CAPÍTULO VI: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presentan las características de la zona de investigación, el procedimiento de los diseños propuestos en el que se incluye la selección de los geosintéticos a través de criterios desarrollados por entidades internacionales.

6.1 Descripción de la zona de investigación

6.1.1 Ubicación del proyecto

La carretera en la cual se desarrolló el estudio está ubicada en el Departamento de Puno, provincia de El Collao, con una longitud de 73 276.57 KM desde el pueblo de San Antonio de Checca hasta Mazocruz (Figura N°41).

El tramo elegido como área de estudio para este proyecto comprende desde el KM 12+580 al KM 13+820, separando la aplicación en tres tramos: tramo 1 (KM 12+580 al KM 12+760), tramo 2 (KM 13+180 al KM 13+330) y tramo 3 (KM13+730 al KM 13+820).

Para fines de aplicabilidad de las soluciones propuestas, se bajó el eje vial a nivel de terreno natural, de este modo que se elimine la estructura de terraplén y poder utilizar los materiales de refuerzo, geomallas y geotextiles.

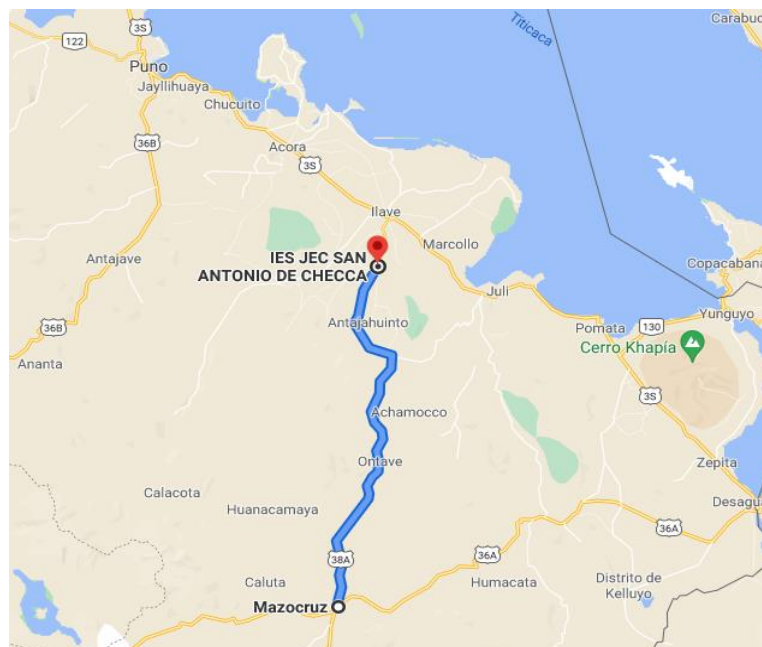


Figura N°41: Mapa de la carretera del proyecto

Fuente: Google Maps (2021)

6.1.2 Ubicación geográfica

KM 0+000

Latitud: 16° 09' 53.3232" S

Longitud: 69° 39' 02.6314" W

KM 73+276.57

Latitud: 16° 43' 56.5428" S

Longitud: 69° 42' 59.9558" W

6.1.3 Clima

El clima característico de la zona es cálido y templado, con temperatura promedio entre 12°C a 20°C. Presenta precipitaciones pluviales entre los meses de Noviembre a Marzo.

6.1.4 Altitud

Se desarrolla en zona sierra, con cota mínima de 3843.758 m.s.n.m. y con cota máxima de 4001.046 m.s.n.m.

6.1.5 Clasificación Vial

De acuerdo al estudio definitivo, el sector Checca (KM 0+000) - Dv. Juli (KM 21+280) se clasificó como Carretera de Segunda Clase debido a que el IMD supera los 400 veh/día. Por lo tanto, tendrá una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho como mínimo.

6.1.6 Presentación de ensayos geotécnicos realizados

Los ensayos fueron realizados a partir de muestras extraídas de las calicatas efectuadas en la vía de estudio, para luego ser analizadas en laboratorio. Los ensayos estándares se presentan a continuación.

- Análisis Granulométrico por tamizado ASTM D 422, MTC E 107.
- Clasificaciones SUCS.
- Clasificaciones AASHTO.
- Límites de Atterberg, (Límite líquido y Límite Plástico) ASTM D 4318, MTC E 110, 111.
- Humedad Natural ASTM D 2216, MTC E 108.

- Proctor Modificado ASTM C 1557-C, MTC E 115.
- California Bearing Ratio (CBR) ASTM D 1883, MTC E 132.

Los resultados de los ensayos realizados se obtuvieron del estudio definitivo del proyecto, de los cuales 4 calicatas se encuentran en el área de estudio. (Anexo 3)

6.1.7 Estabilización por sustitución de material

Del estudio realizado se optó por promediar el valor de CBR para clasificar la vía, de las recomendaciones dadas, Según el MTC (2014), cuando el $CBR < 6\%$, es posible realizar el reemplazo del suelo de la subrasante por otros con mejores características, en este caso, material de cantera.

Según el MTC (2014) en su Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, cuando el material presenta un CBR mayor igual a 3% y menor igual a 6%, una alternativa de estabilización es la sustitución de material, con aquel que cumpla características de $CBR \geq 10\%$ e Índice de Plasticidad menor a 10, el cual consta en determinar el espesor de reemplazo según el valor de tráfico (Tabla N° 14).

Tabla N° 14.

Espesores Recomendados para Estabilización por Sustitución de Suelos

Tráfico		Espesor de Reemplazo con Material $CBR > 10\%$ (cm)
0	25000	25
25001	75000	30
75001	150000	30
150001	300000	35
300001	500000	40
500001	750000	40
750001	1000000	45
1000001	1500000	55
1500001	3000000	55
3000001	5000000	60

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014)

6.2 Diseño del pavimento flexible del proyecto

6.2.1 Datos del diseño de pavimento

Los datos para el diseño del pavimento se obtuvieron del estudio definitivo del proyecto, donde se presentan los valores usados para el diseño, teniendo en consideración los rangos establecidos por el MTC (2014).

6.2.2 Diseño del pavimento flexible AASHTO 1993

– Mr de Diseño

La determinación del Módulo resiliente (Mr) para el diseño del pavimento se realizó considerando el diseño geométrico, los datos de CBR del material de relleno de las canteras y de los suelos típicos por tipo de suelo (Tabla N° 15).

Tabla N° 15.

Mr promedio

Sector	Cal.	Ubicación (Km.)	MR (psi)	MR Diseño
Km. 0+000 - Km. 34+500	C-1	0+010	8448	14761
	C-9	1+960	16806	
	C-17	3+960	16762	
	C-25	5+970	12733	
	C-33	7+970	18079	
	C-41	9+980	17380	
	C-49	11+975	17380	
	C-57	13+935	12533	
	C-65	15+955	8955	
	C-67	16+455	17466	
	C-73	17+935	12191	
	C-81	19+940	17172	
	C-89	21+940	15840	
	C-97	23+925	17075	
	C-105	25+925	10435	
	C-113	27+920	17199	
	C-121	29+920	11854	
C-129	31+910	6401		
C-137	33+885	17380		

Fuente: Gobierno Regional de Puno (2017)

– Periodo de Análisis

En conformidad con los Términos de Referencia (TDR) del proyecto, el periodo de análisis se realizó para 20 años en una sola etapa y para 10 años en 2 etapas hasta 20 años de vida útil. Sin embargo, para la presente investigación se realizará la comparación para una sola etapa de 20 años.

– ESALs de diseño

De acuerdo al estudio de tráfico realizado para el proyecto, en una etapa de diseño de 20 años, se tiene que para el caso sin control de carga:

Tabla N° 16.

Mr promedio obtenido sin control de carga

AÑO	Sin control de carga	
	Checca - Dv. Juli Km. 0+000 - Km. 21+280	
2038	3.74E+06	

Fuente: Gobierno Regional de Puno (2017)

– Confiabilidad del Diseño R%

Este parámetro considera variaciones que puedan presentarse debido al tráfico y el comportamiento del pavimento durante su vida útil. La metodología AASHTO clasifica los niveles de confiabilidad según el tipo de carretera (Tabla N° 17).

Tabla N° 17.

Confiabilidad sugerida para diferentes carreteras

Clasificación	Niveles de Confiabilidad Sugeridos para Diferente Carreteras	
	Niveles de Conf. (Recom.)	
	Urbana	Rural
Autopistas Interestatales y Otras	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias Principales	80.0 - 99.0	75.0 - 95.0
Colectores de Tránsito	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
Carreteras Rurales	50.0 - 80.0	50.0 - 80.0

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1993)

De acuerdo al TDR se utilizará:

Confiabilidad: 90%; Zr: -1.982

– Criterios de Desempeño: Serviciabilidad

Para evaluar el desempeño del pavimento se realizó a través del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI). Para el diseño de la carretera se optó por el valor de 4.0 como serviciabilidad inicial (Pi) para los pavimentos flexibles. Para la serviciabilidad final (Pt), según la metodología AASHTO, se sugiere un valor de 2.5 para autopistas en vías principales y 2.0 para demás carreteras.

PSI Inicial: 4.0; PSI Final: 2.0 (Según TDR)

– Ecuación de diseño

El diseño de los espesores de las capas de pavimento se determinó a partir de la ecuación básica propuesta en la metodología AASHTO 1993, que considera las características y propiedades de los materiales y las condiciones del tránsito.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right]}{0.40 + \frac{1.094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07 \quad (1)$$

Donde:

W18: Número proyectado de carga equivalente de 18 kip (18000 lb.) de aplicación de carga axial simples

Zr: Desviación estándar normal para el nivel de confiabilidad de 90% (-1.282)

So: Error estándar combinado del tráfico proyectado y del comportamiento proyectado (0.45)

ΔPSI: Diferencia entre índice de serviciabilidad inicial, Pi, y el índice de serviciabilidad final, Pt. (ΔPSI=4.0-2.0=2.0)

Mr: Módulo resiliente (psi)

SN: Número estructural indicativo del espesor total del pavimento requerido

– Número estructural propuesto

Los espesores de cada capa se determinaron a partir de la expresión propuesta por AASHTO, que mediante coeficientes de transformación a cada tipo de capa se le otorga un número estructural (SNi).

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 \quad (2)$$

Donde:

a_i: Coeficiente de la capa “i”

D_i: Espesor de la capa “i”

m_i : Coeficiente de drenaje de la capa “i” (m_2 y $m_3 = 1.0$)

– Coeficiente de Capa (a_i)

Para cada capa de pavimento se le atribuyó un coeficiente de capa (a_i) que permiten convertir los espesores de capa a números estructurales, de acuerdo a los valores del módulo elástico de cada material (Tabla N° 18).

Tabla N° 18.

Coeficientes Estructurales por Capa

Material	Condición	Módulo	SN
Carpeta asfáltica	Estabilidad > 850 Kg.	E= 450,000	0.430/pulg.
Base Granular	CBR 100% \geq 100%	E= 30,000	0.140/pulg.
Sub-Base	CBR 100% \geq 40%	E= 17,000	0.120/pulg.

Fuente: Gobierno Regional de Puno (2017)

– Drenaje

La calidad del drenaje en pavimentos depende del tiempo en el que se encuentra expuesto a niveles de humedad próximas a la saturación durante un año y se expresa en porcentaje de tiempo (Tabla N° 19).

Tabla N° 19.

Calidad del Drenaje de las Capas

Calidad del drenaje	Tiempo para remoción del agua
Excelente	2 Horas
Buena	1 Día
Aceptable	1 Semana
Pobre	1 Mes
Muy Pobre	(El agua no drena)

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1993)

Para cada nivel de drenaje, se aplica un coeficiente que se denominan m_i y se integra en la ecuación del Número Estructural (SN_i), afectando al Coeficiente de Capa (a_i) y el espesor correspondiente (D_i). A continuación, se presenta una tabla de valores recomendados por AASHTO (Tabla N° 20).

Tabla N° 20.

Coefficientes del Drenaje

Valores de mi Recomendados para Modificar los Coeficientes de Capas de Base y Sub Base Granulares				
Calidad del drenaje	% de Tiempo de Exp. De la Estr. Del Pavimento a Nivel de Humedad Próximos a la Saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Aceptable	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy Pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1993)

En el presente caso se consideró que la vía tiene un buen drenaje. Por consiguiente, el valor m_i tanto para la Base Granular como para la Sub-Base Granular fue de 1.00.

– Estructura del pavimento flexible

La estructura de diseño se definió considerando el número estructural requerido que debe cumplir la Carpeta Asfáltica, Base Granular y Sub-Base Granular en conjunto. De acuerdo a la metodología AASHTO, recomienda espesores mínimos para cada capa del pavimento (Tabla N° 21).

Tabla N° 21.

Espesores Recomendados según AASHTO-1993

Tráfico, ESAL's	Espesor mínimo (pulg.)	
	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	1.0 a Trat. Sup.	4.0
50,000 - 150,000	2.0	4.0
150,000 - 500,000	2.5	4.0
500,000 - 2'000,000	3.0	6.0
2'000,000 - 7'000,000	3.5	6.0
Más de 7'000,000	4.0	6.0

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1993)

Como resultado del diseño del pavimento por el método AASHTO 1993 que se realizó en el estudio definitivo del proyecto se obtuvo los siguientes espesores finales:

Tabla N° 22.

Espesores de Pavimento (20 años)

Sector (Km.)	Esp. calculados			Esp. adoptados			SN _{REQU}	SN _{ADOP}
	MAC	B.G.	S.B.G.	MAC	B.G.	S.B.G.		
0+000 - 21+280	9	15	19	9	15	20	3.246	3.295

Fuente: Gobierno Regional de Puno (2017)

6.3 Diseño del pavimento flexible no reforzado

Del área de estudio se identificó que existen dos valores diferentes de CBR, por lo que se decidió optar por ambos de manera independiente para que se pueda realizar distintos diseños aplicando geomallas y geotextiles como solución de estabilización de la subrasante. Además, se consideró una capa de relleno de material de cantera a fin de nivelar la vía, que dio un aporte asumido del 20% de su propio CBR hacia el valor final promediado (Tabla N° 23).

Tabla N° 23.

Valores CBR Promedio

Calicat a	De	Hasta	CBR Obtenido	CBR Adoptado	CBR Relleno	CBR Promedio
C-52	12+580	12+760	3.5	3.5	15	3.63
C-54	13+180	13+315	2.2	2.2	15	2.6
C-55	13+315	13+330	3.5			
C-56	13+730 13+790	13+790 13+820	2.2	2.2	15	2.6

Fuente: Elaboración propia (2021)

Para el diseño del pavimento no reforzado se siguió la normativa del MTC (2014) que toma como modelo la metodología AASHTO 1993.

– Mr de Diseño

De acuerdo al MTC (2014), para el cálculo del módulo de resiliencia se emplea la ecuación recomendada por el Mechanistic Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) que se correlaciona con el CBR.

$$Mr (psi) = 2555 \times CBR^{0.64} \quad (3)$$

Tabla N° 24.

Valores CBR Promedio

CBR	Mr de diseño (psi)
3.63	5830.84
2.60	4709.49

Fuente: Elaboración propia (2021)

– Periodo de Diseño

El periodo de diseño es de una etapa de 20 años.

– ESALs de Diseño

Se utilizará el resultado obtenido del estudio de tráfico realizado para el proyecto, en una etapa de diseño de 20 años, se tiene que para el caso sin control de carga:

$$W_{18} = 3'740,000 \text{ EE} \quad (4)$$

– Tipo de tráfico

De acuerdo al MTC (2014) el tipo de tráfico pesado se clasifica de acuerdo al número de ejes equivalentes (EE) (Tabla N° 25).

Tabla N° 25.

Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 t, en el Carril de Diseño

Tipos tráfico pesados expresado en EE	Rangos de tráfico pesado (EE)
TP5	1.000.000 EE - 1'500,000 EE
TP6	1.500.000 EE - 3'000,000 EE
TP7	3.000.000 EE - 5'000,000 EE
TP8	5.000.000 EE - 7'500,000 EE
TP9	7.500.000 EE - 10'000,000 EE
TP10	10.000.000 EE - 12'500,000 EE
TP11	12.500.000 EE - 15'000,000 EE
TP12	15.000.000 EE - 20'000,000 EE
TP13	20.000.000 EE - 25'000,000 EE
TP14	25'000,000 EE - 30'000,000 EE

Fuente: Manual de Carreteras (2014)

En el presente diseño, el tipo de tráfico corresponde a “TP7”.

– Confiabilidad de Diseño R%

De acuerdo al MTC (2014) presenta los valores recomendados de niveles de confiabilidad para los diferentes rangos de tráfico:

Tabla N° 26.

Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola etapa de diseño según rango de Tráfico

Tipos de caminos	Tipos tráfico pesados expresado en EE	Ejes equivalentes acumulados		Nivel de confiabilidad (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	75,000	150,000	65%
	TP1	150,001	300,000	70%
	TP2	300,001	500,000	75%
	TP3	500,001	750,000	80%
	TP4	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	85%
	TP6	1,500,001	3,000,000	85%
	TP7	3,000,001	5,000,000	85%
	TP8	5,000,001	7,500,000	90%
	TP9	7,500,001	10,000,000	90%
	TP10	10,000,001	12,500,000	90%
	TP11	12,500,001	15,000,000	90%
	TP12	15,000,001	20,000,000	95%
	TP13	20,000,001	25,000,000	95%
	TP14	25,000,001	30,000,000	95%
	TP15		> 30,000,000	95%

Fuente: Manual de Carreteras (2014)

Por lo tanto, para el tipo de tráfico TP7, se recomienda usar el valor R de 85%.

– Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Zr)

Según el MTC (2014), este coeficiente estadístico representa la confiabilidad seleccionada, que está en función del tránsito (Tabla N° 27).

Tabla N° 27.

Coefficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Z_r) para una sola etapa de diseño según el Nivel de Confiabilidad Seleccionado y el Rango de Tráfico

Tipos de caminos	Tipos tráfico pesados expresado en EE	Ejes equivalentes acumulados		Desviación estándar normal (Z_r)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	75,000	150,000	-0.385
	TP1	150,001	300,000	-0.524
	TP2	300,001	500,000	-0.674
	TP3	500,001	750,000	-0.842
	TP4	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	-1.036
	TP6	1,500,001	3,000,000	-1.036
	TP7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	TP8	5,000,001	7,500,000	-1.282
	TP9	7,500,001	10,000,000	-1.282
	TP10	10,000,001	12,500,000	-1.282
	TP11	12,500,001	15,000,000	-1.282
	TP12	15,000,001	20,000,000	-1.645
	TP13	20,000,001	25,000,000	-1.645
	TP14	25,000,001	30,000,000	-1.645
	TP15		> 30,000,000	-1.645

Fuente: Manual de Carreteras (2014)

Por lo tanto, para el tipo de tráfico TP7, se usará el valor Z_r igual a -1.036.

– Desviación Estándar Combinada (S_o)

Es el valor que considera la variabilidad en la proyección del tránsito y de otros factores que afectan el comportamiento del pavimento. Según la guía AASHTO para pavimentos flexibles se recomienda usar valores entre 0.40 y 0.50. Sin embargo, el Manual de Carreteras recomienda el valor de 0.45.

– Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

El PSI representa la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5, donde 5 refleja mejor comodidad teórica y 0 refleja el peor.

– Serviciabilidad Inicial (Pi)

Es la condición de la vía recientemente construida. El MTC (2014) presenta una tabla de índices de servicio inicial para diferentes tipos de tráfico (Tabla N° 28).

Tabla N° 28.

Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico

Tipos de caminos	Tipos tráfico pesados expresado en EE	Ejes equivalentes acumulados		Índice de serviciabilidad inicial (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	75,000	150,000	3.80
	TP1	150,001	300,000	3.80
	TP2	300,001	500,000	3.80
	TP3	500,001	750,000	3.80
	TP4	750,001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	4.00
	TP6	1,500,001	3,000,000	4.00
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.00
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.00
	TP9	7,500,001	10,000,000	4.00
	TP10	10,000,001	12,500,000	4.00
	TP11	12,500,001	15,000,000	4.00
	TP12	15,000,001	20,000,000	4.20
	TP13	20,000,001	25,000,000	4.20
	TP14	25,000,001	30,000,000	4.20
	TP15	> 30,000,000		4.20

Fuente: Manual de Carreteras (2014)

Para el tipo de tráfico TP7, el índice de serviciabilidad inicial es igual a 4.00.

– Serviciabilidad Final (Pf)

Es la condición de la vía que ha terminado su vida útil. El MTC (2014) presenta una tabla de índices de servicio final para diferentes tipos de tráfico (Tabla N°29).

Tabla N° 29.

Índice de Serviabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico

Tipos de caminos	Tipos tráfico pesados expresado en EE		Ejes equivalentes acumulados		Índice de serviabilidad final (Pf)
	TP1	TP2	TP3	TP4	
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000		2.00
	TP2	300,001	500,000		2.00
	TP3	500,001	750,000		2.00
	TP4	750,001	1,000,000		2.00
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000		2.50
	TP6	1,500,001	3,000,000		2.50
	TP7	3,000,001	5,000,000		2.50
	TP8	5,000,001	7,500,000		2.50
	TP9	7,500,001	10,000,000		2.50
	TP10	10,000,001	12,500,000		2.50
	TP11	12,500,001	15,000,000		2.50
	TP12	15,000,001	20,000,000		3.00
	TP13	20,000,001	25,000,000		3.00
	TP14	25,000,001	30,000,000		3.00
	TP15		> 30,000,000		3.00

Fuente: Manual de Carreteras (2014)

Para el tipo de tráfico TP7, el índice de serviabilidad inicial es igual a 4.00.

– Ecuación de diseño

Usando la ecuación básica propuesta por la metodología AASHTO 1993, se tuvo el número estructural requerido para el pavimento sin reforzar.

Tabla N° 30.

Valores número estructural requerido

CBR	SNr
3.63	4.665
2.6	5.024

Fuente: Elaboración propia (2021)

– Coeficiente de Capa (ai)

Se utilizó los coeficientes de capa (ai) para el pavimento establecidos en el estudio definitivo del proyecto.

Tabla N° 31.

Coefficientes Estructurales por Capa

Capa del pavimento	Coefficiente de capa (ai)
Carpeta Asfáltica	0.43
Base	0.14
Sub Base	0.12

Fuente: Gobierno Regional de Puno

– Drenaje

En el caso de la vía presenta un buen drenaje. Por consiguiente, el valor mi tanto para la Base Granular como para la Sub-Base Granular será de 1.00.

– Número estructural propuesto

Mediante la ecuación (X) se determinaron los espesores efectivos de cada capa de pavimento.

Tabla N° 32.

Valores de espesores finales

CBR	ESP. FINALES (cm)			SN _{REQU.}	SN _{ADOP.}
	MAC	B.G.	S.B.G.		
3.63	9	27	36	4.665	4.669
2.60	9	34	36	5.024	5.033

Fuente: Elaboración propia (2021)

6.4 Selección de geosintético

La selección del geosintético más apropiado se determinó a partir de la función que se desea desempeñar. Asimismo, de las propiedades que pueda otorgar el tipo de geosintético de acuerdo a las características geotécnicas del proyecto, como son el valor de CBR y el tamaño de partículas.

6.4.1 Guía del Departamento de Transporte de California

Según el Departamento de Transporte de California (2013) para la aplicación de esta guía se debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Las geomallas tienen una mejor aplicación para subrasantes con valor de $CBR < 3.5$. Para valores de CBR entre 3.5 a 6.5, el diseñador deberá considerar utilizar geomallas como reforzamiento de la capa base.
- Los geotextiles tienen una mejor aplicación para valores de $CBR < 3$. Si el valor de CBR se encuentra entre 3 a 6.5, el diseñador deberá considerar utilizar geotextiles en función de separación.
- Para subrasantes muy blandas ($CBR < 2$) será necesario colocar una capa inicial fina (6 pulgadas mínimas) de subbase o material de la capa base en la parte superior del geosintético para puentear eficazmente los suelos blandos y evitar la falla de la capacidad de soporte debido a la carga del tránsito de construcción.
- El uso de geomallas no es recomendable en casos donde el material de la capa granular no sigue los siguientes criterios (Federal Highway Administration, 2008):
 - $D_{15}(\text{agregado base}) / D_{85}(\text{subrasante}) \leq 5$ y $D_{50}(\text{agregado base}) / D_{50}(\text{subrasante}) \leq 25$.
 - D_{15} , D_{85} y D_{50} son los tamaños del grano de las partículas del suelo en función del porcentaje que pasa en el acumulado de la granulometría.
- Si el agregado de la capa granular no cumple con esas condiciones, se recomienda usar geotextiles que cumplen los requisitos de separación y estabilización.
- No usar geosintéticos para subrasantes con $CBR > 6.5$ debido a que no es necesario la estabilización de la subrasante y su aplicación no aportará ningún beneficio significativo al pavimento.

La Figura N°42 muestra un diagrama de flujo para ayudar a escoger el tipo de geotextil y geomalla.

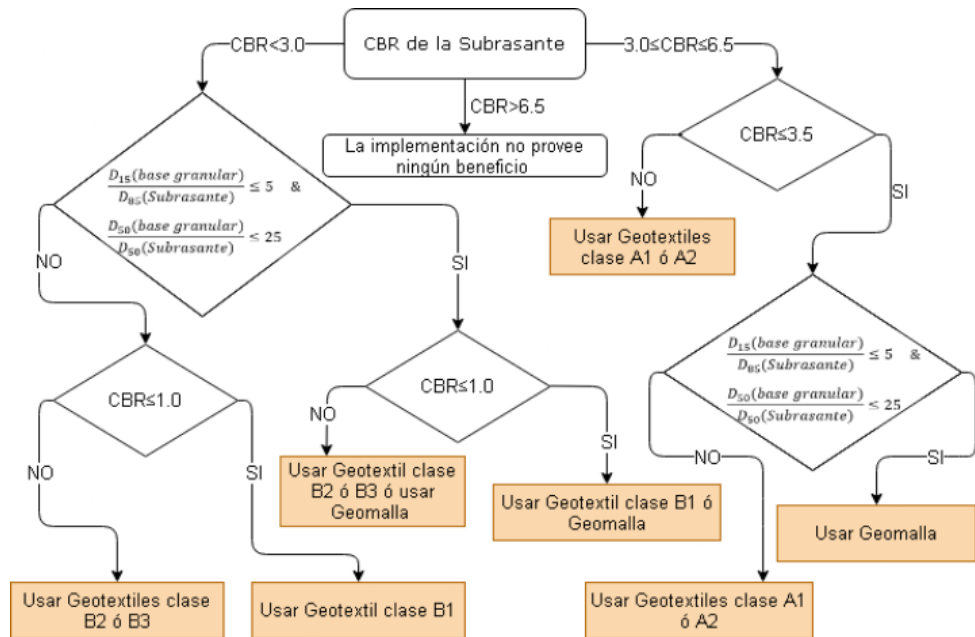


Figura N°42: Diagrama de flujo para la selección apropiada del geosintético

Fuente: Departamento de Transporte de California (2013)

Donde los tipos de los geotextiles y las geomallas se presentan en las siguientes tablas con valores requeridos mínimos.

Tabla N° 33.

Requisitos de las propiedades del geotextil para la mejora de la subrasante (SEGT)

Propiedades	Métodos de ensayo	Aplicación de Separación		Aplicación de Estabilidad		
		Caltrans Clase A1 Tejido	Caltrans Clase A2 No Tejido	Caltrans Clase B1 Tejido	Caltrans Clase B2 Tejido	Caltrans Clase B3 No Tejido
Elongación a la rotura, %. (min)	ASTM D4632	< 50	≥ 50	< 50	< 50	≥ 50
Resistencia a la rotura de agarre (min), N	ASTM D4632	1112,06	711,715	-	1423,43	889,644
Resistencia a la tensión por el método de tira ancha (min) al 5%, kN/m	ASTM D4595	-	-	2.711,64	-	-
Resistencia a la	ASTM	-	-	6.507,93	-	-

tensión por el método de tira ancha (min) a la tensión última, kN/m	D4595						
Resistencia al desgarro trapezoidal (min), N	ASTM D4533	400,34	266,893	-	533,787	355,858	
Resistencia a la Perforación (min), N	ASTM D6241	2224,11	1378,95	2757,9	2757,9	1912,74	
Permitividad (min), s-1	ASTM D4491	0,05	0,05	0,2	0,2	0,2	
Tamaño de apertura aparente (máx.), cm	ASTM D4751	0,03048	0,03048	0,06096	0,03048	0,03048	
Estabilidad ultravioleta (resistencia retenida después de 500 horas de exposición) (min), %.	ASTM D4355	70	70	70	70	70	

Fuente: Departamento de Transporte de California (2013)

Tabla N° 34.

Requisitos de las propiedades de geomalla para la mejora de la subrasante (SEGG)

Propiedades	Métodos de ensayo	Valor
Tamaño de apertura (Min y Max)	Calibrado	20.30- 33.02/25.4 -40.64
Espesor de las costillas mínima (mm)	Calibrado	1.016
Espesor de la junta mínima (mm)	Calibrado	3.81
Capacidad a la Tensión al 2% de elongación (kN/m) SL/ST	ASTM D 6637	5.18 x 9.05
Resistencia última a la tensión (kN/m) SL/ST	ASTM D 6637	19.12/28.75
Resistencia a la Degradación por rayos UV (%)	ASTM D 4355	100

Esfuerzo de Tensión en la Junta (kN/m)	ASTM D 7737	17.80/26.71
Rigidez global a la flexión (mg-cm)	ASTM D 7748	750000
Rigidez de torsión a 20 cm-kg	GRI:GG9	0.65

Fuente: Departamento de Transporte de California (2013)

Siguiendo el diagrama, para el valor de CBR igual a 2.60 y 3.63 van por los extremos, continuando con la caracterización del tamaño de partículas de la base granular y la subrasante. Para ello, la granulometría se tiene en la siguiente tabla.

Tabla N° 35.

Porcentaje acumulado de la granulometría que pasan

Calicata	Muestra	Clasif. (SUCS)	Prof. (m)	% que pasa						
				3/4	3/8	N° tamiz				
						4	10	40	140	200
C-52	M4	ML	1.5-2.0	100	100	100	98.5	86.1	67.2	56.2
C-54	M2	CL	0.4-1.9	100	100	95.1	90.5	81.3	64.4	56.7
C-55	M2	ML	0.5-1.7	100	100	100	91.8	70.5	58.2	52.5
C-56	M2	CL	0.6-2.0	100	96.7	93.4	76.8	58	54.1	51.4

Fuente: Elaboración propia (2021)

De los porcentajes que pasan según el tamiz se obtienen los tamaños de partículas en función del porcentaje que pasa el material por los tamices (tabla 36).

Tabla N° 36.

Tamaño de partículas de las calicatas para D15, D50 y D85

Calicata	Subrasante		Base Granular	
	D85	D50	D15	D50
C-52	0.406	0.057		
C-54	1.058	0.047		
C-55	1.497	0.06	1.921	25.32
C-56	3.358	0.058		

Fuente: Elaboración propia (2021)

Luego, se utilizan las siguientes expresiones para la selección del geosintético y su tipo. Los resultados se presentan en la Tabla N° 37.

$$\frac{D15 \text{ (base granular)}}{D85 \text{ (Subrasante)}} \leq 5 \quad (5)$$

$$\frac{D50 \text{ (base granular)}}{D50 \text{ (Subrasante)}} \leq 25 \quad (6)$$

Tabla N° 37.

Selección de geosintético según tamaño de partículas de las calicatas

Calicata	De	Hasta	$\frac{D15_{BG}}{D85_s} \leq 5$	$\frac{D50_{BG}}{D50_s} \leq 25$	Geosintético
C-52	12+580	12+760	4.727	447.943	Geotextiles clase A1 o A2
C-54	13+180	13+315	1.815	538.447	Geotextiles clase B2 o B3
C-55	13+315	13+330	1.283	419.198	
C-56	13+730	13+820	0.572	437.127	Geotextiles clase B2 o B3

Fuente: Elaboración propia (2021)

En la presente investigación se escogieron los siguientes geotextiles que cumplen con las características mínimas.

Tabla N° 38.

Características de los geotextiles escogidos

Propiedades	Métodos de ensayo	Geotextil FORTEX		
		BX 60	BX 90	BX 130
Elongación a la rotura, %. (min)	ASTM D4632	9	9	9
Resistencia a la rotura de agarre (min), N	ASTM D4632	3160/3040	4160/4040	5040/5050
Resistencia a la tensión por el método de tira ancha (min) al 5%, kN/m	ASTM D4595	40/40	57/52	58/62
Resistencia a la tensión por el método de tira ancha (min) a la tensión última, kN/m	ASTM D4595	86/84	119/114	134/139
Resistencia al desgarro trapezoidal (min), N	ASTM D4533	1010/930	1400/1240	2010/1770
Resistencia a la Perforación (min), N	ASTM D6241	9760	12470	14220
Permitividad (min), s-1	ASTM D4491	1.035	0.671	0.282
Tamaño de apertura aparente (máx.), cm	ASTM D4751	0.300	0.300	0.212

Estabilidad ultravioleta				
(resistencia retenida después de 500 horas de exposición) (min), %.	ASTM D4355	>50	>50	>50

Fuente: Geomatrix (2020)

6.4.2 Guía de diseño de la Administración Federal de Carreteras (FHWA)

En esta guía se utiliza el diseño de pavimentos permanentes usando geomallas para estabilizar la subrasante. El diseño se basa en la metodología AASHTO 1993 en el que se incluye la contribución estructural que ofrece la geomalla al pavimento mediante factores que se derivan de datos empíricos, como son: Relación beneficio-tráfico (Traffic Benefit Ratio-TBR), Factor de reducción de la capa base (Base Course Reduction Factor-BCR) y Coeficiente de capa (Layer Coefficient Ratio-LCR) (FHWA, 2008). Por otro lado, se presenta una revisión cualitativa de la aplicación de geosintéticos para su aplicación en función de refuerzo (Tabla N° 39).

Tabla N° 39.

Revisión cualitativa de la aplicación de refuerzo en carreteras pavimentadas permanentes

Condiciones de diseño de la carretera		Tipo de geosintético					
Subrasante	Espesor de Base / Subbase ¹ (mm)	Geotextil (GT)		Geomalla (GG) ²		GG-GT Compuesto	
		No Tejido	Tejido	Extruída	De punto o Tejido	Base graduada expuesto ³	Base bien graduada
Blanda (CBR < 3) (M _R < 30 Mpa)	150-300	④	●	●	□	●	⑤
	>300	④		◐	◐	◐	⑤
Firme - Muy Rígido (3 ≤ CBR ≤ 8) (30 ≤ M _R ≤ 80)	150-300	○	◐	◐	□	●	⑤
	>300	○	○	○	○	○	○

Leyenda: ● - Usualmente aplicable
○ - Usualmente No aplicable
④ - Ver notas
□ - Aplicable para algunas condiciones
◐ - Información insuficiente hasta el momento

1. El espesor total de la base o subbase con refuerzo geosintético. El refuerzo puede colocarse en la parte inferior de la base o subbase, o dentro de la base para espesores mayores (normalmente > 12 in {300 mm}). Los espesores inferiores a 6 pulg. (150 mm) no se recomiendan para la construcción sobre subsuelos blandos. La colocación de menos de 6 pulg. (150 mm) sobre un geosintético no se recomienda.
2. En el caso de bases abiertas o bases delgadas sobre subrasantes húmedos y de grano fino, debe considerarse la posibilidad de utilizar un geotextil de separación con refuerzo de geomalla.
3. Posiblemente asuma una base colocada directamente sobre el subsuelo. Una subbase también puede proporcionar filtración.
4. El refuerzo suele ser aplicable, pero normalmente se aborda como estabilización de la subrasante.
5. Es probable que el componente geotextil del compuesto no sea necesario para la filtración con una capa base bien graduada, por lo que el refuerzo compuesto no suele ser aplicable.

Fuente: FHWA (2008)

Para la presente investigación se utilizarán espesores entre 15 y 30 centímetros para la subbase, de manera que el uso de geomallas extruidas se aplique como una aplicación usual. Además, se empleará el método de Coeficiente de capa (LCR) mediante tablas que se basan de ensayos realizados con las geomallas. A continuación, se usarán las siguientes geomallas.

Tabla N° 40.

Propiedades de las geomallas McGrid EG 20S, EG 30S y EG 40S

Propiedades	Métodos de ensayo	Geomalla		
		MacGrid EG 20S	MacGrid EG 30S	MacGrid EG 40S
Resistencia a la tracción a 2% de elongación, kN/m.	ASTM D6637	7	10.5	14
Resistencia a la tracción a 5% de elongación, kN/m.	ASTM D6637	14	21	28
Resistencia a la tracción última, kN/m.	ASTM D6637	20	30	40
Elongación a la rotura última, %. (min)	ASTM D6637	13	13	13
Eficiencia de unión, %.	GRI GG2	93	93	93

Rigidez a la flexión, mg-cm.	ASTM D7748	750,000	750,000	750,000
Estabilidad de apertura, m-N/deg.	COE método	0.50	0.75	0.98

Fuente: Maccaferri (2017)

6.5 Diseño del pavimento flexible aplicando geomallas

Para el diseño del pavimento con geomalla se siguió la metodología propuesta en la norma AASHTO 50-09 el cual incluye el uso de geomalla para el diseño estructural.

6.5.1 Relación del Coeficiente de Capa (LCR)

Es un coeficiente que cuantifica el aporte estructural a la estructura de un pavimento. Este factor se define como la relación del coeficiente de capa de la capa granular reforzada y el coeficiente de la capa granular sin reforzar. El coeficiente LCR puede ser estimado basándose en la ecuación propuesta por Giroud Y Han (2013), donde MIF (Factor de Mejora del Módulo) el cual es definido como la relación entre el módulo de reacción de la subrasante reforzada y el módulo de reacción de la subrasante sin reforzar o la relación del módulo de elasticidad de la subrasante reforzada y el módulo de elasticidad de la subrasante sin reforzar. Asimismo, el valor del MIF se encuentra entre los valores de 1.00 a 2.00, el LCR se definida por la siguiente ecuación:

$$LCR = \frac{0.249 \log_{10}(MIF \cdot E_{bc}/0.0069) - 0.977}{0.249 \log_{10}(E_{bc}/0.0069) - 0.977} \quad (7)$$

Por otro lado, se puede obtener este valor LCR mediante estudios realizados en laboratorio incorporando la geomalla en la muestra ensayada.

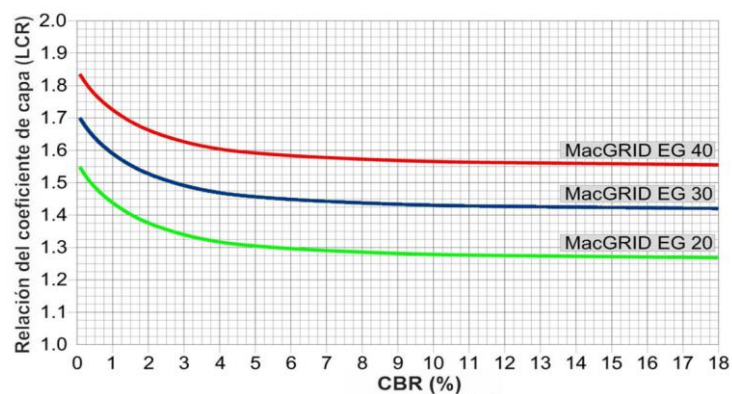


Figura N°43: Coeficiente LCR según geomalla

Fuente: Maccaferri (2018)

Del gráfico se obtuvo los siguientes valores de LCR:

- Para CBR = 3.63:

Tabla N° 41.

Valores LCR para CBR=3.63

Geomalla	LCR
McGrid EG 20	1.31
McGrid EG 30	1.46
McGrid EG 40	1.61

Fuente: Elaboración propia (2021)

- Para CBR = 2.60:

Tabla N° 42.

Valores LCR para CBR=2.60

Geomalla	LCR
McGrid EG 20	1.31
McGrid EG 30	1.46
McGrid EG 40	1.61

Fuente: Elaboración propia (2021)

Mediante la siguiente ecuación se obtuvo los siguientes valores de SN:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 * LCR \quad (8)$$

- Para CBR = 3.63: (SN requerido= 4.669)

- Para McGrid EG 20S:

Tabla N° 43.

Espesores finales con geomalla McGrid EG 20S para CBR=3.63

Capa	Espesor	cm	ai	mi	SN
Carpeta Asfáltica	D1	9	0.43	-	1.505
Base	D2	27	0.14	1	1.484
Sub Base	D3	28	0.12	1	1.682
SN diseño=					4.671

Fuente: Elaboración propia (2021)

- Para McGrid EG 30S:

Tabla N° 44.

Espesores finales con geomalla McGrid EG 30S para CBR=3.63

Capa	Espesor	cm	ai	mi	SN
------	---------	----	----	----	----

Carpeta Asfáltica	D1	9	0.43	-	1.505
Base	D2	26	0.14	1	1.400
Sub Base	D3	26	0.12	1	1.770
SN diseño=					4.850

Fuente: Elaboración propia (2021)

○ Para McGrid EG 40S:

Tabla N° 45.

Espesores finales con geomalla McGrid EG 40S para CBR=3.63

Capa	Espesor	cm	ai	mi	SN
Carpeta Asfáltica	D1	9	0.43	-	1.505
Base	D2	26	0.14	1	1.400
Sub Base	D3	26	0.12	1	1.770
SN diseño=					4.850

Fuente: Elaboración propia (2021)

– Para CBR = 2.60: (SN requerido= 5.033)

○ Para McGrid EG 20S:

Tabla N° 46.

Espesores finales con geomalla McGrid EG 20S para CBR=2.60

Capa	Espesor	cm	ai	mi	SN
Carpeta Asfáltica	D1	9	0.43	-	1.505
Base	D2	30	0.14	1	1.624
Sub Base	D3	30	0.12	1	1.897
SN diseño=					5.026

Fuente: Elaboración propia (2021)

○ Para McGrid EG 30S:

Tabla N° 47.

Espesores finales con geomalla McGrid EG 30S para CBR=2.60

Capa	Espesor	cm	ai	mi	SN
Carpeta Asfáltica	D1	9	0.43	-	1.505
Base	D2	28	0.14	1	1.540
Sub Base	D3	29	0.12	1	1.985
SN diseño=					5.030

Fuente: Elaboración propia (2021)

- Para McGrid EG 40S:

Tabla N° 48.

Espesores finales con geomalla McGrid EG 40S para CBR=2.60

Capa	Espesor	cm	ai	mi	SN
Carpeta Asfáltica	D1	9	0.43	-	1.505
Base	D2	27	0.14	1	1.470
Sub Base	D3	27	0.12	1	2.054
SN diseño=					5.029

Fuente: Elaboración propia (2021)

6.6 Diseño del pavimento flexible aplicando geotextiles

El diseño de pavimento con geotextiles se utiliza el método racional, el cual busca analizar cómo los esfuerzos y deformaciones influyen en el comportamiento estructural de la vía. Para los cálculos de esfuerzos y deformaciones se empleó el programa Depav, que requiere datos de entrada como son la carga de diseño, la presión de contacto, propiedades y espesores de las capas de pavimento. Luego, se comparan los resultados obtenidos con valores que admite el pavimento durante su vida útil.

6.6.1 Datos de entrada

- Radio de carga: 10.80 cm
- Presión de contacto: 5.60 kg/cm²
- Distanciamiento entre ruedas: 32.40 cm
- Espesor de capa (cm)
- Módulo de elasticidad de cada capa (Kg/cm²)
- Relación de Poisson entre capas
- Si la interfaz de capas está ligada

6.6.2 Valores admisibles

- Número de ejes equivalentes

Se tomó del estudio de tránsito que está presente en el estudio definitivo del proyecto. Para el presente estudio se utilizará el valor de:

$$N_e = 3.74 \times 10^6 EE \quad (9)$$

– Deformación específica por tracción

Se produce en las capas asfálticas debido a las cargas de tránsito que tienen contacto directo con la capa de rodadura y puede generar agrietamientos. Para determinar la deformación admisible se utiliza la siguiente ecuación.

$$Et_{adm} = 0.00389 \times Ne^{-0.1626} \quad (10)$$

$$Et_{adm} = 3.32 \times 10^{-4} \quad (11)$$

– Esfuerzo de compresión

Es el esfuerzo vertical que se transmiten hacia las capas del pavimento hasta la subrasante. Si el esfuerzo es mayor al admisible, se generan ahuellamientos en la vía. Para el cálculo de este esfuerzo se utiliza el criterio de la CRR Bélgica:

$$\sigma_z = \frac{0.07 * Esr}{1 + 0.7 \log Ne}, Esr = 100 * CBR [Kg/cm^2] \quad (12)$$

$$Esr_1 = 363 Kg/cm^2 \rightarrow \sigma_{z1} = 4.54 Kg/cm^2 \quad (13)$$

$$Esr_2 = 260 Kg/cm^2 \rightarrow \sigma_{z2} = 3.25 Kg/cm^2 \quad (14)$$

– Deformación específica por compresión

Es la deformación vertical que se genera en la subrasante debido a las cargas de tránsito. El valor admisible se calcula con la ecuación de la empresa Shell (1985):

$$Ez_{adm} = 2.8 \times 10^{-2} Ne^{-0.25} \quad (15)$$

$$Ez_{adm} = 8.64 \times 10^{-4} \quad (16)$$

6.6.3 Elasticidad de las capas de pavimento

El cálculo de las elasticidades de las capas de pavimento se obtiene en función de espesores supuestos y el módulo de la capa inferior que mediante la ecuación propuesta por Dormon & Metcalf (1965) se tiene la siguiente expresión:

$$E_{Capa Granular} = 0.206 h^{0.45} E_{capa inferior}, h [mm] \quad (17)$$

El diseño usará los espesores obtenidos en el diseño de pavimento no reforzado:

Para CBR=3.63 → SubBase = 360 mm, Base = 270 mm y Carpeta asfáltica (CA)= 90 mm.

$$E_{Subrasante} = 363 \text{ Kg/cm}^2 \quad (18)$$

$$E_{SubBase} = 1095.85 \text{ Kg/cm}^2 \quad (19)$$

$$E_{Base} = 2708.28 \text{ Kg/cm}^2 \quad (20)$$

$$E_{CA} = 450000 \text{ psi} = 31638.13 \text{ Kg/cm}^2 \quad (21)$$

Para CBR=2.60 → SubBase = 360 mm, Base = 340 mm y Carpeta asfáltica = 90 mm.

$$E_{Subrasante} = 260 \text{ Kg/cm}^2 \quad (22)$$

$$E_{SubBase} = 784.91 \text{ Kg/cm}^2 \quad (23)$$

$$E_{Base} = 2167.73 \text{ Kg/cm}^2 \quad (24)$$

$$E_{CA} = 450000 \text{ psi} = 31638.13 \text{ Kg/cm}^2 \quad (25)$$

6.6.4 Relación de Poisson

Para el diseño se consideró valores recomendados (Tabla N° 49) para cada capa de pavimento: carpeta asfáltica 0.3, base y subbase 0.40 y para la subrasante 0.50.

Tabla N° 49.

Coefficientes de Poisson

Material de pavimento	Coefficiente de Poisson (μ) Sugerido
Mezcla asfáltica	0.25 – 0.40
Base o sub base granular no ligada	0.30 – 0.40
Base o sub base estabilizada químicamente	0.20 - 0.35
Macizo semi infinito (subrasante)	0.25 - 0.50

Fuente: Martínez (2016)

6.6.5 DEPAV

El cálculo de esfuerzos y deformaciones máximas que se producen en la estructura de pavimento se realiza mediante el software DEPAV para luego ser comparado con los valores admisibles.



Figura N°44: Software DEPAV

Fuente: Instituto de Vías de la Universidad del Cauca (1994)

Este software requiere de parámetros de los materiales del pavimento para iniciar el cálculo, que son especificados en la introducción del software con sus unidades de trabajo, tal como se muestra en la Figura N°45.

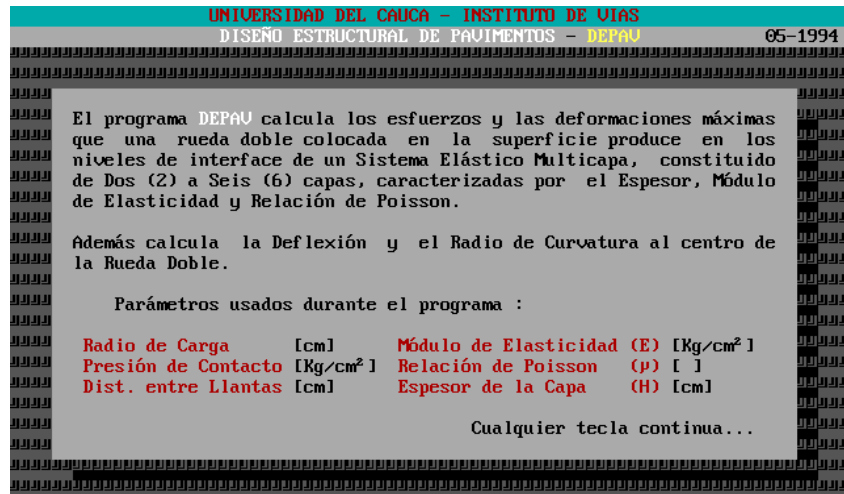


Figura N°45: Parámetros de inicio para el software DEPAV

Fuente: Instituto de Vías de la Universidad del Cauca (1994)

Antes de ingresar los datos de entrada, es necesario configurar el código y título del trabajo (Figura N°46). Por lo tanto, se ingresa a la primera opción del panel principal donde debe llenarse cada ítem (Figura N°47).

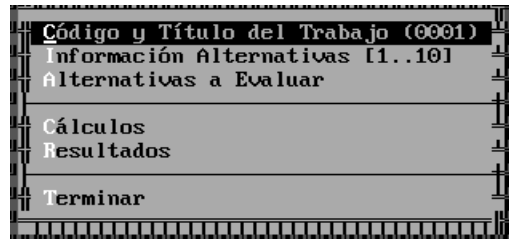


Figura N°46: Panel principal del software DEPAV

Fuente: Elaboración propia utilizando software DEPAV (2021)



Figura N°47: Código y Título del trabajo del software DEPAV

Fuente: Elaboración propia utilizando software DEPAV (2021)

Después, se puede ingresar los parámetros del pavimento ingresando a la segunda opción donde se desplegará otra lista en que se puede escoger la alternativa que llevará los datos de entrada (Figura N°48). En cada alternativa se ingresan los datos correspondientes y con las unidades especificadas (Figura N°49). En este caso se usarán los datos del pavimento con CBR igual a 3.63.

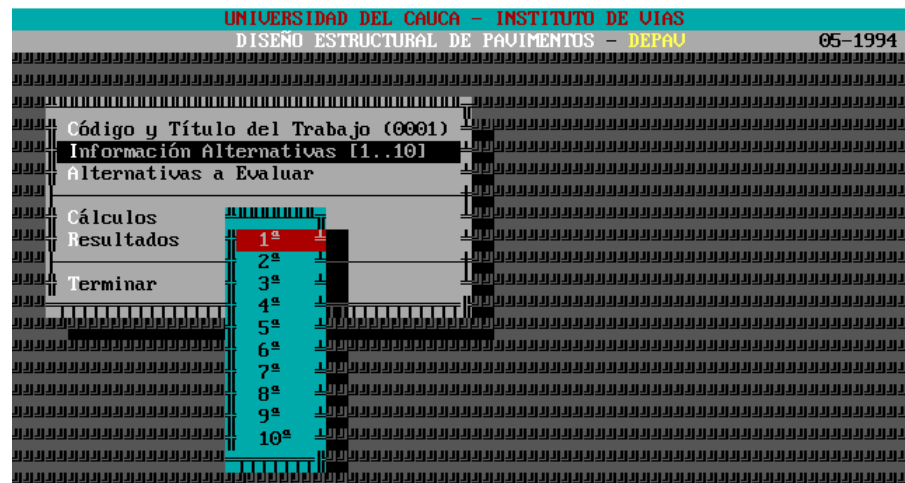


Figura N°48: Alternativas para el ingreso de datos en el software DEPAV

Fuente: Elaboración propia utilizando software DEPAV (2021)

Número de Capas [2..6]		4		
Radio de Carga [cm]		10.80		
Presión de Contacto [Kg/cm ²]		5.6		
Distancia Entre Ejes de Llantas [cm]		32.4		
Capas	E [Kg/cm ²]	μ []	H [cm]	Ligada ó No
1 ^a	31638.13	0.30	9	L
2 ^a	2704.52	0.40	27	N
3 ^a	1057.09	0.40	36	N
4 ^a	363	0.50		
5 ^a				
6 ^a				

Figura N°49: Ingreso de datos en el software DEPAV

Fuente: Elaboración propia utilizando software DEPAV (2021)

Posteriormente, se especifican las alternativas que se harán los cálculos. Por lo que en su número correspondiente se le asigna la letra “S”; mientras que las demás, la letra “N” (Figura N°50).

UNIVERSIDAD DEL CAUCA - INSTITUTO DE VIAS		05-1994
DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS - DEPAV		
Código y Título del Trabajo (0001)		
Información Alternativas		
Alternativas a Evaluar	S/N	
Cálculos	1 ^a	S
Resultados	2 ^a	N
	3 ^a	N
	4 ^a	N
	5 ^a	N
	6 ^a	N
	7 ^a	N
	8 ^a	N
	9 ^a	N
	10 ^a	N

Escriba S ó N si se quiere o no evaluar la alternativa

Figura N°50: Elección de alternativas a evaluar en el software DEPAV

Fuente: Elaboración propia utilizando software DEPAV (2021)

Seguidamente, se selecciona la opción “cálculos” del panel principal, donde pedirá la confirmación del proceso en el que se escribe la letra “s” para continuar (Figura N°51). Se esperará algunos segundos para revisar los resultados (Figura N°52).



Figura N°51: Confirmación del proceso de cálculos en el software DEPAV

Fuente: Elaboración propia utilizando software DEPAV (2021)



Figura N°52: Proceso de análisis en el software DEPAV

Fuente: Elaboración propia utilizando software DEPAV (2021)

Finalmente, volverá al panel principal donde se escoge la opción de “resultados” para luego seleccionar la opción calculada (Figura N°53). Después, se verificará los valores obtenidos por el software con los valores admisibles, de modo que no sean superados (Figura N°54 y N° 55).

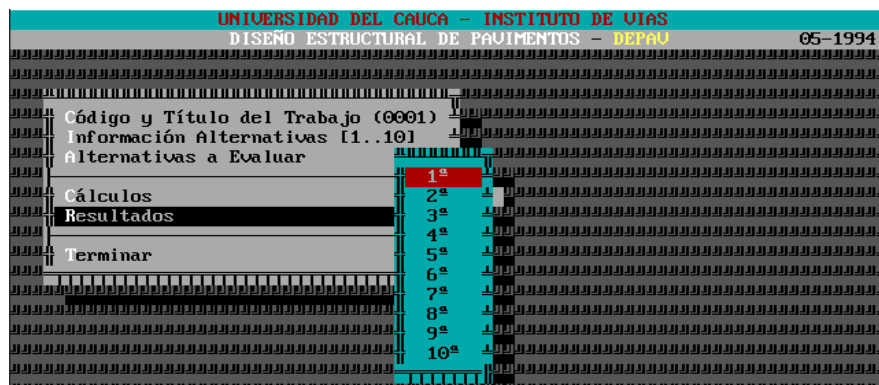


Figura N°53: Proceso de resultados en el software DEPAV

Fuente: Elaboración propia utilizando software DEPAV (2021)

Título del Trabajo : GEOTEXTIL					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1ª	0.00	3.2000E-04 B	1.5907E+01 B	-1.4000E-04 C	5.5982E+00 A
	9.00	-2.6800E-04 B	-1.0401E+01 B	2.4300E-04 B	2.0292E+00 B
2ª	9.00	-2.6800E-04 B	2.5798E-01 A	6.5400E-04 B	2.0292E+00 B
	36.00	-4.4600E-04 C	-1.5907E+00 C	5.9800E-04 C	4.2827E-01 C
3ª	36.00	1.4300E-04 C	5.2413E-01 C	1.8100E-05 A	4.2827E-01 C
	72.00	-2.7800E-04 C	-3.1713E-01 C	4.5000E-04 C	2.3249E-01 C
Deflexión =		82.910 mm/100			
Radio de Curvatura =		139.370 m			

Figura N°54: Resultados obtenidos en el software DEPAV

Fuente: Elaboración propia utilizando software DEPAV (2021)

Título del Trabajo : GEOTEXTIL					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
4ª	72.00	-7.8000E-20 C	2.3249E-01 C	-7.8000E-20 C	2.3249E-01 C
5ª					
6ª					
Deflexión =		82.910 mm/100			
Radio de Curvatura =		139.370 m			

Figura N°55: Continuación de los resultados obtenidos en el software DEPAV

Fuente: Instituto de Vías de la Universidad del Cauca (1994)

6.6.6 Resultados obtenidos por el método racional

Para la comparación de los resultados obtenidos se identifican los valores finales que serán comparados y deberán ser inferiores con los datos admisibles (Figuras N°56 y N° 57).

Título del Trabajo : GEOTEXTIL					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1ª	0.00	3.2000E-04 B	1.5907E+01 B	-1.4000E-04 C	5.5982E+00 A
	9.00	-2.6800E-04 B	-1.0401E+01 B	2.4300E-04 B	2.0292E+00 B
2ª	9.00	-2.6800E-04 B	2.5798E-01 A	6.5400E-04 B	2.0292E+00 B
	36.00	-4.4600E-04 C	-1.5907E+00 C	5.9800E-04 C	4.2827E-01 C
3ª	36.00	1.4300E-04 C	5.2413E-01 C	1.8100E-05 A	4.2827E-01 C
	72.00	-2.7800E-04 C	-3.1713E-01 C	4.5000E-04 C	2.3249E-01 C
Deflexión =		82.910 mm/100			
Radio de Curvatura =		139.370 m			

Figura N°56: Determinación de los resultados obtenidos en el software DEPAV

Fuente: Elaboración propia utilizando software DEPAV (2021)

Título del Trabajo : GEOTEXTIL					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
4ª	72.00	-7.8000E-20 C	2.3249E-01 C	-7.8000E-20 C	2.3249E-01 C
5ª					
6ª					
Deflexión =		82.910 mm/100			
Radio de Curvatura =		139.370 m			

Figura N°57: Continuación de la determinación de los resultados obtenidos en el software DEPAV

Fuente: Elaboración propia utilizando software DEPAV (2021)

De esta manera se repitió el proceso para los espesores iniciales del pavimento con CBR igual a 2.60. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 50.

Resultados obtenidos por el software DEPAV

	DEPAV		Admisibles
	CBR=3.63	CBR=2.60	
Deformación por tracción (Et)	-2.68×10^{-04}	-2.93×10^{-04}	3.32×10^{-04}
Esfuerzo de compresión (σ_z)	2.3249×10^{-01}	1.7539×10^{-01}	4.54
Deformación por compresión (Ez)	-7.8×10^{-20}	-5.44×10^{-20}	8.64×10^{-4}

Fuente: Martínez (2016)

Luego, el esfuerzo por compresión obtenido mediante el software se usará para determinar los geotextiles que cumplan con la tensión requerida que se genera en la interfaz de subbase y subrasante.

$$\sigma_{z1} = 2.32 \times 10^{-01} \text{Kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_{z1} = 22.80 \text{ kN/m}^2 \quad (26)$$

$$\sigma_{z2} = 1.75 \times 10^{-01} \text{Kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_{z2} = 17.20 \text{ kN/m}^2 \quad (27)$$

Este esfuerzo se distribuye en forma horizontal, en un área plana obteniéndose lo siguiente.

$$22.80 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 22.80 \text{ kN/m} \quad (28)$$

$$17.20 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 17.20 \text{ kN/m} \quad (29)$$

$$T_{requerida 1} = 22.80 \text{ kN/m} \quad (30)$$

$$T_{requerida 2} = 17.20 \text{ kN/m} \quad (31)$$

Por consiguiente, se escogieron 3 geotextiles que estén próximos a la tensión requerida y sean mayores en magnitud. Además, que cumplan con las especificaciones mínimas especificadas en la metodología para la selección de geotextil.

Tabla N° 51.

Especificaciones técnicas de los geotextiles tejidos

Geotextil Tejido	FORTEX	FORTEX	FORTEX
	BX 60	BX 90	BX 130
T _{ult} TD (kN/m)	84,00	114,00	139,00
Factor de reducción por creep (RF _{cr})	1,58	1,58	1,58
Factor de reducción por durabilidad (RF _d)	1,15	1,15	1,15
Factor de reducción por daños durante la instalación (RF _{id})	1,80	1,80	1,80

Fuente: Geomatrix (2020)

Las fichas técnicas mencionan factores de reducción que consideran los daños que puedan producirse debido a la instalación, ataques químicos y por fluencia. Por consiguiente, se aplica la siguiente ecuación.

$$T_{disponible} = \frac{T_{\text{último}}}{RF_{CR} \times RF_D \times RF_{ID}} \quad [kN/m] \quad (32)$$

Tabla N° 52.

Tensión disponible de los geotextiles tejidos

	FORTEX BX 60	FORTEX BX 90	FORTEX BX 130
T _{disponible}	25.68	34.86	42.5

Fuente: Geomatrix (2021)

Con el fin de asegurar que los geotextiles mantengan la resistencia mecánica en la estructura de pavimento, se debe cumplir un factor de seguridad global (ecuación 33).

$$FS_{global} = \frac{T_{disponible}}{T_{requerida}} > 1.3 \quad (33)$$

Tabla N° 53.

Factores de seguridad global de los geotextiles tejidos

	CBR=3.63	CBR=2.60
FORTEX BX 60	1.13	1.49
FORTEX BX 90	1.53	2.03
FORTEX BX 130	1.86	2.47

Fuente: Elaboración propia (2021)

En algunos casos el factor de seguridad global es mucho mayor al mínimo, esto se debe a los espesores de pavimento utilizados, que al ser de un espesor ancho, reciben gran parte de los esfuerzos producidos por la carga de tránsito. Esto quiere decir que los geotextiles aportan poco a la resistencia mecánica de la estructura ya que el esfuerzo de compresión que llega a la subrasante es escaso. Por lo tanto, se reducirán los espesores de las capas de pavimento de manera que se cumplan las condiciones y el geotextil pueda brindar mayor soporte.

– Segunda iteración:

Tabla N° 54.

Segunda iteración de espesores de capas de pavimento

Capa de pavimento	Segunda Iteración			
	CBR=3.63		CBR=2.60	
	D (cm)	E (Kg/cm ²)	D (cm)	E (Kg/cm ²)
Carpeta asfáltica	9	31638.13	9	31638.13
Base	32	2882.63	32	2010.74
Subbase	35	1043.77	33	728.07

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N° 55.

Esfuerzos y deformaciones obtenidos por el software DEPAV para CBR=3.63

	CBR=3.63	
	Esfuerzos Admisibles	DEPAV
Deformación por tracción (Et)	3.3205E-04	-2.47E-04
Esfuerzo de compresión (σ_z)	4.54	1.9782E-01
Deformación por compresión (Ez)	8.64E-04	1.17E-19

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N° 56.

Esfuerzos y deformaciones obtenidos por el software DEPAV para CBR=2.60

	CBR=2.60	
	Esfuerzos Admisibles	DEPAV
Deformación por tracción (Et)	3.3205E-04	-3.10E-04
Esfuerzo de compresión (σ_z)	4.54	1.9680E-01
Deformación por compresión (Ez)	8.64E-04	5.44E-20

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N° 57.

Geotextiles escogidos en la segunda iteración

	CBR=3.63	CBR=2.60
	FORTEX BX 60	FORTEX BX 60
Treq (kN/m)	19.4	19.3
Tdip (kN/m)	25.68	25.68
FS (>1.3)	1.32	1.33

Fuente: Elaboración propia (2021)

– Tercera iteración:

Tabla N° 58.

Tercera iteración de espesores de capas de pavimento

Capa de pavimento	Tercera Iteración			
	CBR=3.63		CBR=2.60	
	D (cm)	E (Kg/cm ²)	D (cm)	E (Kg/cm ²)
Carpeta asfáltica	9	31638.13	9	31638.13
Base	26	2449.53	25	1697.7
Subbase	30	973.82	29	686.94

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N° 59.

Esfuerzos y deformaciones obtenidos por el software DEPAV para CBR=3.63

	CBR=3.63	
	Esfuerzos Admisibles	DEPAV
Deformación por tracción (Et)	3.3205E-04	-2.89E-04
Esfuerzo de compresión (σ_z)	4.54	2.7022E-01
Deformación por compresión (Ez)	8.64E-04	1.95E-20

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N° 60.

Esfuerzos y deformaciones obtenidos por el software DEPAV para CBR=2.60

	CBR=2.60	
	Esfuerzos Admisibles	DEPAV
Deformación por tracción (Et)	3.3205E-04	-3.62E-04
Esfuerzo de compresión (σ_z)	4.54	2.7226E-01
Deformación por compresión (Ez)	8.64E-04	-5.44E-20

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N° 61.

Geotextiles escogidos en la tercera iteración

	CBR=3.63	CBR=2.60
	FORTEX BX 90	FORTEX BX 90
Treq (kN/m)	26.5	26.7
Tdip (kN/m)	34.86	34.86
FS (>1.3)	1.32	1.31

Fuente: Elaboración propia (2021)

– Cuarta iteración:

Tabla N° 62.

Cuarta iteración de espesores de capas de pavimento

Capa de pavimento	Cuarta Iteración			
	CBR=3.63		CBR=2.60	
	D (cm)	E (Kg/cm ²)	D (cm)	E (Kg/cm ²)
Carpeta asfáltica	9	31638.13	9	31638.13
Base	23	2135.46	22	1499.24
Subbase	25	897.11	25	642.56

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N° 63.

Esfuerzos y deformaciones obtenidos por el software DEPAV para CBR=3.63

	CBR=3.63	
	Esfuerzos Admisibles	DEPAV
Deformación por tracción (Et)	3.3205E-04	-3.18E-04
Esfuerzo de compresión (σ_z)	4.54	3.2019E-01
Deformación por compresión (Ez)	8.64E-04	-1.56E-19

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N° 64.

Esfuerzos y deformaciones obtenidos por el software DEPAV para CBR=2.60

	CBR=2.60	
	Esfuerzos Admisibles	DEPAV
Deformación por tracción (Et)	3.3205E-04	-4.05E-04
Esfuerzo de compresión (σ_z)	4.54	3.2630E-01
Deformación por compresión (Ez)	8.64E-04	-1.09E-19

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N° 65.

Geotextiles escogidos en la cuarta iteración

	CBR=3.63	CBR=2.60
	FORTEX BX 130	FORTEX BX 130
Treq (kN/m)	31.4	32
Tdip (kN/m)	42.5	42.5
FS (>1.3)	1.35	1.33

Fuente: Elaboración propia (2021)

6.7 Presentación de costos directos

En la presente investigación se realizó la comparación económica del mejoramiento de la subrasante planteada en el estudio definitivo (sustitución de material) con las propuestas realizadas con geosintéticos. Los resultados respecto al análisis económico obtenido se basaron en tomar las partidas de movimiento de tierras, capas anticontaminantes subbases y bases, pavimento flexible y transporte. (Ver anexo 5 y 6)

Posteriormente, se realizaron los análisis de costos unitarios (ACUS) para cada subpartida, manteniendo la mano de obra, materiales y equipos utilizados del estudio definitivo. El expediente fue aprobado en el año 2017 tomando los costos de marzo 2017, estos fueron actualizados por medio de la revista Costos publicada en el mes de agosto 2021.

El análisis se realizó en tres secciones del lugar de estudio, debido a que presentan diferentes características como cantidad de material para corte, relleno, estructura de pavimento, distancias de transporte, etc. Se buscó presentar mediante el análisis de costos la viabilidad del proyecto, es por ello que el resultado final será en base de la suma total de los costos de cada tramo.

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos a nivel técnico y económico de las soluciones propuestas que se comparan con el método de sustitución de material. Además, se contrastan las hipótesis del estudio.

7.1 Resultados de la investigación

7.1.1 Propiedades mecánicas de los geosintéticos

Mediante la recopilación de investigaciones referentes al comportamiento de los geosintéticos sometidas a cargas externas y los beneficios de su aplicación, los autores Mamatha y Dinesh (2019) realizan ensayos usando geomallas con el objetivo de evaluar su eficacia en una vía no pavimentada. Los resultados obtenidos demuestran que la ubicación de la geomalla es un factor determinante en la función de refuerzo; siendo la interface entre la subrasante y la capa granular, una de las mejores ubicaciones para la geomalla (Figura N°24) debido a que reduce los asentamientos producidos por cargas externas (Tabla N° 6) en un rango de 10.3 a 22.9% en comparación a una vía sin refuerzo. Además, Sakleshpur et al. (2017) en su investigación evidencian que, para la selección de una geomalla, la relación que existe entre las aberturas del geosintético con las partículas de los agregados, influye en la resistencia al corte (Figura N°33) ya que estas se entrelazan y generan resistencia a su separación. Por lo que es recomendable identificar estas propiedades físicas de ambos materiales. Por ende, en la presente tesis se emplearon metodologías internacionales para la selección de los geosintéticos que contemplan dichos parámetros.

Por otro lado, Markou (2016) emplea geotextiles como material de refuerzo para arenas redondeadas y subangulares en ensayos de compresión triaxial a diferentes presiones de confinamiento. Como resultado se tiene que las arenas subangulares presentan considerablemente mayores resistencias al corte que las arenas redondeadas (Figura N°35), siendo la forma del grano un factor a considerar. Esto aporta a la recomendación obtenida de los autores previos, que evidencian la importancia de las propiedades físicas de las partículas de los agregados.

Sayida et al. (2020) en su investigación utiliza geotextiles fabricados con fibras de coco, con el fin de reforzar la subrasante con índice de CBR igual a 4.05%. Para ello realiza secciones modeladas para laboratorio y campo, donde aplica pruebas para medir el desempeño de las secciones reforzadas y sin reforzar. Los resultados obtenidos revelan que su aplicación es una alternativa viable a pesar de no ser un material comercial con normativas de diseño establecidas, logrando reducir los asentamientos en el rango de 21% a 87% (Tabla N° 8) cuando es ubicada entre la subrasante y la sub base. Por lo que suponer utilizar geotextiles fabricados que siguen normativas muestran mejores resultados como refuerzo de la subrasante en pavimentos. En la metodología de selección de geosintéticos desarrollada por el Departamento de Transporte de California es necesario determinar el tamaño de las partículas de suelo de la subrasante y la sub base en función del porcentaje que pasa (15%, 50% y 85%). Con ello, mediante las ecuaciones 5 y 6 se recomienda el tipo de geosintético a emplear. Para la presente tesis, a través de esta metodología, se recomienda usar geotextiles debido al tamaño de las partículas de la subrasante que corresponden a la categoría de suelos finos (SM, SC y CL), tal como se muestra en la Tabla N° 35.

Los geotextiles ofrecen la función de separación y refuerzo; evitando la invasión de partículas finas hacia las capas granulares del pavimento manteniendo la integridad estructural y funcionamiento.

En cambio, la metodología desarrollada por la Administración Federal de Carreteras (FHWA), que contempla el uso de geomallas para estabilizar la subrasante, utiliza factores de contribución estructural que se derivan de datos empíricos obtenidos de ensayos de laboratorio y aplicaciones en secciones de prueba. Sin embargo, no contempla la relación directa del tamaño de partículas de la subrasante y las capas granulares, más bien se rige en función del espesor de la capa granular superior inmediato, que debe ser mayor a 0.15 m y recomienda considerar usar geotextil en función de separación si se tiene una base expuesta o de espesor delgado. Para fines de estudio se considera utilizar un solo tipo de geosintético por propuesta.

Por lo tanto, la implementación de geotextiles en la zona de estudio otorga mayores beneficios debido a que el suelo de la subrasante presenta

partículas finas que puede comprometer la funcionalidad e integridad de las capas granulares del pavimento.

Adicionalmente, Lins y Zornberg (2020) investigan nuevas técnicas de laboratorio para determinar el comportamiento de las deformaciones que se generan en los geosintéticos durante su vida útil. Los autores diseñan una caja rígida de pruebas en la que evalúan un geotextil tejido como refuerzo de una arena de granos redondeados mediante la aplicación de presiones verticales y horizontales (Figura N° 36). Los resultados muestran la variación en porcentaje de la deformación del refuerzo en función del tiempo transcurrido (Figura N° 39) y la carga del refuerzo en el tiempo (Figura N° 40). Esto demuestra que pueden desarrollarse prototipos para analizar el comportamiento de los geosintéticos. Actualmente en el Perú no se cuenta con equipos para la medición, investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para la aplicación de geosintéticos, investigaciones de esta índole abren puertas a nuevas líneas de investigación respecto a estos temas.

7.1.2 Análisis técnico

En la investigación, como se mencionó anteriormente, se analizaron tres tramos los cuales el primero contó con un CBR igual a 3.63% y los restantes con un CBR igual a 2.60%. Respecto a lo que menciona el MTC en su Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos, el CBR adecuado para las subrasantes es de 6%, es por ello que se tomaron las guías de selección como bases teóricas para fundamentar que elementos como las geomallas y geotextiles, aportan resistencia a la subrasante.

En el estudio definitivo para el mejoramiento de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz provincia de El Collao - Puno, respecto a los tramos en los cuales se presenta un CBR no apto ($CBR < 6\%$) se planteó como solución la sustitución de material a nivel de subrasante y tomando en cuenta lo detallado por el MTC en su Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, respecto a las cargas de tráfico soportado por la vía, se determinó que la altura de mejoramiento sea de 60 cm y por el método de

diseño AASHTO 1993 una estructura de pavimento de 44 cm, teniendo una altura total de 104 cm.

En el tramo KM12+580 al KM12+760, tanto en la aplicación de geomallas como geotextiles, se usó una capa de relleno nivelante de 20 cm, el cual proporcionó un aporte del 20% a la mejora del CBR de la subrasante, llegando a tener un CBR de diseño igual a 3.63%. Para las características mencionadas, en la Tabla N° 66 se muestran las alturas finales (estructura de pavimento más relleno) de la aplicación de la sustitución de material, geomallas y geotextiles; evidenciando que la solución con McGrid EG 40S y FORTEX BX 130 presentan mejores resultados al reducir las capas de pavimento en 24.04% (79 cm) y 25.00% (78 cm) respectivamente, en comparación a la sustitución de material.

Tabla N° 66.

Espesores finales de las capas del pavimentos y altura de relleno para CBR=3.63%

Capas de Pavimento (cm)	Sustitución de Material	Geomallas McGrid			Geotextiles FORTEX		
		EG 20S	EG 30S	EG 40S	BX 60	BX 90	BX 130
Carpeta Asfáltica	9	9	9	9	9	9	9
Base	15	27	26	25	32	26	24
Subbase	20	28	26	25	35	30	25
Relleno	60	20	20	20	20	20	20
Altura Total	104	84	81	79	96	85	78

Fuente: Elaboración propia (2021)

En los tramos KM13+180 al KM13+330 y KM13+730 al KM13+820, tanto en la aplicación de geomallas como geotextiles, se utilizaron una capa de relleno nivelante de 20 cm, el cual proporcionó un aporte del 20% a la mejora del CBR de la subrasante, llegando a tener un CBR de diseño igual a 2.60%. Para las características mencionadas, en la Tabla N°67 se muestran las alturas finales (estructura de pavimento más relleno) de la aplicación de la sustitución de material, geomallas y geotextiles; demostrando que la solución con McGrid EG 40S y FORTEX BX 130 presentan mejores

resultados al reducir las capas de pavimento en 20.19% (83 cm) y 26.92% (76 cm) respectivamente, en comparación a la sustitución de material.

Tabla N° 67.

Espesores finales de las capas del pavimentos y altura de relleno para CBR=2.60%

Capas de Pavimento (cm)	Sustitución de Material	Geomallas McGrid			Geotextiles FORTEX		
		EG 20S	EG 30S	EG 40S	BX 60	BX 90	BX 130
Carpeta Asfáltica	9	9	9	9	9	9	9
Base	15	30	28	27	32	25	22
Subbase	20	30	29	27	33	29	25
Relleno	60	20	20	20	20	20	20
Altura Total	104	89	86	83	94	83	76

Fuente: Elaboración propia (2021)

7.1.3 Análisis económico

Los resultados obtenidos del análisis de costos unitarios de la sustitución de material y las propuestas con geosintéticos, para el tramo 1 (KM 12+580 al KM 12+760), se evidenció que la aplicación de la geomalla McGrid EG 40S (Tabla N° 68), fue la solución más económica debido al costo obtenido en la partida de movimiento de tierras (S/. 28,030.65), logrando un ahorro del 36.12% en comparación a la sustitución de material (S/. 43,879.76). Además, en la partida de transportes se alcanzó una reducción de costos del 37.80% (S/. 21,886.24). Sin embargo, en la partida de capas anticontaminantes subbases y bases hubo un incremento del 51.33% (S/. 29,405.38), esto se debe al suministro e instalación de la geomalla que conlleva a un mayor gasto en comparación a la sustitución de material (S/. 27,881.77). (Tabla N° 69)

Por otro lado, la aplicación del geotextil FORTEX BX 130 fue la segunda solución más económica (S/. 305,494.50), seguido de la sustitución de material (S/. 308,023.80).

Tabla N° 68

Costos directos de las propuestas de solución para la estabilización de subrasante

Solución para estabilización de subrasante	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Total (S/.)
	(S/.)	(S/.)	(S/.)	
	12+580 - 12+760 (180 m)	13+180 - 13+330 (160 m)	13+730 - 13+820 (100 m)	
Sustitución de material	308,023.80	266,706.20	174,914.16	749,644.16
McGrid EG 30S	308,564.06	262,756.19	175,670.65	746,990.90
McGrid EG 40S	299,693.83	266,024.26	177,708.94	743,427.03
FORTEX BX 90	308,584.18	273,046.33	182,097.63	763,728.14
FORTEX BX 130	305,494.50	270,692.73	180,615.92	756,803.15

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N° 69

Costos directos por partidas de las soluciones para la estabilización de subrasante tramo 1

Solución para estabilización de subrasante	Tramo 1: 12+580 - 12+760 (180 m)			
	Movimiento de tierras (S/.)	Capas anticontaminantes subbases y bases (S/.)	Pavimentos flexibles (S/.)	Transporte (S/.)
Sustitución de material	43,879.76	27,881.77	178,360.02	57,902.25
McGrid EG 30S	28,496.83	53,060.68	178,360.02	48,646.53
McGrid EG 40S	28,030.65	57,287.14	178,360.02	36,016.01
FORTEX BX90	29,429.17	63,640.40	178,360.02	37,154.59
FORTEX BX130	27,797.57	63,510.70	178,360.02	35,826.21

Fuente: Elaboración propia (2021)

Para el tramo 2 (KM 13+180 al KM 13+330), la propuesta más económica resultó ser la aplicación de la geomalla McGrid EG 30S (S/. 261,213.35). En la partida de movimientos de tierras el costo se redujo en 35.48%, siendo la diferencia de S/. 13,673.72 comparado con la sustitución de material

(Tabla N° 70), esto debido a que el material de relleno de 0.60 m fue cambiado por un relleno nivelante de 0.20 m. De forma similar sucedió en la partida de transportes, reduciendo el costo en 30.07% (S/. 13,992.03) aplicando la geomalla mencionada. No obstante, a pesar de que el espesor final de la estructura del pavimento fue menor comparado al de sustitución de material, es debido al costo que conlleva la aplicación de la geomalla, que en la partida de capas anticontaminantes subbases y bases, el costo se incrementó en 46.64% (S/. 25,392.96).

Tabla N° 70

Costos directos por partidas de las soluciones para la estabilización de subrasante tramo 2

Solución para estabilización de subrasante	Tramo 2: 13+180 - 13+330 (160 m)			
	Movimiento de tierras (S/.)	Capas anticontaminantes subbases y bases (S/.)	Pavimentos flexibles (S/.)	Transporte (S/.)
Sustitución de material	38,538.66	24,783.79	158,542.24	44,841.50
McGrid EG 30S	24,864.94	47,992.71	158,542.24	31,356.29
McGrid EG 40S	24,450.57	52,181.98	158,542.24	30,849.48
FORTEX BX90	25,693.69	57,960.38	158,542.24	30,850.02
FORTEX BX130	24,243.38	58,239.31	158,542.24	29,667.79

Fuente: Elaboración propia (2021)

Para el tramo 3 (KM 13+730 al KM 13+820), la propuesta más económica resultó ser la aplicación de sustitución de material (S/. 174,914.16). En la partida de movimientos de tierras, si bien resultó que la sustitución de material conlleva al mayor costo (S/. 26,371.94) comparado con las demás soluciones (Tabla N° 71), en la partida de capas anticontaminantes subbase y base fue la solución más económica con S/. 15,489.87. Esto se debió a que en la sustitución de material no se contempla la aplicación de algún geosintético, por lo que es únicamente material granular. Por otro lado, la sustitución de material, en la partida de transporte tampoco es la alternativa más económica, siendo el costo de S/. 33,863.44.

Tabla N° 71

Costos directos por partidas de las soluciones para la estabilización de subrasante tramo 3

Tramo 3: 13+730 - 13+820 (100 m)				
Solución para estabilización de subrasante	Movimiento de tierras (S/.)	Capas anticontaminantes subbases y bases (S/.)	Pavimentos flexibles (S/.)	Transporte (S/.)
Sustitución de material	26,371.94	15,489.87	99,088.90	33,963.44
McGrid EG 30S	17,825.87	29,995.45	99,088.90	28,760.44
McGrid EG 40S	17,566.88	32,613.74	99,088.90	28,439.42
FORTEX BX90	18,343.83	36,225.24	99,088.90	28,439.65
FORTEX BX130	17,437.39	36,399.57	99,088.90	27,690.06

Fuente: Elaboración propia (2021)

El objetivo de esta investigación fue que, por medio del análisis económico, probar la viabilidad del proyecto. Se analizaron los tramos independientemente, sin embargo, se sumaron los costos de las soluciones de cada uno de ellos, para comparar los precios finales de la aplicación de estos materiales en la vía. (Ver tabla N° 68).

La propuesta más económica en todo el tramo fue de la geomalla McGrid EG 40S con un monto total de S/. 743,427.03, seguida de la geomalla McGrid EG 30S con un monto total de S/. 746,990.90. Posteriormente, la sustitución de material con un monto total de S/. 749,644.16. Como resultado al aplicar la geomalla McGrid 40S, se obtiene un ahorro de 0.83% (S/. 6,217.13) respecto a la sustitución de material desde el KM 12+580 al KM 13+820

7.2 Contrastación de hipótesis

7.2.1 Contrastación de hipótesis general

Se presenta la hipótesis general: La aplicación de geosintéticos favorecerá técnica y económicamente al mejoramiento de la subrasante frente al método de sustitución de material entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.

La comprobación de la hipótesis general se realizó en dos partes. A fin de comprobar que la implementación de los geosintéticos favorece de manera

técnica al mejoramiento de la subrasante, por el método empírico mecanístico y el método racional, se lograron obtener los espesores de pavimento, tal como se muestran en las tablas N° 66 y N° 67. Concluyendo que, para el tramo 1 con un CBR=3.63%, el geotextil FORTEX BX 130 redujo el espesor total en un 25.00% respecto a la sustitución de material y, en el tramo 2 y tramo 3, con un CBR=2.60%, el mismo geotextil redujo el espesor total en 26.92% respecto a la sustitución de material.

El aspecto económico se analizó desarrollando un presupuesto para cada propuesta, contemplando partidas como movimiento de tierras, capas anticontaminantes subbases y bases, pavimentos flexibles y transporte. Como se resumió en la tabla N° 68 la geomalla McGrid EG 40S fue la propuesta más económica respecto a la sustitución de material desde el KM 12+580 al KM 13+820, con un monto total de S/. 743,427.03, como resultado al aplicar la geomalla McGrid 40S, se obtiene un ahorro de 0,83% (s/. 6,217.13) respecto a la sustitución de material. De esta manera se comprueba la hipótesis general planteada.

7.2.2 Contrastación de hipótesis específica 1

Se presenta la hipótesis específica 1: La implementación de geotextiles mejora las propiedades mecánicas de la subrasante a comparación de la aplicación de geomallas entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.

En los resultados de las propiedades mecánicas de los geosintéticos, donde se analizó la revisión bibliográfica presente en el capítulo V, se resolvió que los geotextiles, además de tener la función de refuerzo, poseen la función de separación entre distintos materiales de suelos, evitando que se mezclen y comprometan la integridad y funcionalidad de ambos materiales. Por lo que utilizar geotextiles conlleva a mejores resultados para la mejora de la subrasante en comparación a la aplicación de geomalla.

Adicionalmente, en el capítulo V se mencionó el desarrollo de nuevas tecnologías, las cuales permitieron evaluar los materiales y el tipo de suelo en conjunto en un laboratorio, sin necesidad de una sección de prueba, logrando medir el rendimiento del geotextil en función del tiempo, teniendo

resultados óptimos como lo mostrado en la figura N° 39 y N° 40. Por lo tanto, se cumple la hipótesis específica 1.

7.2.3 Contrastación de hipótesis específica 2

Se presenta la hipótesis específica 2: Los geotextiles refuerzan la subrasante y reducen los espesores de pavimento en comparación a la geomalla entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca-Mazocruz- Puno.

En el caso de los geotextiles, por medio del método racional, se obtuvieron las tensiones ejercidas por las cargas de tráfico hacia la subrasante. Estas cargas deben ser nulas en la interfaz de la subrasante con la estructura de pavimento. Al tener valores de CBR $< 6\%$, estas tensiones sobrepasan este nivel, por lo que, al adicionar la característica de tensión última de los geotextiles en el diseño de pavimento, se pudo reforzar la subrasante de manera que se cubrieron los esfuerzos de compresión excedentes que soportaba la estructura de pavimento.

Para el diseño con geomallas se usó el método empírico mecanístico AASHTO 1993 sumado al AASHTO R50, en donde por medio del número estructural, para los valores de CBR de 2.60% y 3.63%, los espesores de la estructura de pavimento podían optimizarse. Es de esta manera que al adicionar el factor de LCR de las geomallas en los cálculos de diseño, se observó el aporte como refuerzo a la subrasante de estos materiales cuando se redujeron los espesores de las capas.

Se realizó la comparación de geomallas y geotextiles frente a la sustitución de material. Mediante la tabla N°66 se obtuvieron las alturas de la estructura de pavimento final, en donde para un CBR de 3.63%, fue la implementación del geotextil FORTEX BX 130 el cual logró el mejor desempeño con una altura total (estructura de pavimento más relleno nivelante) de 0.78m mientras que la sustitución de material una altura total de 1.04m, reduciendo esta última en un 25.00%. Para un CBR de 2.60%, tabla N°67, se obtuvo que al igual que la anterior, el geotextil FORTEX BX 130 logró el mejor desempeño con una altura total de 0.76m frente a la sustitución de material, reduciendo en un 26.92%. Por lo tanto, se cumple la hipótesis específica 2.

7.2.4 Contrastación de hipótesis específica 3

Se presenta la hipótesis específica 3: Mediante un análisis económico se identifica que el uso de geotextil reduce costos en comparación a la geomalla y la sustitución de material, para el mejoramiento de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.

Se realizó un análisis económico en base a la elaboración de un presupuesto para la sustitución de material y para cada geosintético propuesto, entre ellas se escogió dos geomallas y dos geotextiles. En primer lugar, se obtuvo un resultado económico para cada tramo, ya que el tramo 1 cuenta con un CBR= 3.63% y los tramos 2 y 3 con un CBR=2.60%. Para cada tramo se obtuvieron los resultados especificando el costo por partida en las tablas N°69, N°70 y N°71, y los montos totales se resumieron para cada solución en la tabla N°68. En el tramo 1 la solución más económica fue la implementación de la geomalla McGrid EG 40S con un monto de S/. 299,693.83; para el tramo 2 la solución más económica fue de la geomalla McGrid EG 40S con un monto de S/. 262,756.29 y para el tramo 3 la solución más económica fue la sustitución de material con un monto de S/. 174,914.16. Para determinar la viabilidad de la solución más adecuada para el proyecto entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820, se hizo la sumatoria de los costos por solución de cada tramo, teniendo finalmente que la implementación de la geomalla McGrid EG 40S fue la mejor solución económica ya que redujo costos en comparación a los geotextiles y la sustitución de material. De esta manera se comprueba que la hipótesis específica 3 no se cumple.

CONCLUSIONES

1. A fin de cumplir con el objetivo general de la investigación, se determinó de manera técnica y económica la aplicación de geosintéticos frente a la sustitución de material para el mejoramiento de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno. Se analizó por medio de metodologías de diseño la reducción del espesor de la estructura de pavimento mediante la implementación de las geomallas y geotextiles; del mismo modo se realizó un presupuesto el cual solo se enfocó en las partidas necesarias para la aplicación. Teniendo como resultado que la geomalla McGrid EG 40S reduce el espesor total frente a la sustitución de material en un 24.04% para un CBR=3.63% y en 20.19% para un CBR=2.60%. A su vez es la solución más económica al realizar el análisis general entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 con un monto total de S/. 743,427.03 obteniéndose un ahorro de 0.83% (S/. 6,217.13) respecto a la sustitución de material.
2. Por medio de los análisis realizados en el capítulo V, se obtuvieron resultados como los mostrados en la Figura N°29.b donde el geotextil GT1 para una sección de prueba pavimentada, presentó los mejores resultados respecto a características mecánicas como la deformación plástica. Este material contemplaba resistencias a la tensión de 25.19/16.29 kN/m. Respecto a los geotextiles utilizados en la presente investigación, tomando el FORTEX BX 90 y FORTEX BX 130, tienen 119/114 kN/m y 134/139 kN/m, respectivamente. Por lo que aplicar estos materiales, al tener especificaciones técnicas evaluadas por normativas internacionales, ofrecerían mejores resultados, tal como lo mostrado en la tabla N°66 y N°67. Concluyendo que la aplicación de los geotextiles mejoró las características mecánicas de la subrasante.
3. En el aspecto técnico se optimizó el espesor total usado para la sustitución de material (1.04 m) al proveer refuerzo a la subrasante con CBR=3.63% y CBR=2.60%, mediante la implementación de geomallas y geotextiles, llegando a

reducir en un 25.00% y en un 26.92% con el geotextil FORTEX BX 130 respectivamente.

4. En el aspecto económico, se actualizaron los costos respecto al estudio definitivo el cual contemplaba como solución la sustitución de material, de esta manera compararla con la implementación de las geomallas y geotextiles. Las partidas utilizadas fueron elegidas en base a la aplicación de las propuestas de solución, obteniendo finalmente el presupuesto total por tramos y consecuentemente el costo total entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820. Como resultado se obtuvo que la geomalla McGrid EG 40S es la propuesta más económica con un monto total de S/. 743,427.03, frente a la sustitución de material con S/. 749,644.16.
5. En términos generales, para ambos valores de CBR presentados (CBR=3.63% y CBR=2.60%), el geotextil FORTEX BX 130 mostró mejores resultados respecto a la reducción de la altura total frente a la sustitución de material (0.76 m y 0.78 m), seguido de la geomalla McGrid EG 40S el cual reduce a 0.79 m y 0.83 m, respectivamente. En términos económicos generales, analizando entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820, el geotextil FORTEX BX 130 fue la segunda solución más costosa (S/. 756,803.15), mientras que la geomalla mencionada fue la opción más económica (S/. 743,427.03) en comparación con la sustitución de material.
6. Se analizó por tramos el costo de la sustitución de material e implementación de las geomallas y geotextiles, siendo para el tramo 1 la mejor alternativa económica la geomalla McGrid EG 40S; para el tramo 2, la geomalla McGrid EG 30S y para el tramo 3, la sustitución de material. Si bien los tramos 2 y 3 contaban con un CBR=2.60%, para este último tramo, respecto a la alternativa de sustitución de material, solo considerando las capas granulares subbase y base, la altura fue de 0.35 m, mientras que en la alternativa de geomalla McGrid EG 30S la altura fue de 0.57 m. Respecto a costos, el precio unitario del material usado en subbase y base es más costoso (S/. 62.56 y S/. 73.05) que el material de relleno (S/. 19.62). Es por ello que en el tramo 3, el costo obtenido en las subpartidas de subbases granulares y bases granulares, para la sustitución de material fue de S/. 15,489.87, mientras que fue de S/. 29,995.45, respecto a la aplicación de la geomalla McGrid EG 30S. Para

todos los tramos, el costo en la partida de movimiento de tierras fue mayor en la solución de sustitución de material en comparación con la aplicación de geomallas y geotextiles, sin embargo, en la partida de capas anticontaminantes bases y subbases, esto se invierte. Concluyendo que, a mayor longitud, existe mayor brecha respecto a costos. Es por ello que en el tramo 3, al ser la longitud de 100 m la aplicación de geosintéticos ya no es viable económicamente.

7. Se analizó que en el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos del MTC, da como viable la aplicación de geosintéticos, sin embargo, no incluye guías de selección ni métodos de diseño para calcular su aplicabilidad. Por medio del desarrollo de esta investigación, se logró crear precedentes para el uso de guías de selección de estos materiales, debido a que se contemplan las funciones que desempeñan respecto a las condiciones de la subrasante y capas granulares, además de un procedimiento para el desarrollo de sus cálculos.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la aplicación de geosintéticos para el mejoramiento de la capacidad de soporte en suelos de subrasante frente a la sustitución de material, ya que de esta manera se logra reducir el costo general del proyecto ahorrando en partidas como las de movimiento de tierras y transporte de material. No obstante, se puede continuar con el estudio de la implementación de estos materiales, evaluando factores como su ubicación óptima, relación tamaño de partícula y su abertura, forma de la partícula, nuevos tipos de fibras a utilizar y el rendimiento durante su vida útil por medio de ensayos como los recopilados en el capítulo V o mediante aplicación en secciones de prueba.
2. Se recomienda comparar las propuestas desarrolladas con aplicaciones en conjunto, un ejemplo de ello es utilizar el geotextil en función de separación y geomalla como refuerzo. De esta manera explorar nuevas alternativas de solución frente a la sustitución de material, así comprobar si los aspectos técnicos y económicos presentan cambios favorables.
3. Se recomienda probar la aplicación de los geosintéticos utilizados en este estudio mediante softwares especializados, los cuales permitan visualizar la interacción del material con el suelo de subrasante, respecto a parámetros como CBR y características de diseño para la estructura de pavimento.
4. Debido a las características del proyecto el suelo entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 no contaban con la presencia de nivel freático, es por ello que para fines del desarrollo de la presente investigación, no se consideró. A fin de complementar el estudio realizado, se sugiere evaluar cómo influye el nivel freático en el diseño del pavimento.
5. En el diseño con geomallas se utilizó el método AASHTO 1993 con el AASHTO R50 incluyendo la relación del coeficiente de capa (LCR) como aporte estructural

del geosintético. Sin embargo, este aporte también se puede realizar con otros factores, como la relación beneficio-tráfico (TBR) y relación de la capa base (BCR), estos últimos se obtienen mediante ensayos en una sección de prueba. Se puede continuar con el estudio comparando los valores que se obtengan con los nuevos factores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State and Transportation Highway Officials - AASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures*. Washington D.C., Estados Unidos: AASHTO.
- American Association of State and Transportation Highway Officials - AASHTO (2018). *Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures*. Washington D.C., Estados Unidos: AASHTO.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú.
- Bustamante, A. (2016). *Evaluación en el Nivel de Resistencia de una Subrasante, con el Uso Combinado de una Geomalla y un Geotextil* (tesis de maestría). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Geosistemas (2015). *Geogrilla uniaxial flexible tejida - Fortrac UX*. Santiago, Chile. Recuperado de <https://www.geosistemas.cl/geo-productos/geomallas-uniaxial-flexibles-fortrac/>
- Geosistemas PAVCO (2009). *Manual de Diseño con Geosintéticos*. Bogotá D.C., Colombia: Mexichem.
- Geosistemas PAVCO (2012). *Manual de Diseño con Geosintéticos*. Bogotá D.C., Colombia: Mexichem.
- Geosynthetics Australia(s.f.). *Polyester Woven Geogrids*. Melbourne, Australia. recuperado de <https://geosynthetics.net.au/polyester-woven-geogrids/>
- Gobierno Regional de Puno (2016). *Estudio Definitivo para el Mejoramiento de la Carretera PU 135 Checca- Mazocruz*. Recuperado de <http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2017/LP0006/Componente%20Ingenieria/01%20Memoria%20Descriptiva.pdf>
- Hernández, J., Mejía, D. & Zelaya, C. (2016). *Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la Universidad de El Salvador* (tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador.

- Koerner, R. (2012). *Designing with Geosynthetics*. Bloomington, Estados Unidos: Xlibris Corporation.
- Lombeida, X. (2021). *Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnóstica en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras* (tesis de pregrado). Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Guayaquil, Ecuador.
- Maccaferri (2012). *Reference Manual: Macread 2.0 AASHTO, Flexible Pavement Design Software*. E.E.U.U.: Maccaferri.
- Mamatha, K. y Dinesh, S. (2019). Effectiveness of geogrid and its position on the performance of unpaved roads under repetitive loading. *Innovative Infrastructure Solutions*, 4(1). doi:10.1007/s41062-019-0244-x
- Markou, I. (2016) Effect of Grain Shape and Size on the Mechanical Behavior of Reinforced Sand. *International Conference on Transportation Geotechnics*, 143, 146-152. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.019
- Martínez, R. (2016). *Procedimiento para el diseño estructural de pavimentos flexibles rehabilitados en Cuba con el empleo de bases recicladas utilizando ligantes asfálticos* (tesis de doctorado). Universidad Tecnológica de La Habana, La Habana, Cuba.
- Mera, J. (2017). *Evaluación técnico- económico del uso de geomalla multiaxial como refuerzo en la subrasante de la carretera Santa Cruz- Bellavista- Jaén- Cajamarca* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Mestre, E. (2020). *Aplicación de geosintéticos en vías terciarias: caso de estudio Municipio de Carurú Departamento del Vaupés* (tesis pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones - MTC (2014). *Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos*. Recuperado de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf

- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones – MTC. (2016). *Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación (catálogo de fallas)*. Recuperado de <http://www.mopc.gob.do/media/2335/sistema-identificaci%C3%B3n-fallas.pdf>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones – MTC. (2020). *Memoria anual 2019*. Recuperado de <https://www.pvn.gob.pe/wp-content/uploads/2020/06/pvn-memoria-anual-2019.pdf>
- Murillo, W. (2007). *La investigación científica*. Recuperado de <http://docencia.fca.unam.mx/~mvazquez/archivos/WebquestTMCSIcientifica.pdf>
- Novoa, Ll. (2017). *Aplicación de la Geomalla Triaxial para mejorar la estabilización de suelos blandos en la avenida Trapiche Chillón, Carabayllo – 2017* (tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Provías Nacional. (2020). *Ayuda Memoria Departamento de Puno*. Recuperado de <https://www.pvn.gob.pe/wp-content/uploads/2018/01/Puno20Marzo20201511.pdf>
- Ramos, Y., & Seminario, W. (2019). *Uso de polímeros PET triturados para mejorar la subrasante del centro poblado la golondrina entre las progresivas 0+000 hasta 1+000 del distrito de marcavelica – Sullana – Piura* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Piura, Perú.
- Reyes, F. (2003). *Diseño Racional de Pavimentos*. Bogotá, Colombia: Centro Editorial Javeriano.
- Sakleshpur, V., Prezzi, M., Salgado, R., Siddiki, N. y Choi, Y. (2017) Large-scale direct shear testing of geogrid-reinforced aggregate base over weak. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(6), 649-658. doi:10.1080/10298436.2017.1321419
- Sayida, M. K., Evangeline, S. Y. y Girish, M. S. (2020) Coir Geotextiles for Paved Roads: A Laboratory and Field Study Using Non-Plastic Soil as Subgrade. *Journal of Natural Fibers*, 17(9), 1329-1344. doi: 10.1080/15440478.2019.1568344

- Shell International Petroleum Company (1978). *Shell pavement design manual*. Londres, Reino Unido: Shell International Petroleum Co.
- Shukla, S. (2016). *An introduction to geosynthetic engineering*. Perth, Australia: Taylor & Francis Group.
- Shukla, S. y Yin J. (2006). *Fundamentals of geosynthetic engineering*. Londres, Reino Unido: Taylor & Francis Group.
- Silva, M. (2016). *Mejoramiento de la Subrasante con Geomallas Multiaxiales tipo TX140 y TX160, Aplicado a un tramo de la calle Alemania - La Molina - Cajamarca 2016* (tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.
- Tensar International Corporation. (2016). *Geomalla TENSAR® TriAx® (TX): Información general*. Recuperado de <http://www.tdmcolombia.co/pdf/geomalla-tensar-tdm-colombia.pdf>
- Zornberg, J. G. y Lins, C. M. (2020) Novel experimental techniques to assess the time-dependent deformations of geosynthetics under soil confinement. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(4), 410-419. doi: 10.1016/j.jrmge.2020.09.006

ANEXOS

Anexo 1. Diseño Metodológico

– Matriz de operacionalización de variables

Operacionalidad de variables			
Variable	Dimensiones	Indicadores	Medición
Independiente			
Alternativa técnico económica	Análisis técnico	Espesores de capas de pavimentos	Unidad de medida metros
		Número Estructural (SN)	Adimensional
	Análisis económico	Tensión Última	Unidad de medida kN/m
		Metrados	Unidad de medida m ² , m ³ , kg
		Presupuesto	Precio unitario en soles
Dependiente			
Mejoramiento de subrasante	Estabilización de la subrasante	Valor de Relación de Soporte de California (CBR)	Porcentaje (%)

Fuente: Elaboración propia (2021)

– Matriz de consistencia

TÍTULO	PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	TÉCNICAS/ INSTRUMENTOS
	¿Qué efectos técnicos- económicos tendrá la aplicación de geosintéticos frente a la sustitución de material para el mejoramiento de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno?	Determinar los efectos técnicos- económicos que tendrá la aplicación de geosintéticos frente a la sustitución de material para el mejoramiento de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno	La aplicación de geosintéticos favorecerá técnica y económicamente al mejoramiento de la subrasante frente al método de sustitución de material entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.	Técnica: Investigación básica no experimental transversal con enfoque cuantitativo de alcance descriptivo
EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA APLICANDO GEOSINTÉTICOS FRENTE A LA SUSTITUCIÓN DE MATERIAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PU 135 CHECCA-MAZOCRUZ- PUNO	ESPECIFICOS ● ¿Cuál geosintético, geotextil o geomalla, mejora las propiedades mecánicas de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno?	ESPECIFICOS ●Determinar qué geosintético mejora las propiedades mecánicas de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.	ESPECIFICOS ●La implementación de geotextiles mejora las propiedades mecánicas de la subrasante a comparación de la aplicación de geomallas entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.	Instrumentos: -Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección Suelos y Pavimentos. -Designing with Geosynthetics de Robert M. Koerner. -Metodologías de selección de geosintético Departamento de Transporte de California y FHWA -Metodologías de diseño AASTHO 1993, AASHTO R 50-09 y Racional -Expediente técnico "Mejoramiento de la carretera PU 135 Checca-Mazocruz", Puno. -MS Excel. -DEPAV
	● ¿Qué geosintético refuerza la subrasante y reduce los espesores de la estructura de pavimento entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno?	●Demostrar qué geosintético refuerza la subrasante y reduce los espesores de la estructura de pavimento entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.	●Los geotextiles refuerzan la subrasante y reducen los espesores de pavimento en comparación a la geomalla entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.	
	● ¿Cuál solución conlleva a la reducción de costos para el mejoramiento de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno?	●Analizar económicamente la implementación de un geotextil y una geomalla frente a la sustitución de material para reducir costos en el mejoramiento de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.	●Mediante un análisis económico se identifica que el uso de geotextil reduce costos en comparación a la geomalla y la sustitución de material, para el mejoramiento de la subrasante entre las progresivas KM 12+580 al KM 13+820 de la carretera PU 135 Checca- Mazocruz- Puno.	

Fuente: Elaboración propia (2021)

Anexo 2. Cotizaciones

- Cotizaciones geotextiles FORTEX BX 60, BX 90 y BX 130



GEOMATRIX PERÚ S.A.C. RUC: 20603357761
 Filial del Grupo GEOMATRIX - LAFAYETTE Colombia
 Av. Domingo Orue Nro. 489. Surquillo - Lima. Perú

EMPRESA _____
 DIRECCIÓN --- _____
 TELEFONO 986 607 392 CIUDAD _____
 EMAIL estefany.farias@urp.edu.pe R.U.C. _____
 PROYECTO _____

Cotización
JL- 030921

Atención	Fecha
Estefany Farias	3/09/2021

De acuerdo a su amable solicitud, ponemos a su consideración el suministro de:

ITEM	CANTIDAD	U.M.	NOMBRE DE REFERENCIA	PRECIO UNITARIO (m2) US\$	VALOR TOTAL US\$
1	456.00	m2	Geotextil de poliéster Fortex BX60 Dimensión del rollo: 5.3mx70m	\$2.33	\$1,062.48
2	265.00	m2	Geotextil de poliéster Fortex BX90 Dimensión del rollo: 5.3mx50m	\$3.11	\$824.15
3	216.00	m2	Geotextil de poliéster Fortex BX130 Dimensión del rollo: 5.4mx40m	\$4.04	\$872.64
Detalles				SUBTOTAL	\$ 2,759.27
Pago: Al contado			ING. JEANNS LAPA VELÁSQUEZ Ingeniero Asesor Comercial Celular: +51 997896343 e-mail: jlapa@geomatrix.com.co copiar a: cubaque@geomatrix.com.co	IGV 18%	\$ 496.67
Lugar de entrega: Nuestro almacén Callao				Total general	\$ 3,255.94
Entrega: 1 día hábil, previo stock.				Validez de la oferta: 20 días calendario	

Si efectúa pago por consignación. Por favor hacerlo a nombre de GEOMATRIX PERU SAC RUC. 20603357761

Banco de Crédito del Perú
 Cuenta Corriente Dólares 193-2521935-1-99
 Cuenta Corriente Soles 193-2515676-0-67

En caso de pagar desde otro banco en el Perú debe considerar los siguiente datos:

Razón social GEOMATRIX PERU SAC
 RUC 20603357761
 Cuenta Interbancaria Dólares 00219300252193519913
 Cuenta Corriente Soles 00219300251567606717

– Cotizaciones geomallas McGrid EG 20S, 30S y 40S



Engineering a Better Solution

Estefany Farias

A/C Estefany Farias

Tel.:

E-mail:

Ref.: C3N0-00725-2021 v 0

Obra.: PE - Evaluación Técnica - Económica aplicando geosintéticos frente a la sustitución de material para el mejoramiento de la subrasante de la Carretera PU135 Checca-Mazocruz, Puno

Fecha.: 9/30/2021

Estimado/a Estefany Farias

Maccaferri, empresa con más de 135 años de tradición y más de 40 años de presencia en América Latina, líder mundial en el sector de soluciones para la ingeniería de infraestructura y ambiental, agradece su consulta, la cual atendemos con esta propuesta.

En caso de surgir inquietudes con respecto a cualquier ítem de la propuesta, por favor no dude en contactarnos. Será un gusto atenderlos.

Quisiéramos enfatizar que con la adquisición de los productos Maccaferri, ustedes reciben un conjunto de beneficios adicionales, tales como:

- Asesoría técnica en las etapas de elaboración y definición del proyecto a ser ejecutado con nuestros productos;
- Visitas de nuestros ingenieros al lugar de la obra, siempre y cuando sea solicitado y acordado previamente con ustedes, con el objetivo de auxiliar en la correcta instalación de nuestros productos y optimizar la productividad durante la etapa de ejecución;
- Asesoría técnica post-obra, siempre y cuando sea necesaria y solicitada por ustedes;
- Disponibilidad de atención técnica y comercial a través de nuestras oficinas e ingenieros especializados, distribuidos por todo el país, propiciando así una atención rápida, eficaz y personalizada a nuestros clientes;
- Todos los procesos de Gestión de producción y comercialización adoptados por Maccaferri obedecen la norma ISO 9001:2015, asegurando la calidad y el cumplimiento de las normas aplicadas. Todas nuestras plantas poseen laboratorios certificados internacionalmente, lo que nos permite disponer de los productos que atienden las más rigurosas normas y los criterios internacionales para la garantía de la calidad.

Atentamente,

Ing. César R. Torres Chung
Gerente de Ingeniería y Proyectos
Departamento de Ingeniería y Proyectos
Sucursal Lima
Maccaferri de Perú
Telf.: +51 2011060
Cel.: +51 993502574
www.maccaferri.com.pe

C3N0-00725-2021 v 0 p. 1/2



DESCRIPCIÓN DE PRECIOS					
Cantidad	Unid.	Descripción de los Materiales	Precio Unitario	% IGV	Precio Total con IGV
1,393.20	Metro cuadrado	MACGRID EG 20S (3.95X50)	US\$ 1.06	18.00	US\$ 1,742.61
1,393.20	Metro cuadrado	MACGRID EG 30S (3.95x50)	US\$ 1.78	18.00	US\$ 2,926.28
1,393.20	Metro cuadrado	MACGRID EG 40S (3.95X50)	US\$ 2.80	18.00	US\$ 4,603.13
Valor total:					US\$ 9,272.02

CONDICIONES COMERCIALES	
Forma de Pago:	Factura Contado
Flete:	Puesto en fábrica
Impuestos:	18% IGV
Entrega:	A Tratar
Validez:	05 días
Transporte:	No incluye

OBSERVACIONES

*DE SER ACEPTADA LA COTIZACION, FAVOR DE EMITIR LA ORDEN DE COMPRA A NOMBRE DE: MACCAFERRI CONSTRUCTION SAC con RUC 20521749378.

*Depósito en Cuenta Dólares Nro. Cuenta: BCP 194-1781170-1-25 a nombre de MACCAFERRI CONSTRUCTION SAC

*El Cliente y Transportista deberán traer Guía de Remisión del remitente al recojo del material

*El Cliente y Transportista deberán traer Guía de Remisión del transportista al recojo del material

Agradeceremos considerar que es Obligatorio para el recojo del material lo que se indica líneas abajo, además de indispensable la presentación de los documentos completos al momento de ingresar a Planta:

- Seguro SCTR

- Original y 01 copia de guía de remisión de transportista.

- Original y 2 copias de la guía de remisión cliente (debe contener escrito o impreso el N° de OC y los ítems que se atienden)

- 01 Copia de la orden de compra y/o cotización.

- Implementos de Seguridad EPPs.

- Indicar la Razón social del transporte, nombre del chofer y No. Placa mediante un email a la dirección:

c.salazar@maccaferri.com / j.quispe@maccaferri.com / l.fernandez@maccaferri.com con copia al Ingeniero y/o vendedor.

C3N0-00725-2021 v 0 p. 2/2



Anexo 3. Datos de calicatas

– Calicatas C-52, C-54, C-55 y C-56

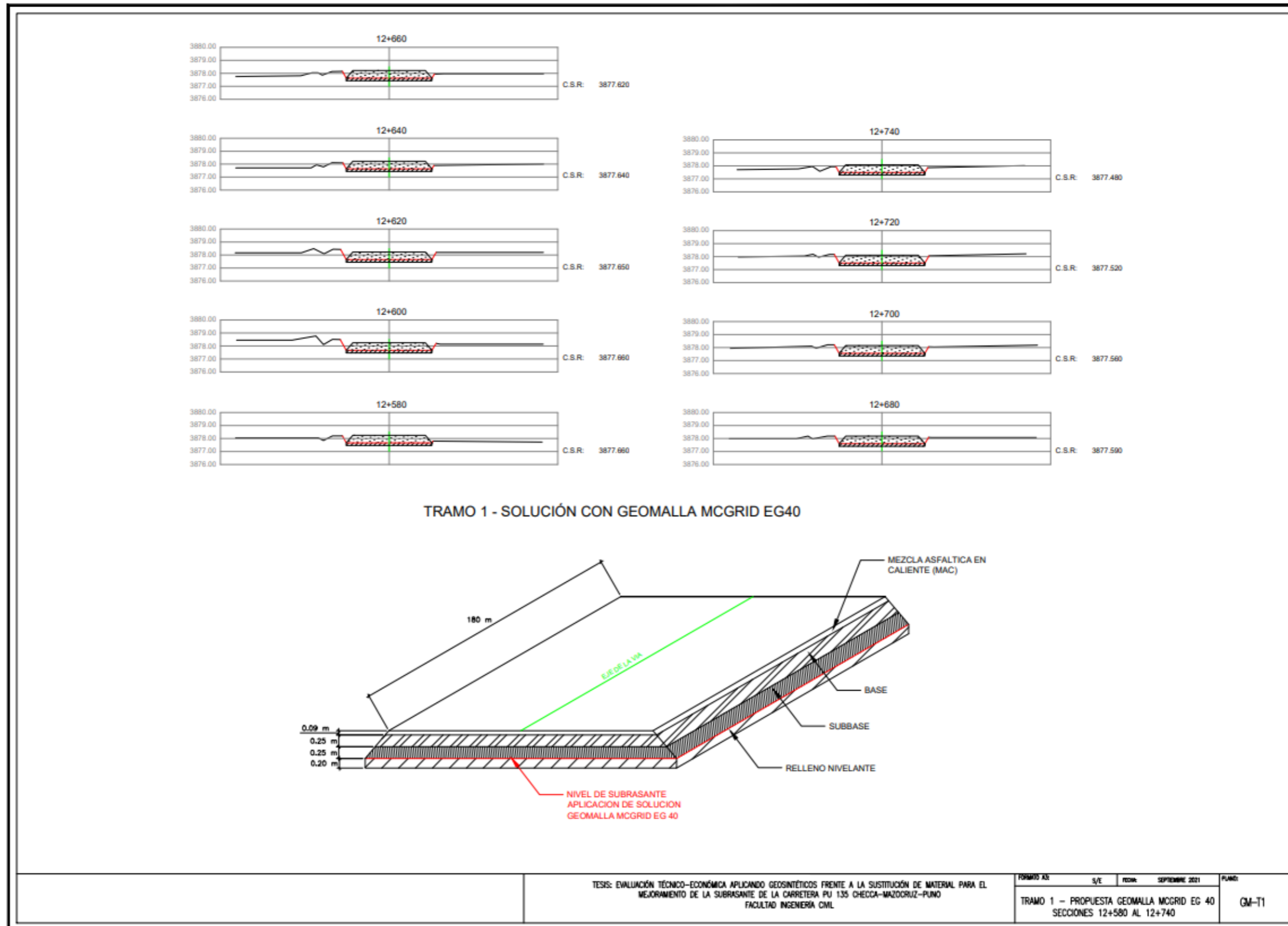
CAL.	N.F.	Obs. puntuales en prog. de calicata	UBL (Km.)	MUE .	PROF. (m)	LIM. DE AT.			CLASIFICACIÓN		W (%)	C.B.R. 95%	Crit. de Consistencia		Crit. de Líquidez		Crit. De Comportamiento		Pot. de Exp		C.B.R. ADOPT.	OBSERVACION	ALT. MEJ. X CRITERIO		SECTOR DE MEJORAMIENTO											
						L.L.	L.P.	I.P.	SUCS	AASHTO			I.C.	Condicion	I.L.	Cond.	Cc	Compr.	P.E.	Alt. rec.			C.B.R.<6%	EXP.	DE	A	ALT. (m.)									
																												DE	A	ALT. (m.)						
C-50		Relleno: 0.70 mt.	12+200	M1	0.00 - 0.50	24.9	14.3	10.6	GC	A-2-6(0)	7.6	1.6	Sólido	-0.6	Estable	0.1	Baja	Bajo				C.B.R. adopt. Por tipo de suelo CL=6.1%	0.60													
				M2	0.50 - 1.40	21.9	14.6	7.4	CL	A-4(4)	19.9	0.3	Plástico muy Blando	0.7	Estable	0.1	Baja	Bajo																		
				M3	1.40 - 2.00	N.T.	N.P.	N.P.	SM	A-2-4(0)	14.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--																
C-51		Relleno: 1.40 mt.	12+470	M1	0.00 - 0.70	N.T.	N.P.	N.P.	GM	A-1-a(0)	8.8	--	--	--	--	--	--	--				C.B.R. adopt. Por tipo de suelo CL=6.1% No requiere por corte del top soil	NO REQUIERE													
				M2	0.70 - 2.20	26.9	16.5	10.4	CL	A-4(3)	26.7	0.0	Semi Líquido	1.0	Estable	0.2	Baja	Bajo																		
C-52		..	12+700	M1	0.00 - 0.50	22.5	N.P.	N.P.	SM	A-1-b(0)	9.9	--	--	--	--	--	--	--																		
				M2	0.50 - 1.50	33.2	22.6	10.6	SC	A-2-4(0)	19.1	1.3	Sólido	-0.3	Estable	0.2	Media	Bajo																		
				M3	1.50 - 2.00	N.T.	N.P.	N.P.	SM	A-1-b(0)	13.7	--	--	--	--	--	--	--	--																	
				M4	2.00 - 2.30	31.0	23.6	7.4	ML	A-4(4)	36.1	-0.7	Líquido	1.7	Colapsable	0.2	Baja	Bajo																		
C-53			12+945	M1	0.00 - 0.40	21.0	N.P.	N.P.	SM	A-1-b(0)	10.6	--	--	--	--	--	--	--																		
				M2	0.40 - 1.60	N.T.	N.P.	N.P.	SM	A-2-4(0)	16.5	--	--	--	--	--	--	--	--																	
				M3	1.60 - 2.10	N.T.	N.P.	N.P.	SM	A-2-4(0)	25.4	--	--	--	--	--	--	--	--																	
C-54		Relleno y corte en talud	13+185	M1	0.00 - 0.40	23.2	N.P.	N.P.	SM	A-2-4(0)	12.2	--	--	--	--	--	--																			
				M2	0.40 - 1.90	29.5	19.4	10.1	CL	A-4(4)	22.7	0.7	Plástico Blando	0.3	Estable	0.2	Baja	Bajo																		
C-55		Relleno: 1.20 mt. Zanja: 13+365-13+600	13+445	M1	0.00 - 0.50	22.4	N.P.	N.P.	SM	A-2-4(0)	9.0	--	--	--	--	--	--																			
				M2	0.50 - 1.70	37.1	26.9	10.2	ML	A-4(3)	30.4	0.7	Plástico Blando	0.3	Estable	0.2	Media	Bajo																		
				M3	1.70 - 2.10	23.6	18.3	5.3	SC - SM	A-4(3)	28.5	-0.9	Líquido	1.9	Colapsable	0.1	Baja	Bajo																		
C-56			13+710	M1	0.00 - 0.60	N.T.	N.P.	N.P.	GP - GM	A-1-a(0)	11.6	--	--	--	--	--	--																			
				M2	0.60 - 2.00	26.4	16.0	10.5	CL	A-4(3)	18.2	0.8	Plástico Duro	0.2	Estable	0.1	Baja	Bajo																		

Fuente: Gobierno Regional de Puno (2017)



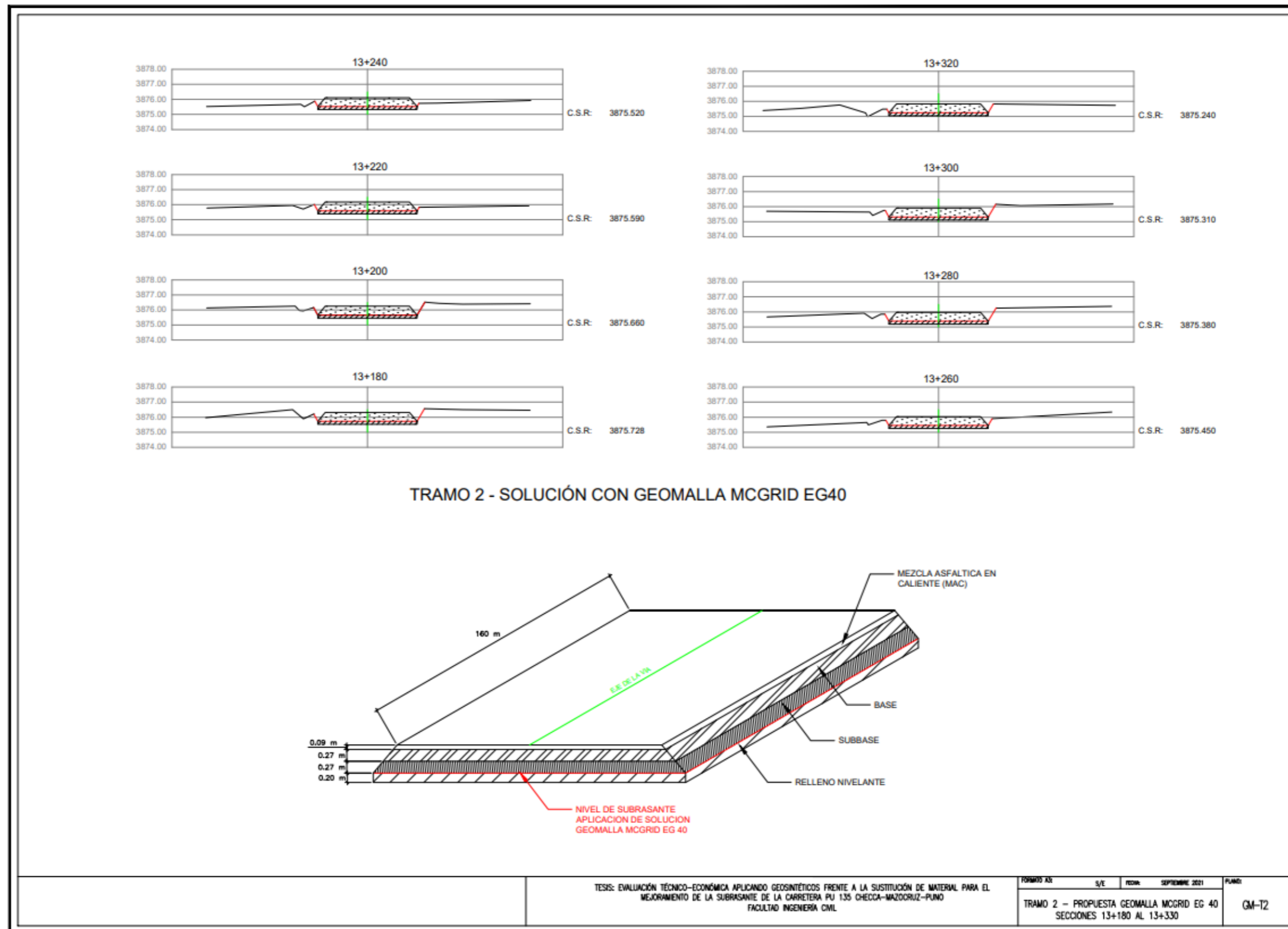
Anexo 4. Planos

- Anexo 4.1. Sustitución de material - Tramo 1



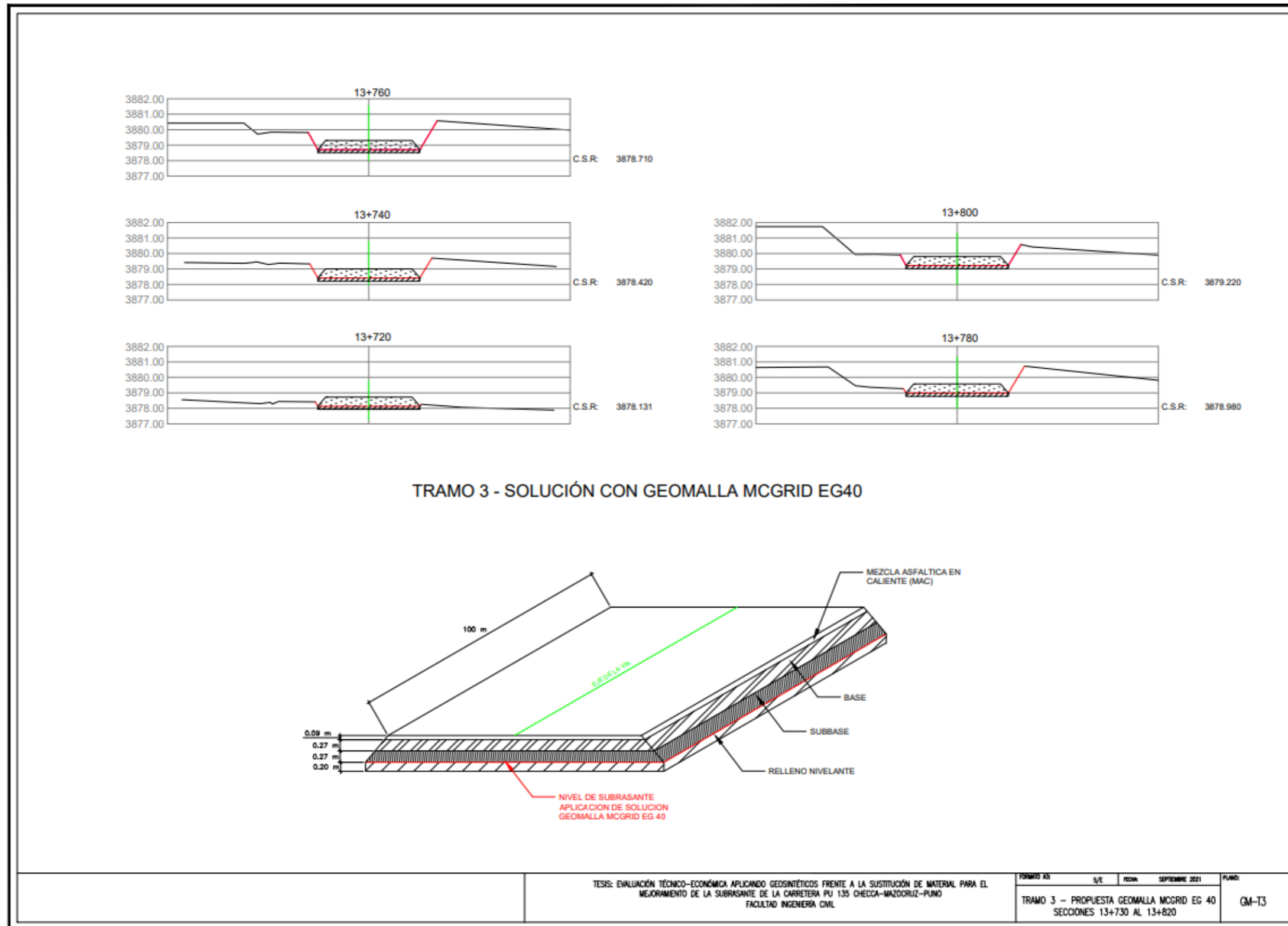
Fuente: Elaboración propia (2021)

- Sustitución de material - Tramo 2



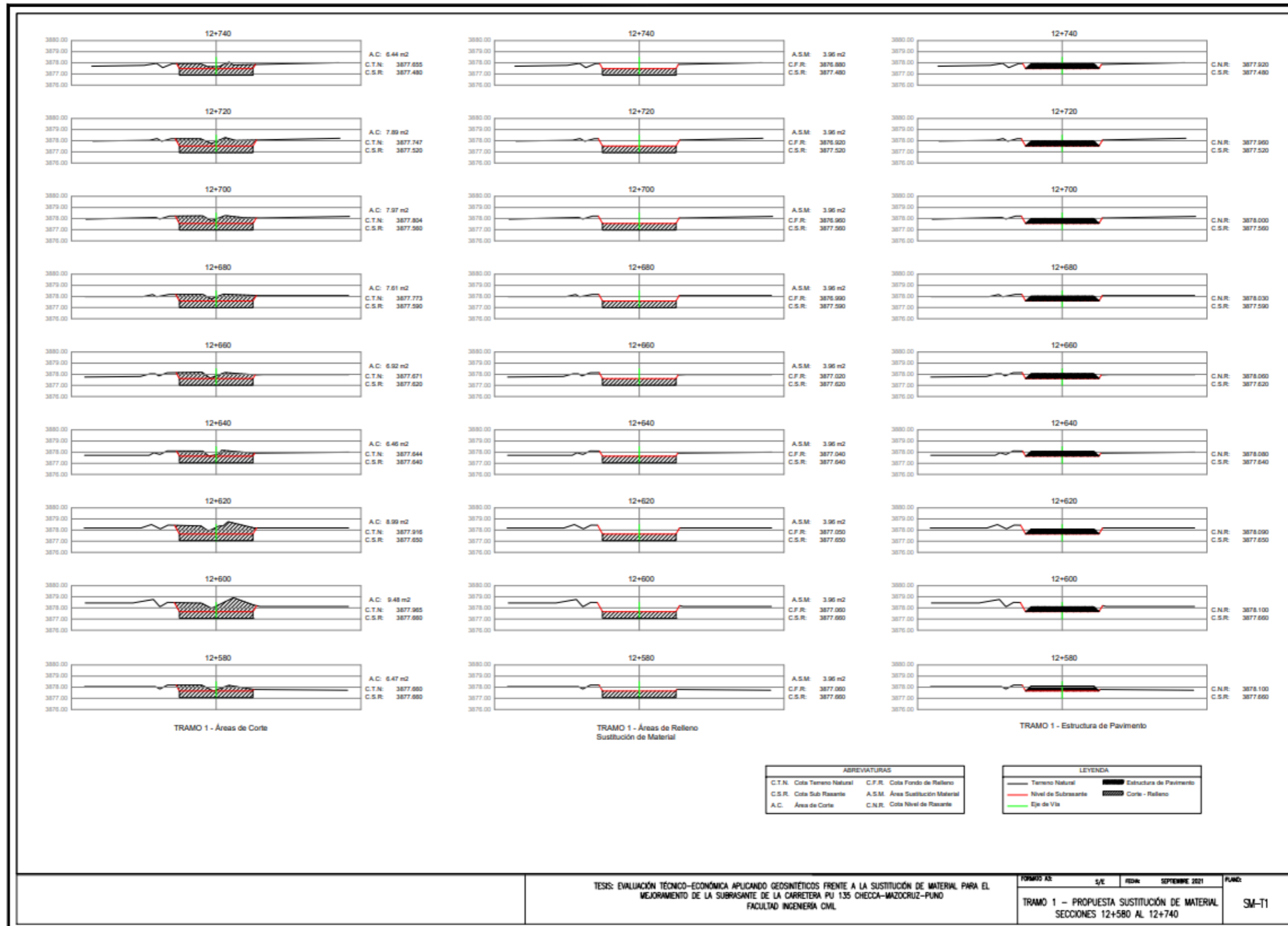
Fuente: Elaboración propia (2021)

- Sustitución de material - Tramo 3

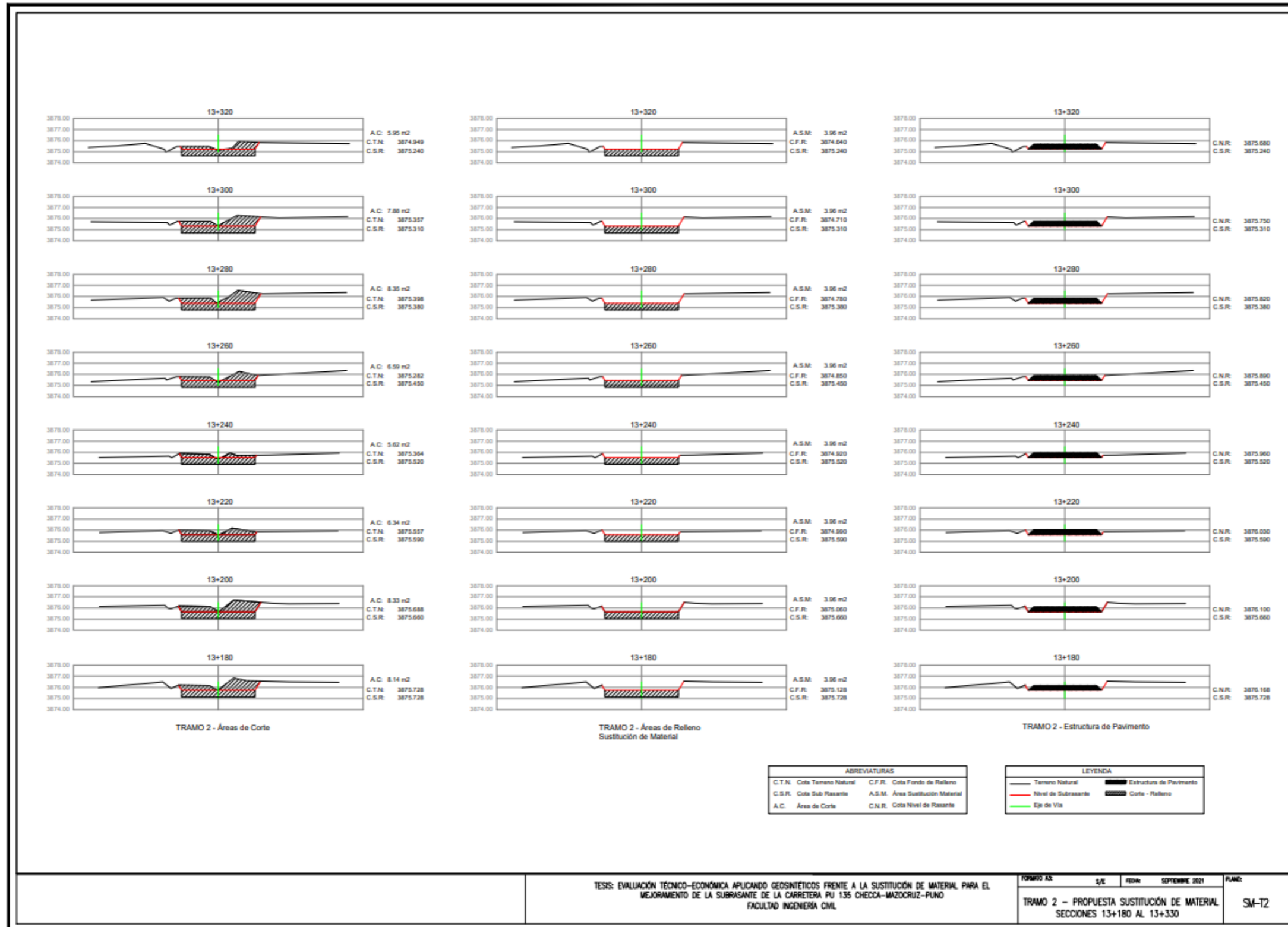


Fuente: Elaboración propia (2021)

– Geomalla McGrid EG 40S - Tramo 1

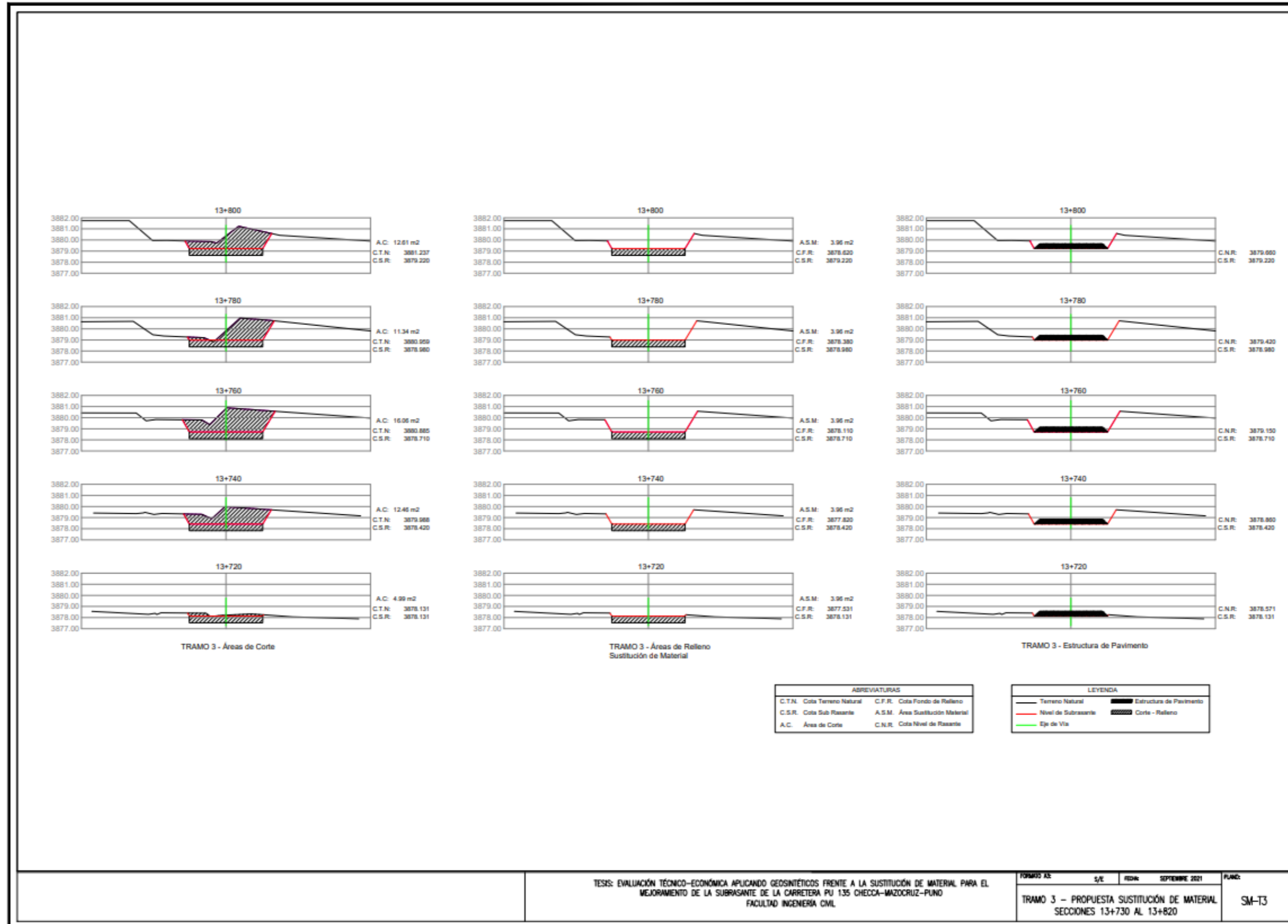


Fuente: Elaboración propia (2021)



Fuente: Elaboración propia (2021)

– Geomalla McGrid EG 40S - Tramo 3



Fuente: Elaboración propia (2021)

Anexo 5. Presupuestos

– Presupuesto de solución sustitución de material

SUSTITUCIÓN DE MATERIAL		METRADO			Precio Unitario (\$/UNIDAD)	PRECIO PARCIAL (\$/.)			
ITEM	PARTIDAS	UNIDAD	TRAMO 1	TRAMO 2		TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
107.A	ACCESO A CANTERAS, DME, PLANTAS Y FUENTES DE AGUA	km							
			CBR=3,63	CBR=2,60	CBR=2,60				
200	MOVIMIENTO DE TIERRAS					43,879.76	38,538.66	26,371.94	
202.B3	EXCAVACIÓN EN MATERIAL SUELTO	m3	573.78	431.64	654.54	5.94	3,407.92	2,563.69	3,887.58
207.A	MEJORAMIENTO DE SUELOS	m3	712.80	633.60	396.00	21.09	15,032.95	13,362.62	8,351.64
210.A	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE CORTE	m2	1188.00	1056.00	660.00	2.77	3,295.76	2,929.57	1,830.98
212.A	MATERIAL DE CANTERA PARA RELLENOS	m3	1128.60	1003.20	627.00	19.62	22,143.13	19,682.78	12,301.74
400	CAPAS ANTICONTAMINANTES SUBBASES Y BASES					27,881.77	24,783.79	15,489.87	
402.A	SUBBASES GRANULARES	m3	237.60	211.20	132.00	62.56	14,864.26	13,212.67	8,257.92
403.A	BASES GRANULARES	m3	178.20	158.40	99.00	73.05	13,017.51	11,571.12	7,231.95
	PAVIMENTOS FLEXIBLES					178,360.02	158,542.24	99,088.90	
416.A	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	1188.00	1056.00	660.00	1.20	1,425.60	1,267.20	792.00
423.A	PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE	m3	106.92	95.04	59.40	219.94	23,515.98	20,903.10	13,064.44
426.A	CEMENTO ASFÁLTICO DE PENETRACIÓN 120-150 (143,10 kg/m3)	kg	15300.25	13600.22	8500.14	4.04	61,813.02	54,944.90	34,340.57
428.A	ASFALTOS LÍQUIDOS TIPO MC-30 (1.10 l/m2)	l	1306.80	1161.60	726.00	3.47	4,534.60	4,030.75	2,519.22
429.A	FILLER MINERAL (41,86 kg/m3)	kg	4475.67	3978.37	2486.48	19.15	85,709.10	76,185.87	47,616.17
430.A	ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA (0,50%PEN)	kg	76.50	68.00	42.50	17.80	1,361.72	1,210.42	756.51
700	TRANSPORTES					57,902.25	44,841.50	33,963.44	
700.A	TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES PARA DISTANCIAS ENTRE	m3 km	1084.59	557.69	288.71	10.37	11,247.20	5,783.25	2,993.92
700.B	TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES PARA DISTANCIAS	m3 km	8754.20	7454.60	3281.90	1.87	16,370.35	13,940.10	6,137.15
700.C	TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES PARA DISTANCIAS ENTRE	m3 km	1201.08	954.39	968.19	10.38	12,467.21	9,906.57	10,049.81
700.D	TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES PARA DISTANCIAS	m3 km	4979.00	4591.60	5239.10	2.04	10,157.16	9,366.86	10,687.76
700.E	TRANSPORTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA DISTANCIAS HASTA	m3 km	108.27	84.21	60.04	13.10	1,418.34	1,103.15	786.52
700.F	TRANSPORTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA DISTANCIAS MAYORES	m3 km	3059.80	2324.30	1621.70	2.04	6,241.99	4,741.57	3,308.27
	TOTAL (\$/.)						308,023.80	266,706.20	174,914.16

Fuente: Elaboración propia (2021)

– Presupuesto de soluciones propuestas - Tramo 1

**TRAMO 1 (CBR=3.63%)
GEOSINTÉTICOS**

ITEM	PARTIDAS	UNIDAD	METRADO				Precio Unitario (\$/./UNIDAD)	PRECIO PARCIAL (\$/.)			
			Geomalla McGrid EG 30S	Geomalla McGrid EG 40S	Geotextil FORTEX BX 90	Geotextil FORTEX BX 130		SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4
200	MOVIMIENTO DE TIERRAS						28,496.83	28,030.65	29,429.17	27,797.57	
202.B3	EXCAVACIÓN EN MATERIAL SUELTO	m3	573.78	573.78	573.78	573.78	5.94	3,407.92	3,407.92	3,407.92	3,407.92
207.A	MEJORAMIENTO DE SUELOS	m3	237.60	237.60	237.60	237.60	21.09	5,010.98	5,010.98	5,010.98	5,010.98
210.A	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE CORTE	m2	1188.00	1188.00	1188.00	1188.00	2.77	3,295.76	3,295.76	3,295.76	3,295.76
212.A	MATERIAL DE CANTERA PARA RELLENOS	m3	855.36	831.60	902.88	819.72	19.62	16,782.16	16,315.99	17,714.51	16,082.91
400	CAPAS ANTICONTAMINANTES SUBBASES Y BASES						53,060.68	57,287.14	63,640.40	63,510.70	
401.A	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOMALLA BIAXIAL EG 30S	m2	1393.20	-	-	-	8.02	11,173.46	-	-	-
401.B	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOMALLA BIAXIAL EG 40S	m2	-	1393.20	-	-	12.21	-	17,010.97	-	-
401.C	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL TEJIDO FORTE	m2	-	-	1393.20	-	13.48	-	-	18,780.34	-
401.D	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL TEJIDO FORTE	m2	-	-	-	1393.20	17.30	-	-	-	24,102.36
402.A	SUBBASES GRANULARES	m3	308.88	297.00	356.40	297.00	62.56	19,323.53	18,580.32	22,296.38	18,580.32
403.A	BASES GRANULARES	m3	308.88	297.00	308.88	285.12	73.05	22,563.68	21,695.85	22,563.68	20,828.02
	PAVIMENTOS FLEXIBLES						178,360.02	178,360.02	178,360.02	178,360.02	
416.A	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	1188.00	1188.00	1188.00	1188.00	1.20	1,425.60	1,425.60	1,425.60	1,425.60
423.A	PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE	m3	106.92	106.92	106.92	106.92	219.94	23,515.98	23,515.98	23,515.98	23,515.98
426.A	CEMENTO ASFÁLTICO DE PENETRACIÓN 120-150 (143,10 kg/m	kg	15300.25	15300.25	15300.25	15300.25	4.04	61,813.02	61,813.02	61,813.02	61,813.02
428.A	ASFALTOS LÍQUIDOS TIPO MC-30 (1.10 l/m2)	l	1306.80	1306.80	1306.80	1306.80	3.47	4,534.60	4,534.60	4,534.60	4,534.60
429.A	FILLER MINERAL (41,86 kg/m3)	kg	4475.67	4475.67	4475.67	4475.67	19.15	85,709.10	85,709.10	85,709.10	85,709.10
430.A	ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA (0,50%PEN)	kg	76.50	76.50	76.50	76.50	17.80	1,361.72	1,361.72	1,361.72	1,361.72
700	TRANSPORTES						48,646.53	36,016.01	37,154.59	35,826.21	
700.A	TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES PARA DISTANCIAS ENTRE 120M Y 1000M	m3 km	757.89	737.01	799.74	726.57	10.37	7,859.32	7,642.79	8,293.30	7,534.53
700.B	TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES PARA DISTANCIAS MAYORES DE 1000M	m3 km	9829.90	3191.40	3452.40	3147.80	1.87	18,381.91	5,967.92	6,455.99	5,886.39
700.C	TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES PARA DISTANCIAS ENTRE 120M Y 1000M	m3 km	782.85	782.85	782.85	782.85	10.38	8,125.98	8,125.98	8,125.98	8,125.98
700.D	TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES PARA DISTANCIAS MAYORES DE 1000M	m3 km	3244.60	3244.60	3244.60	3244.60	2.04	6,618.98	6,618.98	6,618.98	6,618.98
700.E	TRANSPORTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA DISTANCIAS HASTA 1000M	m3 km	108.27	108.27	108.27	108.27	13.10	1,418.34	1,418.34	1,418.34	1,418.34
700.F	TRANSPORTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA DISTANCIAS MAYORES DE 1000M	m3 km	3059.80	3059.80	3059.80	3059.80	2.04	6,241.99	6,241.99	6,241.99	6,241.99
	TOTAL (\$/.)						308,564.06	299,693.83	308,584.18	305,494.50	

Fuente: Elaboración propia (2021)

– Presupuesto de soluciones propuestas - Tramo 2

TRAMO 2 (CBR=2.60%) GEOSINTÉTICOS		METRADO				Precio Unitario (\$/UNIDAD)	PRECIO PARCIAL (\$/.)				
ITEM	PARTIDAS	UNIDAD	Geomalla McGrid EG 30S	Geomalla McGrid EG 40S	Geotextil FORTEX BX 90		Geotextil FORTEX BX 130	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4
200	MOVIMIENTO DE TIERRAS						24,864.94	24,450.57	25,693.69	24,243.38	
202.B3	EXCAVACIÓN EN MATERIAL SUELTO	m3	431.64	431.64	431.64	431.64	5.94	2,563.69	2,563.69	2,563.69	2,563.69
207.A	MEJORAMIENTO DE SUELOS	m3	211.20	211.20	211.20	211.20	21.09	4,454.21	4,454.21	4,454.21	4,454.21
210.A	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE CORTE	m2	1056.00	1056.00	1056.00	1056.00	2.77	2,929.57	2,929.57	2,929.57	2,929.57
212.A	MATERIAL DE CANTERA PARA RELLENOS	m3	760.32	739.20	802.56	728.64	19.62	14,917.48	14,503.10	15,746.23	14,295.92
400	CAPAS ANTICONTAMINANTES SUBBASES Y BASES						47,992.71	52,181.98	57,960.38	58,239.31	
401.A	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOMALLA BIAxIAL EG 30S	m2	1341.60	-	-	-	8.02	10,759.63	-	-	-
401.B	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOMALLA BIAxIAL EG 40S	m2	-	1341.60	-	-	12.21	-	16,380.94	-	-
401.C	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL TEJIDO FORTE	m2	-	-	1341.60	-	13.48	-	-	18,084.77	-
401.D	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL TEJIDO FORTE	m2	-	-	-	1341.60	17.30	-	-	-	23,209.68
402.A	SUBBASES GRANULARES	m3	274.56	264.00	316.80	264.00	62.56	17,176.47	16,515.84	19,819.01	16,515.84
403.A	BASES GRANULARES	m3	274.56	264.00	274.56	253.44	73.05	20,056.61	19,285.20	20,056.61	18,513.79
	PAVIMENTOS FLEXIBLES						158,542.24	158,542.24	158,542.24	158,542.24	
416.A	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	1056.00	1056.00	1056.00	1056.00	1.20	1,267.20	1,267.20	1,267.20	1,267.20
423.A	PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE	m3	95.04	95.04	95.04	95.04	219.94	20,903.10	20,903.10	20,903.10	20,903.10
426.A	CEMENTO ASFÁLTICO DE PENETRACIÓN 120-150 (143,10 kg/m	kg	13600.22	13600.22	13600.22	13600.22	4.04	54,944.90	54,944.90	54,944.90	54,944.90
428.A	ASFALTOS LÍQUIDOS TIPO MC-30 (1.10 l/m2)	l	1161.60	1161.60	1161.60	1161.60	3.47	4,030.75	4,030.75	4,030.75	4,030.75
429.A	FILLER MINERAL (41,86 kg/m3)	kg	3978.37	3978.37	3978.37	3978.37	19.15	76,185.87	76,185.87	76,185.87	76,185.87
430.A	ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA (0,50%PEN)	kg	68.00	68.00	68.00	68.00	17.80	1,210.42	1,210.42	1,210.42	1,210.42
700	TRANSPORTES						31,356.29	30,849.48	30,850.02	29,667.79	
700.A	TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES PARA DISTANCIAS ENTRE 120M Y 1000M	m3 km	675.15	648.98	649.05	588.08	10.37	7,001.31	6,729.92	6,730.65	6,098.39
700.B	TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES PARA DISTANCIAS MAYORES DE 1000M	m3 km	3355.80	3229.90	3229.80	2935.70	1.87	6,275.35	6,039.91	6,039.73	5,489.76
700.C	TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES PARA DISTANCIAS ENTRE 120M Y 1000M	m3 km	605.87	605.87	605.87	605.87	10.38	6,288.93	6,288.93	6,288.93	6,288.93
700.D	TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES PARA DISTANCIAS MAYORES DE 1000M	m3 km	2914.70	2914.70	2914.70	2914.70	2.04	5,945.99	5,945.99	5,945.99	5,945.99
700.E	TRANSPORTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA DISTANCIAS HASTA 1000M	m3 km	84.21	84.21	84.21	84.21	13.10	1,103.15	1,103.15	1,103.15	1,103.15
700.F	TRANSPORTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA DISTANCIAS MAYORES DE 1000M	m3 km	2324.30	2324.30	2324.30	2324.30	2.04	4,741.57	4,741.57	4,741.57	4,741.57
	TOTAL (\$/.)						262,756.19	266,024.26	273,046.33	270,692.73	

Fuente: Elaboración propia (2021)

– Presupuesto de soluciones propuestas - Tramo 3

TRAMO 3 (CBR=2.60%)											
GEOSINTÉTICOS											
ITEM	PARTIDAS	UNIDAD	METRADO				Precio Unitario (\$/UNIDAD)	PRECIO PARCIAL (\$/.)			
			Geomalla McGrid EG 30S	Geomalla McGrid EG 40S	Geotextil FORTEX BX 90	Geotextil FORTEX BX 130		SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4
200	MOVIMIENTO DE TIERRAS							17,825.87	17,566.88	18,343.83	17,437.39
202.B3	EXCAVACIÓN EN MATERIAL SUELTO	m3	654.54	654.54	654.54	654.54	5.94	3,887.58	3,887.58	3,887.58	3,887.58
207.A	MEJORAMIENTO DE SUELOS	m3	132.00	132.00	132.00	132.00	21.09	2,783.88	2,783.88	2,783.88	2,783.88
210.A	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE CORTE	m2	660.00	660.00	660.00	660.00	2.77	1,830.98	1,830.98	1,830.98	1,830.98
212.A	MATERIAL DE CANTERA PARA RELLENOS	m3	475.20	462.00	501.60	455.40	19.62	9,323.42	9,064.44	9,841.39	8,934.95
400	CAPAS ANTICONTAMINANTES SUBBASES Y BASES							29,995.45	32,613.74	36,225.24	36,399.57
401.A	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOMALLA BIAXIAL EG 30S	m2	838.50	-	-	-	8.02	6,724.77	-	-	-
401.B	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOMALLA BIAXIAL EG 40S	m2	-	838.50	-	-	12.21	-	10,238.09	-	-
401.C	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL TEJIDO FORTE	m2	-	-	838.50	-	13.48	-	-	11,302.98	-
401.D	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL TEJIDO FORTE	m2	-	-	-	838.50	17.30	-	-	-	14,506.05
402.A	SUBBASES GRANULARES	m3	171.60	165.00	198.00	165.00	62.56	10,735.30	10,322.40	12,386.88	10,322.40
403.A	BASES GRANULARES	m3	171.60	165.00	171.60	158.40	73.05	12,535.38	12,053.25	12,535.38	11,571.12
	PAVIMENTOS FLEXIBLES							99,088.90	99,088.90	99,088.90	99,088.90
416.A	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	660.00	660.00	660.00	660.00	1.20	792.00	792.00	792.00	792.00
423.A	PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE	m3	59.40	59.40	59.40	59.40	219.94	13,064.44	13,064.44	13,064.44	13,064.44
426.A	CEMENTO ASFÁLTICO DE PENETRACIÓN 120-150 (143,10 kg/m	kg	8,500.14	8,500.14	8,500.14	8,500.14	4.04	34,340.57	34,340.57	34,340.57	34,340.57
428.A	ASFALTOS LÍQUIDOS TIPO MC-30 (1.10 l/m2)	l	726.00	726.00	726.00	726.00	3.47	2,519.22	2,519.22	2,519.22	2,519.22
429.A	FILLER MINERAL (41,86 kg/m3)	kg	2,486.48	2,486.48	2,486.48	2,486.48	19.15	47,616.17	47,616.17	47,616.17	47,616.17
430.A	ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA (0,50%PEN)	kg	42.50	42.50	42.50	42.50	17.80	756.51	756.51	756.51	756.51
700	TRANSPORTES							28,760.44	28,439.42	28,439.65	27,690.06
700.A	TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES PARA DISTANCIAS ENTRE 120M Y 1000M	m3 km	405.09	389.39	389.43	352.85	10.37	4,200.78	4,037.97	4,038.39	3,659.05
700.B	TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES PARA DISTANCIAS MAYORES DE 1000M	m3 km	2,248.60	2,164.00	2,163.90	1,965.90	1.87	4,204.88	4,046.68	4,046.49	3,676.23
700.C	TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES PARA DISTANCIAS ENTRE 120M Y 1000M	m3 km	759.08	759.08	759.08	759.08	10.38	7,879.25	7,879.25	7,879.25	7,879.25
700.D	TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES PARA DISTANCIAS MAYORES DE 1000M	m3 km	4,108.20	4,108.20	4,108.20	4,108.20	2.04	8,380.73	8,380.73	8,380.73	8,380.73
700.E	TRANSPORTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA DISTANCIAS HASTA 1000M	m3 km	60.04	60.04	60.04	60.04	13.10	786.52	786.52	786.52	786.52
700.F	TRANSPORTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA DISTANCIAS MAYORES DE 1000M	m3 km	1,621.70	1,621.70	1,621.70	1,621.70	2.04	3,308.27	3,308.27	3,308.27	3,308.27
	TOTAL (\$/.)							175,670.65	177,708.94	182,097.63	180,615.92

Fuente: Elaboración propia (2021)

Anexo 6. Análisis de costos unitarios

– Precios actualizados: Agosto 2021

1. Mano de Obra

Descripción	Unidad	Tarifa hora S/.
Oficial	hh	18.57
Peón	hh	16.79
Capataz "A"	hh	28.19
Operario	hh	23.49
Bonificación por trabajos a altas temperaturas	hh	0.44
Operador especializado de eq. pesado	hh	24.5

2. Materiales

Descripción	Unidad	Tipo de Cambio: S/.4.11	
		Tarifa S/.	Tarifa \$
Geomalla Biaxial EG 30S (3.95 x 50 m)	m2	7.32	1.78
Geomalla Biaxial EG 40S (3.95 x 50 m)	m2	11.51	2.80
Geotextil Tejido FORTEX BX 90 (5,3 x 50 m)	m2	12.78	3.11
Geotextil Tejido FORTEX BX 130 (5,4 x 40 m)	m2	16.6	4.04
Cemento Asfáltico 120/150	kg	1.92	-
Asfalto Líquido MC-30	l	2.12	-
Cal Hidratada	kg	1.35	-
Aditivo Mejorador de Adherencia	kg	17.8	-
Petróleo diésel #2	gal	11.25	-

3. Equipos

Descripción	unidad	Tarifa hora S/.
Tractor de orugas de 190-240 HP	hm	451.66
Excavadora sobre oruga 170-250 HP 1.1-2.75 y3	hm	407.97
Rodillo liso vibratorio autopropulsado 101-135 HP 10-12 ton	hm	203.16
Motoniveladora de 145-150 HP	hm	269.10
Camión imprimador 210 HP de 2000 GLN	hm	197.75
Compresora neumática 87 HP 250-330 PCM	hm	103.31
Minicargador 70 HP	hm	113.29
Rodillo neumático autopropulsado 135 HP 9.26 ton	hm	189.04
Rodillo vib. liso autopropulsado 101-135 HP 10-12 ton	hm	203.16
Pavimentadora sobre orugas 105 HP 10-16" (incluye equipo de transferencia)	hm	200.69
Excavadora sobre oruga 115-165 HP 0.75-1.4 y3	hm	292.68
Tractor de orugas de 140-160 HP	hm	331.96
Rodillo liso vibratorio manual 10.8 HP 0.8-1.1 ton	hm	42.96
Camión cisterna 4x2 (agua) 145-165 HP	hm	179.20
Motobomba 7-10 HP 3-4" (")	hm	10.03
Zaranda estática	hm	10.00
Cargador sobre llanta 125-155 HP 3 yd3	hm	231.82
Grupo electrógeno 116 HP 75 KW	hm	173.36
Zaranda vibratoria 4"x6"x14" motor eléctrico 15 HP (")	hm	52.45
Camión volquete 15 m3	hm	340.24
Faja transportadora 18"x40' motor eléctrico 3 HP 150 ton/h	hm	7.66
Chancadora primaria 15x24 46-70 ton/h	hm	80.84

Grupo electrógeno 140 hp 90 KW	hm	192.77
Planta de asfalto en caliente 150 ton/h	hm	379.62
Grupo electrógeno 380 hp 250 KW	hm	249.85
Cargador sobre llantas 200-250 HP 4-4.1 yd3	hm	306.80

Partida	Descripción
202.B3	Excavación En Material Suelto

	Unidad	Rendimiento/día	Total (S./ Unidad)
	m3	650	5.94

MANO DE OBRA

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Peón	hh	2	0.0246	16.79	0.41
Capataz "A"	hh	0.5	0.0062	28.19	0.17
Precio Unitario Mano de Obra (S/.)					0.58

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Herramientas Manuales	%MO		5%	0.58	0.03
Tractor De Orugas De 190-240 HP	hm	0.5	0.0062	451.66	2.80
Excavadora Sobre Oruga 170-250 HP 1.1-2.75 Y3	hm	0.5	0.0062	407.97	2.53
Precio Unitario Equipos (S/.)					5.36

Partida	Descripción
207.A	Mejoramiento De Suelos

	Unidad	Rendimiento/día	Total (S./ Unidad)
	m3	1	21.09

SUBPARTIDAS

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Corte Para Mejoramiento De Suelos	m3	-	1	8.60	8.60
Conformación De Mejoramiento De Suelos	m3	-	1	12.49	12.49
Precio Unitario Mano de Obra (S/.)					21.09

Partida	Descripción
210.A	Perfilado Y Compactado En Zona De Corte

	Unidad	Rendimiento/día	Total (S./ Unidad)
	m3	2600	2.77

MANO DE OBRA

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Oficial	hh	1	0.0031	18.57	0.06
Peón	hh	4	0.0123	16.79	0.21
Capataz "A"	hh	1	0.0031	28.19	0.09

						Precio Unitario Mano de Obra (S/.)	0.36
EQUIPOS							
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
Herramientas Manuales	%MO		5%	0.36	0.02		
Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 101-135 HP 10-12 ton	hm	1	0.0031	203.16	0.63		
Motoniveladora De 145-150 HP	hm	1	0.0031	269.10	0.83		
						Precio Unitario Equipos (S/.)	1.48
SUBPARTIDAS							
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
Agua Para La Obra	m3		0.03	31.08	0.93		
						Precio Unitario Subpartidas (S/.)	0.93
Partida	Descripción						
212.A	Material De Cantera Para Rellenos						
		Unidad	Rendimiento/día	Total (S/. / Unidad)			
		m3	1	19.62			
SUBPARTIDAS							
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
Extracción De Material (Cantera)	m3	-	1.25	8.73	10.91		
Zarandeo Estático	m3	-	1.25	6.97	8.71		
						Precio Unitario Subpartidas (S/.)	19.62
Partida	Descripción						
401.A	Suministro e Instalación de Geomalla Biaxial EG 30S (3.95 x 50 m)						
		Unidad	Rendimiento/día	Total (S/. / Unidad)			
		m2	800	8.02			
MANO DE OBRA							
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
Capataz "A"	hh	0.5	0.005	28.19	0.14		
Oficial	hh	1	0.01	18.57	0.19		
Peón	hh	2	0.02	16.79	0.34		
						Precio Unitario Mano de Obra (S/.)	0.67
MATERIALES							
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
Geomalla Biaxial EG 30S (3.95 x 50 m)	m2		1	7.32	7.32		
						Precio Unitario Materiales (S/.)	7.32
EQUIPOS							
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
Herramientas Manuales	%		5%	0.67	0.03		
						Precio Unitario Equipos (S/.)	0.03

Partida	Descripción					
401.B	Suministro e Instalación de Geomalla Biaxial EG 40S (3.95 x 50 m)					
		Unidad	Rendimiento/día		Total	
		m2	800		(S/. / Unidad)	
					12.21	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Capataz "A"	hh	0.5	0.005	28.19	0.14
	Oficial	hh	1	0.01	18.57	0.19
	Peón	hh	2	0.02	16.79	0.34
					Precio Unitario Mano de Obra (S/.)	0.67
MATERIALES						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Geomalla Biaxial EG 40S (3.95 x 50 m)	m2		1	11.51	11.51
					Precio Unitario Materiales (S/.)	11.51
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%		5%	0.67	0.03
					Precio Unitario Equipos (S/.)	0.03
401.C	Suministro e Instalación de Geotextil Tejido FORTEX BX 90 (5,3 x 50 m)					
		Unidad	Rendimiento/día		Total	
		m2	800		(S/. / Unidad)	
					13.48	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Capataz "A"	hh	0.5	0.005	28.19	0.14
	Oficial	hh	1	0.01	18.57	0.19
	Peón	hh	2	0.02	16.79	0.34
						0.00
					Precio Unitario Mano de Obra (S/.)	0.67
MATERIALES						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Geotextil Tejido FORTEX BX 90 (5,3 x 50 m)	m2		1	12.78	12.78
					Precio Unitario Materiales (S/.)	12.78
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%		5%	0.67	0.03
					Precio Unitario Equipos (S/.)	0.03

Partida	Descripción					
401.D	Suministro e Instalación De Geotextil Tejido FORTEX BX 130 (5,4 x 40 m)					
		Unidad	Rendimiento/día		Total	
		m2	800		(S/. / Unidad)	
					17.30	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Capataz "A"	hh	0.5	0.005	28.19	0.14
	Oficial	hh	1	0.01	18.57	0.19
	Peón	hh	2	0.02	16.79	0.34
					Precio Unitario Mano de Obra (S/.)	0.67
MATERIALES						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Geotextil Tejido FORTEX BX 130 (5,4 x 40 m)	m2		1	16.60	16.60
					Precio Unitario Materiales (S/.)	16.60
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%		5%	0.67	0.03
					Precio Unitario Equipos (S/.)	0.03
402.A	Subbases Granulares					
		Unidad	Rendimiento/día		Total	
		m3	351		(S/. / Unidad)	
					62.56	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Peón	hh	4	0.0912	16.79	1.53
	Capataz "A"	hh	1	0.0228	28.19	0.64
					Precio Unitario Mano de Obra (S/.)	2.17
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%MO		5%	2.17	0.11
	Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 101-135 HP 10-12 ton	hm	1	0.0228	203.16	4.63
	Motoniveladora De 145-150 HP	hm	1	0.0228	269.10	6.14
					Precio Unitario Equipos (S/.)	10.88
SUBPARTIDAS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Agua Para La Obra	m3		0.12	31.08	3.73
	Material De Sub-Base	m3		1.2	38.15	45.78
					Precio Unitario Subpartidas (S/.)	49.51

Partida	Descripción					
403.A	Bases Granulares					
		Unidad	Rendimiento/día		Total	
		m3	303		(S./ Unidad)	
					73.05	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Peón	hh	4	0.1056	16.79	1.77
	Capataz "A"	hh	1	0.0264	28.19	0.74
					Precio Unitario Mano de Obra (S/.)	2.51
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%MO		5%	2.51	0.13
	Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 101-135 HP 10-12 ton	hm	1	0.0264	203.16	5.36
	Motoniveladora de 145-150 HP	hm	1	0.0264	269.10	7.10
					Precio Unitario Equipos (S/.)	12.59
SUBPARTIDAS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Agua Para La Obra	m3		0.12	31.08	3.73
	Material De Base	m3		1.2	45.18	54.22
					Precio Unitario Subpartidas (S/.)	57.95

Partida	Descripción					
416.A	Imprimación Asfáltica					
		Unidad	Rendimiento/día		Total	
		m3	4500		(S./ Unidad)	
					1.20	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Peón	hh	6	0.0107	16.79	0.18
	Capataz "A"	hh	1	0.0018	28.19	0.05
					Precio Unitario Mano de Obra (S/.)	0.23
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%MO		5%	0.23	0.01
	Camión Imprimador 210 HP de 2000 GLN	hm	1	0.0018	197.75	0.36
	Compresora Neumática 87 HP 250-330 PCM	hm	1	0.0018	103.31	0.19
	Minicargador 70 HP	hm	1	0.0018	113.29	0.20
					Precio Unitario Equipos (S/.)	0.76

SUBPARTIDAS

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Agregado Fino Zarandeado	m3		0.0057	36.17	0.21
Precio Unitario Subpartida (S/.)					0.21
Partida	Descripción				
423.A	Pavimento De Concreto Asfaltico En Caliente				
	Unidad	Rendimiento/día	Total (S./ Unidad)		
	m3	254	219.94		
MANO DE OBRA					
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Bonificación Por Trabajos A Altas Temperaturas	hh	8	0.252	0.44	0.11
Operario	hh	1	0.0315	23.49	0.74
Peón	hh	6	0.189	16.79	3.17
Capataz "A"	hh	1	0.0315	28.19	0.89
Precio Unitario Mano de Obra (S/.)					4.91
EQUIPOS					
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Herramientas Manuales	%MO		5%	4.91	0.25
Rodillo Neumático Autopropulsado 135 HP 9.26 ton	hm	1	0.0315	189.04	5.95
Rodillo Vib. Liso Autopropulsado 101-135 HP 10-12 ton	hm	1	0.0315	203.16	6.40
Pavimentadora Sobre Orugas 105 HP 10-16" (Incluye Equipo De Transferencia)	hm	1	0.0315	200.69	6.32
Precio Unitario Equipos (S/.)					18.92
SUBPARTIDAS					
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mezcla Asfáltica En Caliente	hm		1.3	150.85	196.11
Precio Unitario Subpartida (S/.)					196.11
Partida	Descripción				
426.A	Cemento Asfáltico De Penetración 120-150				
	Unidad	Rendimiento/día	Total (S./ Unidad)		
	kg	-	4.04		
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Cemento Asfáltico 120/150	kg		1	1.92	1.92
Precio Unitario Materiales (S/.)					1.92

Partida	Descripción					
428.A	Asfaltos Líquidos Tipo Mc-30					
			Unidad	Rendimiento/día	Total (S/. / Unidad)	
			1	-	3.47	
MATERIALES						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Asfalto Líquido MC-30	1		1	2.12	2.12
					Precio Unitario Materiales (S/.) 2.12	
429.A	Filler Mineral					
			Unidad	Rendimiento/día	Total (S/. / Unidad)	
			kg	-	19.15	
MATERIALES						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Cal Hidratada	kg		1	1.35	1.35
					Precio Unitario Materiales (S/.) 1.35	
430.A	Aditivo Mejorador De Adherencia					
			Unidad	Rendimiento/día	Total (S/. / Unidad)	
			kg	-	17.80	
MATERIALES						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Aditivo Mejorador De Adherencia	kg		1	17.80	17.80
					Precio Unitario Materiales (S/.) 17.80	
700.A	Transporte De Materiales Granulares Para Distancias Entre 120m y 1000m					
			Unidad	Rendimiento/día	Total (S/. / Unidad)	
			m3-k	388	10.37	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Oficial	hh	0.5	0.0107	18.57	0.20
					Precio Unitario Mano de Obra (S/.) 0.20	
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Camión Volquete 15 m3	hm	1	0.0206	340.24	7.01
	Cargador Sobre Llantas 200-250 HP 4-4.1 yd3	hm	0.5	0.0103	306.8	3.16
					Precio Unitario Equipos (S/.) S/.10.17	

Partida	Descripción					
700.B	Transporte De Materiales Granulares Para Distancias Mayores a 1000m					
		Unidad	Rendimiento/día		Total	
		m3-k	1450		(S./ / Unidad)	
					1.87	
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Camión Volquete 15 m3	hm	1	0.0055	340.24	1.87
					Precio Unitario Equipos (S/.)	1.87
700.C	Transporte De Materiales Excedentes Para Distancias Entre 120m y 1000m					
		Unidad	Rendimiento/día		Total	
		m3-k	358		(S./ / Unidad)	
					10.38	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Oficial	hh	0.5	0.0112	18.57	0.21
					Precio Unitario Mano de Obra (S/.)	0.21
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Camión Volquete 15 m3	hm	1	0.0206	340.24	7.01
	Cargador Sobre Llantas 200-250 HP 4-4.1 yd3	hm	0.5	0.0103	306.8	3.16
					Precio Unitario Equipos (S/.)	10.17
700.D	Transporte De Materiales Granulares Para Distancias Mayores a 1000m					
		Unidad	Rendimiento/día		Total	
		m3-k	1450		(S./ / Unidad)	
					2.04	
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Camión Volquete 15 m3	hm	1	0.006	340.24	2.04
					Precio Unitario Equipos (S/.)	2.04
700.E	Transporte De Mezclas Asfálticas Para Distancias Hasta 1000m					
		Unidad	Rendimiento/día		Total	
		m3-k	219		(S./ / Unidad)	
					13.10	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Oficial	hh	1	0.0365	18.57	0.68
					Precio Unitario Mano de Obra (S/.)	0.68
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Camión Volquete 15 m3	hm	1	0.0365	340.24	12.42
					Precio Unitario Equipos (S/.)	12.42

Partida	Descripción					
700.F	Transporte De Materiales Granulares Para Distancias Mayores A 1000m					
		Unidad		Rendimiento/día	Total (S./ / Unidad)	
		m3-k		1450	2.04	
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Camión Volquete 15 m3	hm	1	0.006	340.24	2.04
				Precio Unitario Equipos (S/.)		2.04
Subpartida	Descripción					
	Corte Para Mejoramiento De Suelos					
		Unidad		Rendimiento/día	Total (S./ / Unidad)	
		m3		416	8.60	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Oficial	hh	1	0.0192	18.57	0.36
	Peón	hh	2	0.0192	16.79	0.32
	Capataz "A"	hh	0.1	0.0019	28.19	0.05
				Precio Unitario Mano de Obra (S/.)		0.73
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%MO		0.05	0.73	0.04
	Excavadora Sobre Oruga 115-165 HP 0.75-1.4 Y3	hm	1	0.0192	407.97	7.83
				Precio Unitario Equipos (S/.)		7.87
Subpartida	Descripción					
	Conformación De Mejoramiento De Suelos					
		Unidad		Rendimiento/día	Total (S./ / Unidad)	
		m3		696	12.49	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Peón	hh	3	0.0345	16.79	0.58
	Capataz "A"	hh	1	0.0115	28.19	0.32
				Precio Unitario Mano de Obra (S/.)		0.90
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%MO		0.05	0.90	0.05
	Tractor De Orugas de 140-160 HP Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 101-135 HP 10-12 ton	hm	0.5	0.0057	331.96	1.89
	Rodillo Liso Vibratorio Manual 10.8 HP 0.8-1.1 ton	hm	1	0.0115	203.16	2.34
	Motoniveladora de 145-150 HP	hm	1	0.0115	42.96	0.49
				269.10	3.09	
				Precio Unitario Equipos (S/.)		7.86
SUBPARTIDA						
	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Total
	Agua Para La Obra	m3		0.12	31.08	3.73
				Precio Unitario Subpartidas (S/.)		3.73

Subpartida	Descripción		Unidad	Rendimiento/día	Total (S. / Unidad)	
	Agua Para La Obra		m3	53	31.08	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Peón	hh	1	0.1509	16.79	2.53
	Precio Unitario Mano de Obra (S/.)					2.53
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Camión Cisterna 4x2 (Agua) 145-165 HP	hm	1	0.1509	179.20	27.04
	Motobomba 7-10 HP 3-4" (")	hm	1	0.1509	10.03	1.51
	Precio Unitario Equipos (S/.)					28.55
Subpartida	Descripción		Unidad	Rendimiento/día	Total (S. / Unidad)	
	Extracción De Material (Cantera)		m3	840	8.73	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Oficial	hh	1	0.0095	18.57	0.18
	Peón	hh	2	0.019	16.79	0.32
	Capataz "A"	hh	0.1	0.001	28.19	0.03
	Precio Unitario Mano de Obra (S/.)					0.53
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%MO		0.05	0.53	0.03
	Tractor De Orugas de 190-240 HP	hm	1	0.0095	451.66	4.29
	Excavadora Sobre Oruga 170-250 HP 1.1-2.75 Y3	hm	1	0.0095	407.97	3.88
	Precio Unitario Equipos (S/.)					8.20
Subpartida	Descripción		Unidad	Rendimiento/día	Total (S. / Unidad)	
	Zarandeo Estático		m3	375	6.97	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Peón	hh	4	0.0853	16.79	1.43
	Capataz "A"	hh	0.5	0.0107	28.19	0.30
	Precio Unitario Mano de Obra (S/.)					1.73
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%MO		0.05	1.73	0.09
	Zaranda Estática	hm	1	0.0213	10.00	0.21
	Cargador Sobre Llanta 125-155 HP 3 yd3	hm	1	0.0213	231.82	4.94
	Precio Unitario Equipos (S/.)					5.24

Subpartida	Descripción		Unidad	Rendimiento/día	Total	
	Material De Sub-Base		m3	1	(S./ / Unidad)	
					38.15	
SUBPARTIDAS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Extracción De Material (Cantera)	m3		1.34	8.73	11.70
	Zarandeo Mecánico	m3		1.34	11.63	15.58
	Transporte Interno D=0.30 Km	m3		1.34	8.11	10.87
					Precio Unitario Subpartidas (S/.)	38.15
Subpartida	Descripción		Unidad	Rendimiento/día	Total	
	Material De Base		m3	1	(S./ / Unidad)	
					45.18	
SUBPARTIDAS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Extracción De Material (Cantera)	m3		1.02	8.73	8.90
	Transporte Cantera - Planta D=1.18 Km	m3		1.02	10.45	10.66
	Zarandeo Y Chancado De Material	m3		1.02	25.12	25.62
					Precio Unitario Subpartidas (S/.)	45.18
Subpartida	Descripción		Unidad	Rendimiento/día	Total	
	Extracción De Material (Cantera)		m3	840	(S./ / Unidad)	
					8.73	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Oficial	hh	1	0.0095	18.57	0.18
	Peón	hh	2	0.019	16.79	0.32
	Capataz "A"	hh	0.1	0.001	28.19	0.03
					Precio Unitario Mano de Obra (S/.)	0.53
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%MO		0.05	0.53	0.03
	Tractor de Orugas de 190-240 HP	hm	1	0.0095	451.66	4.29
	Excavadora Sobre Oruga 170-250 HP 1.1-2.75 Y3	hm	1	0.0095	407.97	3.88
					Precio Unitario Equipos (S/.)	8.20
Subpartida	Descripción		Unidad	Rendimiento/día	Total	
	Zarandeo Mecánico		m3	320	(S./ / Unidad)	
					11.63	
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Peón	hh	2	0.05	16.79	0.84
	Capataz "A"	hh	0.1	0.025	28.19	0.70
					Precio Unitario Mano de Obra (S/.)	1.54

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Herramientas Manuales	%MO		0.05	1.54	0.08
Cargador Sobre Llantas 125-155 HP 3 yd3	hm	0.4267	0.0107	407.97	4.37
Grupo Electrónico 116 HP 75 KW	hm	1	0.025	173.36	4.33
Zaranda Vibratoria 4"x6"x14" Motor Eléctrico 15HP(")	hm	1	0.025	52.45	1.31
Precio Unitario Equipos (S/.)					10.09

Subpartida	Descripción
	Transporte Interno D=0.30 Km

Unidad	Rendimiento/día	Total (S. / Unidad)
m3	475	8.11

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Camión Volquete 15 m3	hm	1	0.0168	340.24	5.72
Cargador Sobre Llantas 125-155 HP 3 yd3	hm	0.6129	0.0103	231.82	2.39
Precio Unitario Equipos (S/.)					8.11

Subpartida	Descripción
	Transporte Cantera-Planta D=1.18 Km

Unidad	Rendimiento/día	Total (S. / Unidad)
m3	338	10.45

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Camión Volquete 15 m3	hm	1	0.0237	340.24	8.06
Cargador Sobre Llantas 125-155 HP 3 yd3	hm	0.4355	0.0103	231.82	2.39
Precio Unitario Equipos (S/.)					10.45

Subpartida	Descripción
	Zarandeo Y Chancado De Material

Unidad	Rendimiento/día	Total (S. / Unidad)
m3	235	25.12

MANO DE OBRA

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Oficial	hh	1	0.034	18.57	0.63
Peón	hh	6	0.2043	16.79	3.43
Capataz "A"	hh	0.1	0.0034	28.19	0.10
Precio Unitario Mano de Obra (S/.)					4.16

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Herramientas Manuales	%MO		0.05	4.16	0.21
Faja Transportadora 18"x40' Motor Eléctrico 3HP 150 ton/h	hm	5	0.1702	7.66	1.30
Cargador Sobre Llantas 125-155 HP 3 yd3	hm	0.3133	0.0107	231.82	2.48
Chancadora Primaria 15x24 46-70 T/H	hm	1	0.034	80.84	2.75
Grupo Electrónico 116 HP 75 KW	hm	1	0.034	173.36	5.89
Grupo Electrónico 140 HP 90 KW	hm	1	0.034	192.77	6.55

Zaranda Vibratoria 4"x6"x14" Motor Eléctrico 15 HP (")	hm	1	0.034	52.45	1.78	
Precio Unitario Equipos (S/.)					20.96	
Subpartida	Descripción Agregado Fino Zarandeado					
		Unidad	Rendimiento/día	Total (S. / Unidad)		
		m3	1	36.17		
SUBPARTIDAS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Zarandeo Mecánico (Agregado Fino/Filtro)	m3		1.02	16.28	16.61
	Extracción De Material (Cantera)	m3		1.02	8.73	8.90
	Transporte Cantera - Planta D=1.18km	m3		1.02	10.45	10.66
Precio Unitario Subpartidas (S/.)					36.17	
Subpartida	Descripción Zarandeo Mecánico (Agregado Fino/Filtro)					
		Unidad	Rendimiento/día	Total (S. / Unidad)		
		m3	183	16.28		
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Peón	hh	3	0.1311	16.79	2.20
	Capataz "A"	hh	1	0.0437	28.19	1.23
Precio Unitario Mano de Obra (S/.)					3.43	
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%MO		0.05	3.43	0.17
	Faja Transportadora 18"x40' Motor Eléctrico 3HP 150 ton/h	hm	1	0.0437	7.66	0.33
	Cargador Sobre Llantas 125-155 HP 3 yd3	hm	0.244	0.0107	231.82	2.48
	Grupo Electrónico 116 HP 75 KW	hm	1	0.0437	173.36	7.58
	Zaranda Vibratoria 4"x6"x14" Motor Eléctrico 15 HP (")	hm	1	0.0437	52.45	2.29
Precio Unitario Equipos (S/.)					12.85	
Subpartida	Descripción Mezcla Asfáltica En Caliente					
		Unidad	Rendimiento/día	Total (S. / Unidad)		
		m3	254	150.85		
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Bonificación Por Trabajos A Altas Temperaturas	hh	7	0.2205	0.44	0.10
	Operario	hh	1	0.0315	23.49	0.74
	Oficial	hh	1	0.0315	18.57	0.58
	Peón	hh	3	0.0945	16.79	1.59
	Capataz "A"	hh	1	0.0315	28.19	0.89
	Operador Especializado De Eq. Pesado	hh	1	0.0315	24.50	0.77
Precio Unitario Mano de Obra (S/.)					4.67	

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Petróleo Diésel #2	gal		5.8	11.25	65.25
Precio Unitario Mano de Obra (S/.)					65.25

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Herramientas Manuales	%MO		0.05	.67	0.23
Planta De Asfalto En Caliente 150 ton/h	hm	1	0.0315	379.62	11.96
Cargador Sobre Llantas 125-155 HP 3 yd3	hm	0.3212	0.0101	231.82	2.34
Grupo Electrónico 116 HP 75 KW	hm	2	0.063	173.36	10.92
Grupo Electrónico 380 HP 250 KW	hm	1	0.0315	249.85	7.87
Precio Unitario Equipos (S/.)					33.32

SUBPARTIDA

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Arena Chancada	m3		0.33	57.97	19.13
Piedra Chancada	m3		0.46	3.96	20.22
Arena Zarandeada	m3		0.28	29.49	8.26
Precio Unitario Subpartidas (S/.)					47.61

Subpartida	Descripción
	Arena Chancada

Unidad	Rendimiento/día	Total (S./ / Unidad)
m3	1	57.97

SUBPARTIDAS

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Extracción De Material (Cantera)	m3		1.02	8.73	8.90
Zarandeo Y Chancado (Arena)	m3		1.02	37.66	38.41
Transporte Cantera - Planta D=1.18km	m3		1.02	10.45	10.66
Precio Unitario Subpartidas (S/.)					57.97

Subpartida	Descripción
	Zarandeo Y Chancado (Arena)

Unidad	Rendimiento/día	Total (S./ / Unidad)
m3	104	37.66

MANO DE OBRA

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Oficial	hh	1	0.0769	18.57	1.43
Peón	hh	4	0.3077	16.79	5.17
Capataz "A"	hh	0.1	0.0077	28.19	0.22
Precio Unitario Mano de Obra (S/.)					6.82

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Herramientas Manuales	%MO		0.05	6.82	0.34
Faja Transportadora 18"x40' Motor Eléctrico 3HP 150 ton/h	hm	5	0.3846	7.66	2.95
Cargador Sobre Llantas 125-155 HP 3 yd3	hm	0.1387	0.0107	231.82	2.48

Chancadora Primaria 15x24 46-70 ton/h	hm	1	0.0769	80.84	6.22	
Grupo Electrónico 140 HP 90 KW	hm	1	0.0769	192.77	14.82	
Zaranda Vibratoria 4"x6"x14"	hm	1	0.0769	52.45	4.03	
Motor Eléctrico 15 HP ("						
Precio Unitario Equipos (S./)					30.84	
Subpartida	Descripción Piedra Chancada					
		Unidad	Rendimiento/día	Total (S./ / Unidad)		
		m3	1	43.96		
SUBPARTIDAS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Extracción De Material (Cantera)	m3		1.02	8.73	8.90
	Zarandeo Y Chancado (Piedra)	m3		1.02	23.92	24.40
	Transporte Cantera - Planta D=1.18km	m3		1.02	10.45	10.66
Precio Unitario Subpartidas (S./)					43.96	
Subpartida	Descripción Zarandeo Y Chancado (Piedra)					
		Unidad	Rendimiento/día	Total (S./ / Unidad)		
		m3	235	23.92		
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Oficial	hh	1	0.034	18.57	0.63
	Peón	hh	4	0.1362	16.79	2.29
	Capataz "A"	hh	0.1	0.0034	28.19	0.10
Precio Unitario Mano de Obra (S./)					3.02	
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%MO		5%	3.02	0.15
	Faja Transportadora 18"x40' Motor Eléctrico 3hp 150 ton/h	hm	5	0.1702	7.66	1.30
	Cargador Sobre Llantas 125-155 HP 3 yd3	hm	0.3133	0.0107	231.82	2.48
	Chancadora Primaria 15x24 46-70 ton/h		1	0.034	80.84	2.75
	Grupo Electrónico 116 HP 75 KW	hm	1	0.034	173.36	5.89
	Grupo Electrónico 140 HP 90 KW	hm	1	0.034	192.77	6.55
	Zaranda Vibratoria 4"x6"x14"	hm	1	0.034	52.45	1.78
	Motor Eléctrico 15 HP ("					
Precio Unitario Equipos (S./)					20.90	
Subpartida	Descripción Arena Zarandeada					
		Unidad	Rendimiento/día	Total (S./ / Unidad)		
		m3	1	29.49		
SUBPARTIDAS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Extracción De Material (Cantera)	m3		1.02	8.73	8.90
	Zarandeo Mecánico	m3		1.02	9.74	9.93
	Transporte Cantera - Planta	m3		1.02	10.45	10.66

D=1.18km

Precio Unitario Subpartidas (S/.) 29.49

Subpartida	Descripción	Unidad	Rendimiento/día	Total (S./ Unidad)		
	Zarandeo Mecánico	m3	320	9.74		
MANO DE OBRA						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Peón	hh	2	0.05	16.79	0.84
	Capataz "A"	hh	1	0.025	28.19	0.70
				Precio Unitario Mano de Obra (S/.)		1.54
EQUIPOS						
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Herramientas Manuales	%MO		5%	1.54	0.08
	Cargador Sobre Llantas 125-155 HP 3 yd3	hm	0.4267	0.0107	231.82	2.48
	Grupo Electrónico 116 HP 75 KW	hm	1	0.025	173.36	4.33
	Zaranda Vibratoria 4"x6"x14"	hm	1	0.025	52.45	1.31
	Motor Eléctrico 15 HP (")					
				Precio Unitario Equipos (S/.)		8.20

Fuente: Elaboración propia (2021)



GOBIERNO
REGIONAL PUNO

Gerencia Regional de
Planeamiento,
Presupuesto y A.T.

Sub Gerencia de
Programación de
Inversiones y C.T.I.

Puno, 30 de setiembre de 2021

AUTORIZACION

Por la presente, autorizamos al Srta. Estefany Kristel Farias Esquivas; a fin de que pueda utilizar los datos, figuras, o fotografías del estudio definitivo para el “Mejoramiento de la carretera PU 135 Checca – Mazocruz” (componente de ingeniería) para la elaboración de su tesis.

Sin otro particular, me despido

Atentamente,

GOBIERNO REGIONAL PUNO
Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y A.T.

Ing. Roger Mamani Mamani
Sub Gerente de Programación de Inversiones y C.T.I.

C.c.



GOBIERNO REGIONAL PUNO

Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial
Sub Gerencia de Programación de Inversiones y C.T.I.

INFORME N° 616 -2021-GR PUNO/GRPPAT-SGPICTI

PARA : ING. ROGER MAMANI MAMANI
Sub Gerencia de Programación de Inversiones y C. T. I.
ASUNTO : Solicitud de Autorización de uso de Datos.
REFER. : Carta dirigida al Gobernador Regional de Puno.
FECHA : Puno, 2021 setiembre 17.



Mediante el presente me dirijo a usted, a fin de hacerle conocer respecto al documento de la referencia, mediante el cual Estefany Kristel Farias Esquivas, solicita acceso al Estudio Definitivo del proyecto "Mejoramiento de la carretera Checca –Mazocruz (ruta PU-135)".

ANTECEDENTES:

- Carta dirigida al Gobernador Regional de Puno Lic. Agustín Luque Chayña, por Estefany Kristel Farias Esquivas, quien solicita acceso al Estudio Definitivo del proyecto "Mejoramiento de la carretera Checca –Mazocruz (ruta PU-135)", para el desarrollo de tesis "Evaluación técnico-económica aplicando geosintéticos frente a la sustitución de material para el mejoramiento de la subrasante de la carretera PU 135 Checca-Mazocruz-Puno".

ANALISIS:

La petición de acceso al Estudio Definitivo del proyecto "Mejoramiento de la carretera Checca – Mazocruz (ruta PU-135)", por parte de Estefany Kristel Farias Esquivas, es con la finalidad de desarrollar la tesis titulada "Evaluación técnico-económica aplicando geosintéticos frente a la sustitución de material para el mejoramiento de la subrasante de la carretera PU 135 Checca-Mazocruz-Puno". No precisa si es egresada, sin embargo se indica que dicha Tesis será presentada a la Universidad Ricardo Palma de Lima.

Sobre el particular manifestarle que, el proyecto antes indicado fue aprobado y declarado viable en mayo del año 2014 por la ex Sub Gerencia de Inversión Pública y Cooperación Técnica Internacional, que hacía las veces de Oficina de Programación de Inversiones (OPI), y el documento en físico fue remitido a Archivo Institucional de nuestra entidad. Respecto al Estudio Definitivo de dicho proyecto señalar que no se encuentra en ésta Sub Gerencia, ya que el desarrollo de dichos estudios estuvieron a cargo de la Gerencia Regional de Infraestructura, por lo tanto es necesario que la documentación requerida por la solicitante, sea atendida por quien corresponda.

Es cuanto se informa a usted, para su conocimiento y fines consiguientes.

Atentamente,

ING. MARIO E. COZLA MAMANI
ESPECIALISTA EN EVALUACIÓN DE PROYECTOS IV



cc. Archivo
REG. 2095-2021-SGPICTI
Se adjunta 02 folios.
MECM/.

Lima, 10 de setiembre de 2021

Señor:

Agustin Luque Chayña
Gobernador Regional de Puno
Presente.-

Ref.: Solicitud de Autorización de uso de Datos

GOBIERNO REGIONAL PUNO	
TRAMITE DOCUMENTARIO	
10 SET. 2021	
FOLIO 02	N° REG 8271
HORA 13:20	FIRMA

De mi consideración:

Por medio de la presente, solicito de la manera más atenta, una autorización simple para el uso de datos comprendidos en:

- a) Estudio definitivo para el mejoramiento de la carretera PU 135 Checca-Mazocruz (componente de Ingeniería).

Dicha información se encuentra en la página de Provias Nacional. Sin embargo, por ser un documento perteneciente al Gobierno Regional de Puno, se cree pertinente solicitar una autorización a su entidad.

La presente solicitud se requiere para el desarrollo la tesis "Evaluación técnico-económica aplicando geosintéticos frente a la sustitución de material para el mejoramiento de la subrasante de la carretera PU 135 Checca-Mazocruz-Puno", la cual se presentará en la Universidad Ricardo Palma, Lima.

Atentamente,

Estefany Kristel Farias Esquivas
DNI N° 70438253
Dirección: Calle Paris 117 Urb. Achirana, Santa Anita.
E-mail: Estefany.farias@urp.edu.pe
Teléfono: 986607392

GOBIERNO REGIONAL PUNO	
GRPPAT-SUB GERENCIA DE PROGRAMACION DE INVERSIONES Y C.E.L.	
RECIBIDO	
13 SEP 2021	
N° Reg: 2095	Folios: -02-
Hora: 11:25	Firma:

GOBIERNO REGIONAL PUNO	
PRESIDENCIA	
RECIBIDO	
10 SEP 2021	
Reg: 5955	Folios: 02
Hora: 15:30	Firma: