

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS:

**“MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO
FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAXIALES
PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA**

**ASESOR:
Mag. Ing. OSCAR FREDY ALVA VILLACORTA**

HUARAZ – ANCASH – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A Dios:

En especial al Patrón “San Miguel Arcángel de Chicney” por guiarme por el buen camino, siendo mi apoyo, luz y camino.

A mis padres:

A mi madre Norma Isabel Cancha Luna y a mi padre Agripino Justiniano Rosas, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis sueños, por su amor y apoyo incondicional en mis años de estudios.

A mis hermanas:

Yanina Maritza Justiniano Cancha y Tania Yesenia Justiniano Cancha, por acompañarme en este camino, por apoyarme desde principio hasta fin.

A mis familiares:

A mis abuelos, tíos, tías, primos y primas que siempre me han mostrado su cariño, confianza y constante motivación en el transcurso mi vida para alcanzar mis metas profesionales.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mis padres Norma y Agripino, hermanas Yanina y Tania, por todo el amor incondicional que me han dado y el cual me ha ayudado a ser una mejor persona.

A mi querida Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, a mis docentes quienes con sus enseñanzas de sus valiosos conocimientos me motivaron a desarrollarme como persona y profesional.

A mis primos Niker y Bequer con quienes compartí momentos inolvidables de mi vida, gracias por sus expresiones de apoyo y consejos que me impulsan a seguir creciendo profesionalmente.

Agradezco especialmente a mi asesor; el ingeniero Oscar Fredy Alva Villacorta quien me brindo su tiempo, conocimientos y apoyo incondicional, para la realización de esta tesis.

Heyner Reynaldo Justiniano Cancha.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	xii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xviii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL	4
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	5
1.3.1. METODOLÓGICA	6
1.3.2. PRÁCTICA.....	6
1.3.3. ECONÓMICA	6
1.3.4. SOCIAL	6
1.3.5. LEGAL.....	7
1.3.6. TEÓRICA	7
1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
1.4.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL	8
1.4.2. DELIMITACIÓN TÉCNICA.....	8
1.4.3. DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	8
1.4.4. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	9
1.5. OBJETIVOS DE LA TESIS	9
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	9
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.6. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	10
1.6.1. HIPÓTESIS.....	10

1.6.2. VARIABLES	11
1.6.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	13
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	13
2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	16
2.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	18
2.3. BASES TEÓRICAS.....	21
2.3.1. PAVIMENTOS.....	21
2.3.2. GEOSINTÉTICOS	30
2.3.3. PAVIMENTO REFORZADO CON GEOMALLAS	35
2.3.4. MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.....	39
2.3.5. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO.....	42
2.3.6. ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	50
2.3.7. MODELIZACIÓN NUMÉRICA DEL PAVIMENTO.....	51
2.3.8. PROGRAMA COMPUTACIONAL (PLAXIS 2D)	54
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	55
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	56
3.1. PERSPECTIVA METODOLÓGICA	56
3.1.1. MÉTODO.....	56
3.1.2. ORIENTACIÓN DE INVESTIGACIÓN	56
3.1.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	56
3.1.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN	57
3.1.5. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	57
3.1.6. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	57
3.2. POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA.....	57
3.2.1. POBLACIÓN.....	57
3.2.2. TAMAÑO DE MUESTRA	58
3.3. PLAN DE RECOPIACIÓN DE DATOS	59
3.4. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	61
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	63
3.5.1. TÉCNICAS	63
3.5.2. INSTRUMENTOS.....	63

3.6. RECURSOS EMPLEADOS	64
3.6.1. RECURSOS TÉCNICOS	64
3.6.2. MATERIALES Y EQUIPOS	64
3.6.3. RECURSOS HUMANOS.....	65
3.7. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	65
CAPÍTULO IV: MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE	66
4.1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	66
4.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	66
4.1.2. LÍMITES DE LA ZONA DE ESTUDIO	69
4.1.3. VÍA PRINCIPAL DE ACCESO	70
4.2. ESTUDIOS BÁSICOS.....	71
4.2.1. ESTUDIO DE TRÁFICO	71
4.2.2. ESTUDIO DE SUELOS	93
4.3. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.....	116
4.3.1. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE SIN GEOMALLAS BIAXIALES (MÉTODO AASHTO 93).....	116
4.3.2. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS BIAXIALES (AASHTO– R50)	130
4.4. MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE	146
4.4.1. PARÁMETROS PARA LA MODELIZACIÓN NUMÉRICA	146
4.4.2. MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE SIN GEOMALLAS BIAXIALES	156
4.4.3. MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS BIAXIALES	164
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	178
5.1. RESULTADOS DEL DISEÑO.....	178
5.1.1. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE SIN GEOMALLAS BIAXIALES	178
5.1.2. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS BIAXIALES	179
5.2. RESULTADOS DE LA MODELIZACIÓN NUMÉRICA	180
5.2.1. MODELO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE SIN GEOMALLAS BIAXIALES	180
5.2.2. MODELO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS BIAXIALES	180
5.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	182
5.4. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	187
5.4.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS GENERAL PLANTEADA	187
5.4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS PLANTEADAS.....	188
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	189

6.1. CONCLUSIONES	189
6.2. RECOMENDACIONES	191
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	192
ANEXOS	195
ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	195
ANEXO 02: ESTUDIO DE TRÁFICO	197
ANEXO 03: ESTUDIO DE SUELOS	224
ANEXO 04: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE GEOMALLA BIAXIAL	244
ANEXO 05: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE SIN REFUERZO	247
ANEXO 06: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFUERZO	250
ANEXO 07: MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE SIN REFUERZO	255
ANEXO 08: MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFUERZO	264
ANEXO 09: PANEL FOTOGRÁFICO	285

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Deterioro de la superficie del tramo Pariacoto - Yupash	14
Figura 2 Deformación por defectos estructurales y baches - Carretera Casma - Huaraz	15
Figura 3 Configuración de un pavimento flexible.....	26
Figura 4 El impacto de la inclusión de polímeros en la sensibilidad térmica del asfalto	28
Figura 5 Clasificación de los Geosintéticos	32
Figura 6 Ubicación de una geomalla dentro de la estructura del pavimento.....	35
Figura 7 Dispositivo para mejorar la capacidad de carga o soporte	37
Figura 8 Maqueta de geomalla como refuerzo del pavimento	38
Figura 9 CBR subrasante Vs. Espesor de base para 10 Millones (ESAL)	44
Figura 10 CBR subrasante Vs. Espesor de base para 50 Millones (ESAL)	45
Figura 11 TBR Vs. CBR de la Subrasante	46
Figura 12 TBR Vs. ESAL de Diseño	46
Figura 13 LCR Vs. CBR de la Subrasante - Pavco	47
Figura 14 LCR Vs. CBR de la Subrasante - MacGrid	48
Figura 15 Modelo de Elementos Finitos	50
Figura 16 Modelo de pavimento de base finita y subrasante infinita.....	51
Figura 17 Discretizado de pavimento por elementos finitos	52
Figura 18 Modelado de proyectos complejos de geoingeniería	54
Figura 19 Población y Tamaño de muestra (Tramo Pariacoto – Yupash).....	58
Figura 20 Ubicación Política del tramo Pariacoto - Yupash	67
Figura 21 Ubicación Geográfica del tramo Pariacoto - Yupash.....	68
Figura 22 Punto inicial Km. 56 + 480 del tramo Pariacoto - Yupash	69
Figura 23 Punto final Km. 95 + 805 del tramo Pariacoto - Yupash	70
Figura 24 Estación de conteo vehicular – Puente de Pariacoto.....	72
Figura 25 Factores de corrección de vehículos ligeros por unidad de peaje	76

Figura 26 Factores de corrección de vehículos pesados por unidad de peaje.....	77
Figura 27 Composición del tráfico vehicular – IMDA 2022.....	80
Figura 28 Tasa de crecimiento para vehículos ligeros y vehículos pesados.....	82
Figura 29 Composición del tráfico vehicular – IMDA 2026.....	84
Figura 30 Factor direccional y Factor carril.....	85
Figura 31 Configuración de Ejes.....	87
Figura 32 Relación de cargas por eje para calcular EE.....	88
Figura 33 Factor por presión de contacto de neumático (Fp) para (EE).....	91
Figura 34 Determinación CBR de diseño (Km. 56+480 al Km. 87+500).....	113
Figura 35 Determinación CBR de diseño (Km. 87+500 al Km. 95+805).....	115
Figura 36 Número de Repeticiones acumuladas de EE de 8.2 t, en Carril de Diseño.....	118
Figura 37 Valores de Niveles de Confiabilidad.....	119
Figura 38 Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) para una etapa de diseño (10 o 20 años).....	120
Figura 39 Índice de serviciabilidad inicial (Pi) según categoría de tráfico.....	122
Figura 40 Índice de serviciabilidad final (Pt) según categoría de tráfico.....	123
Figura 41 Coeficiente estructural de cada componente del pavimento (ai).....	126
Figura 42 Ábaco de relación LCR vs CBR.....	132
Figura 43 Ábaco de relación TBR vs CBR.....	136
Figura 44 Comparación de espesores granulares según Giroud y Han.....	145
Figura 45 Módulos elásticos (E) típicos en materiales para pavimentación.....	148
Figura 46 Coeficientes de Poisson (v) típicos en materiales para pavimentación.....	149
Figura 47 Propiedades típicas de suelos compactados.....	152
Figura 48 Valores de coeficientes de permeabilidad.....	154
Figura 49 Discretización del pavimento sin refuerzo, Km. 56+480 al Km. 87+500.....	157
Figura 50 Condiciones iniciales pavimento sin refuerzo, Km. 56+480 al Km. 87+500.....	157
Figura 51 Comprobación de las fases de construcción, Km. 56+480 al Km. 87+500.....	158

Figura 52 Deformaciones totales sin refuerzo, Km. 56+480 al Km. 87+500.....	158
Figura 53 Desplazamientos totales sin refuerzo, Km. 56+480 al Km. 87+500.....	159
Figura 54 Esfuerzos totales sin refuerzo, Km. 56+480 al Km. 87+500	159
Figura 55 Discretización del pavimento sin refuerzo, Km. 87+500 al Km. 95+805.....	161
Figura 56 Condiciones iniciales pavimento sin refuerzo, Km. 87+500 al Km. 95+805	161
Figura 57 Comprobación de las fases de construcción, Km. 87+500 al Km. 95+805	162
Figura 58 Deformaciones totales sin refuerzo, Km. 87+500 al Km. 95+805.....	162
Figura 59 Desplazamientos totales sin refuerzo, Km. 87+500 al Km. 95+805.....	163
Figura 60 Esfuerzos totales sin refuerzo, Km. 87+500 al Km. 95+805	163
Figura 61 Discretización con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 56+480 al Km. 87+500.....	165
Figura 62 Condiciones iniciales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 56+480 al Km. 87+500.....	165
Figura 63 Comprobación de fases con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 56+480 al Km. 87+500.....	166
Figura 64 Deformaciones totales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 56+480 al Km. 87+500	166
Figura 65 Desplazamientos totales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 56+480 al Km. 87+500.....	167
Figura 66 Esfuerzos totales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 56+480 al Km. 87+500.....	167
Figura 67 Discretización con refuerzo (Asfalto – Base), Km. 56+480 al Km. 87+500	168
Figura 68 Condiciones iniciales con refuerzo (Asfalto – Base), Km. 56+480 al Km. 87+500	168
Figura 69 Comprobación de fases con refuerzo (Asfalto – Base), Km. 56+480 al Km. 87+500.....	169
Figura 70 Deformaciones totales con refuerzo (Asfalto - Base), Km. 56+480 al Km. 87+500	169
Figura 71 Desplazamientos totales con refuerzo (Asfalto - Base), Km. 56+480 al Km. 87+500	170
Figura 72 Esfuerzos totales con refuerzo (Asfalto - Base), Km. 56+480 al Km. 87+500.....	170
Figura 73 Discretización con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 87+500 al Km. 95+805	172
Figura 74 Condiciones iniciales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 87+500 al Km. 95+805.....	172
Figura 75 Comprobación de fases con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 87+500 al Km. 95+805.....	173
Figura 76 Deformaciones totales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 87+500 al Km. 95+805	173
Figura 77 Desplazamientos totales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 87+500 al Km. 95+805.....	174
Figura 78 Esfuerzos totales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 87+500 al Km. 95+805	174

Figura 79 Discretización con refuerzo (Asfalto – Base), Km. 87+500 al Km. 95+805	175
Figura 80 Condiciones iniciales con refuerzo (Asfalto – Base), Km. 87+500 al Km. 95+805	175
Figura 81 Comprobación de fases con refuerzo (Asfalto – Base), Km. 87+500 al Km. 95+805	176
Figura 82 Deformaciones totales con refuerzo (Asfalto - Base), Km. 87+500 al Km. 95+805	176
Figura 83 Desplazamientos totales con refuerzo (Asfalto - Base), Km. 87+500 al Km. 95+805	177
Figura 84 Esfuerzos totales con refuerzo (Asfalto - Base), Km. 87+500 al Km. 95+805	177
Figura 85 Desplazamiento vertical máximo, Km. 56+480 al Km. 87+500.....	185
Figura 86 Desplazamiento vertical máximo, Km. 87+500 al Km. 95+805.....	187

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de las variables	12
Tabla 2 Categorías de Sub rasante.....	36
Tabla 3 Ubicación Política del tramo de estudio.....	66
Tabla 4 Ubicación Geográfica en coordenadas UTM del tramo de estudio	68
Tabla 5 Altitud del tramo de estudio	68
Tabla 6 Resumen de clasificación diaria de tráfico por sentido	73
Tabla 7 Índice medio diario semanal (Sentido: A Casma)	74
Tabla 8 Índice medio diario semanal (Sentido: A Huaraz)	75
Tabla 9 Índice medio diario semanal (Sentido: Ambos)	75
Tabla 10 Factores de corrección estacional: Estación de Vesique	78
Tabla 11 Índice medio diario anual (Sentido: A Casma)	78
Tabla 12 Índice medio diario anual (Sentido: A Huaraz).....	79
Tabla 13 Índice medio diario anual (Sentido: Ambos).....	79
Tabla 14 Índice medio diario anual - 2022.....	81
Tabla 15 Tasa de crecimiento: Vehículos ligeros y vehículos pesados - Ancash.....	83
Tabla 16 Índice medio diario anual proyectado - 2026	83
Tabla 17 Factor Direccional (Fd) y de Carril (Fc).....	86
Tabla 18 Factor de crecimiento acumulado (Fca)	86
Tabla 19 Factores de eje equivalente, tramo Pariacoto - Yupash.....	89
Tabla 20 Número de Repeticiones de EE (ESAL), Tramo Pariacoto - Yupash	92
Tabla 21 Datos de la Cantera Casa Blanca.....	102
Tabla 22 Características de la cantera Casa Blanca.....	103
Tabla 23 Clasificación AASHTO (Km. 56+480 al Km. 87+500).....	104
Tabla 24 Clasificación SUCS (Km. 56+480 al Km. 87+500)	105
Tabla 25 Clasificación AASHTO (Km. 85+500 al Km. 95+805).....	106

Tabla 26 Clasificación SUCS (Km. 85+500 al Km. 95+805)	106
Tabla 27 Perfil estratigráfico (Km. 56+480 al Km. 63+555)	107
Tabla 28 Perfil estratigráfico (Km. 63+840 al Km. 71+060)	107
Tabla 29 Perfil estratigráfico (Km. 71+340 al Km. 77+090)	108
Tabla 30 Perfil estratigráfico (Km. 77+440 al Km. 84+050)	109
Tabla 31 Perfil estratigráfico (Km. 84+300 al Km. 91+000)	110
Tabla 32 Perfil estratigráfico (Km. 91+250 al Km. 95+750)	110
Tabla 33 Resumen de CBR del Tramo Pariacoto – Yupash.....	112
Tabla 34 CBR Representativo (Km. 56+480 al Km. 87+500)	113
Tabla 35 CBR de Diseño (Km. 56+480 al Km. 87+500)	114
Tabla 36 CBR Representativo (Km. 87+500 al Km. 95+805)	114
Tabla 37 CBR de Diseño (Km. 87+500 al Km. 95+805)	115
Tabla 38 Periodo de diseño	116
Tabla 39 Ejes equivalentes (W_{18})	117
Tabla 40 Módulo de Resiliencia (M_R).....	117
Tabla 41 Nivel de Confiabilidad (R).....	119
Tabla 42 Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Z_R).....	120
Tabla 43 Desviación estándar combinada (S_o)	121
Tabla 44 Serviciabilidad Inicial (P_i).....	122
Tabla 45 Serviciabilidad Final (P_T).....	123
Tabla 46 Variación de serviciabilidad (ΔPSI)	124
Tabla 47 Recopilación de parámetros de diseño del tramo Pariacoto - Yupash.....	124
Tabla 48 Número Estructural SNR (Requerido), Tramo Pariacoto - Yupash	125
Tabla 49 Coeficiente estructural de cada componente del pavimento.....	127
Tabla 50 Coeficientes de drenaje de las capas del pavimento	127
Tabla 51 Número Estructural SNR (Propuesto), Km. 56+480 al Km. 87+500	128
Tabla 52 Número Estructural SNR (Propuesto), Km. 87+500 al Km. 95+805	128

Tabla 53 Espesores del Pavimento sin refuerzo “AASHTO”, Km. 56+480 al Km. 87+500	129
Tabla 54 Espesores del Pavimento sin refuerzo “AASHTO”, Km. 87+500 al Km. 95+805	129
Tabla 55 Propiedades de la Geomalla Biaxial BXSQ2020	130
Tabla 56 Valor del coeficiente “LCR” del Tramo Pariacoto - Yupash	133
Tabla 57 Espesores del Pavimento con refuerzo “LCR”, Km. 56+480 al Km. 87+500.....	135
Tabla 58 Espesores del Pavimento con refuerzo “LCR”, Km. 87+500 al Km. 95+805.....	135
Tabla 59 Valor del coeficiente “TBR” del Tramo Pariacoto - Yupash	137
Tabla 60 Parámetros de Diseño para W_{18} Reforzado, Km. 56+480 al Km. 87+500	138
Tabla 61 Parámetros de Diseño para W_{18} Reforzado, Km. 87+500 al Km. 95+805	138
Tabla 62 Espesores del Pavimento con refuerzo “TBR”, Km. 56+480 al Km. 87+500.....	140
Tabla 63 Espesores del Pavimento con refuerzo “TBR”, Km. 87+500 al Km. 95+805.....	140
Tabla 64 Parámetros de diseño para método de Giroud y Han	142
Tabla 65 Comparación de espesores de diseño (Giroud y Han).....	145
Tabla 66 Tipo de material de la configuración del pavimento	146
Tabla 67 Modelo de material de cada componente del pavimento.....	147
Tabla 68 Módulo elástico (E) de cada componente del pavimento.....	149
Tabla 69 Coeficiente de Poisson (ν) de cada componente del pavimento.....	150
Tabla 70 Peso específico seco de las capas del pavimento.....	150
Tabla 71 Peso específico saturado de las capas del pavimento	151
Tabla 72 Cohesión de cada componente del pavimento.....	151
Tabla 73 Ángulo de fricción (ϕ) de las capas del pavimento.....	152
Tabla 74 Ángulo de dilatación (ψ) de las capas del pavimento.....	153
Tabla 75 Coeficiente de permeabilidad (K) de cada componente del pavimento	154
Tabla 76 Parámetros elásticos de la Geomalla Biaxial BXSQ2020	155
Tabla 77 Carga aplicada al pavimento flexible, Tramo Pariacoto - Yupash	155
Tabla 78 Propiedades de los materiales sin refuerzo, Km. 56+480 al Km. 87+500.....	156
Tabla 79 Propiedades de los materiales sin refuerzo, Km. 87+500 al Km. 95+805.....	160

Tabla 80 Propiedades de materiales con reforzamiento, Km. 56+480 al Km. 87+500	164
Tabla 81 Propiedades de materiales con reforzamiento, Km. 87+500 al Km. 95+805	171
Tabla 82 Espesores finales según AASHTO 93	178
Tabla 83 Espesores finales del Km. 56+480 al Km. 87+500 según AASHTO R-50	179
Tabla 84 Espesores finales del Km. 87+500 al Km. 95+805 según AASHTO R-50	179
Tabla 85 Espesores finales del tramo más crítico según Giroud y Han.....	180
Tabla 86 Resultados del Modelo 01 y Modelo 02 sin reforzamiento	180
Tabla 87 Resultados del Modelo 03 y Modelo 04 con reforzamiento	181
Tabla 88 Resultados del Modelo 05 y Modelo 06 con reforzamiento	181
Tabla 89 Comparación de espesores, según AASHTO 93	182
Tabla 90 Comparación de espesores, según AASHTO 93 y AASHTO R-50	183
Tabla 91 Comparación de resultados, Modelo 01 con Modelo 03 y Modelo 04	184
Tabla 92 Comparación de resultados, Modelo 02 con Modelo 05 y Modelo 06	186

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo, desarrollar la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz, para lograrlo se empleó el enfoque metodológico AASHTO 93 en el diseño de pavimento flexible sin reforzamiento, AASHTO R-50 en el diseño de pavimento flexible con reforzamiento y el software Plaxis 2D en la modelización numérica.

Para ello, fue necesario realizar un análisis actualizado del tráfico de vehículos y un estudio del suelo del tramo considerado. A partir de estos estudios, se obtuvieron parámetros de diseño cruciales, como el número de repeticiones de EE de 8,2t y el CBR de la subrasante, entre otros. El estudio es de naturaleza descriptiva, de enfoque cuantitativo, no experimental y de diseño transversal.

Por lo tanto, en esta investigación al incorporar la Geomalla Biaxial BXSQ2020 en el diseño se ha reducido el espesor de la Base, Sub Base consiguiendo una reducción del espesor de dichas capas en un 25% para el diseño con “LCR” y en un 30% para un diseño con “TBR”. También se logró analizar con éxito seis distintos modelos generados en el software Plaxis 2D de ordenador de elementos finitos bidimensionales, donde se puede apreciar que al reforzar el pavimento la deformación, el desplazamiento vertical y los esfuerzos disminuyen considerablemente. Por ello, el diseño de pavimentos con refuerzo de una geomalla biaxial es una opción práctica y razonable.

Palabras Claves: Modelización numérica, diseño de pavimento flexible, parámetros de diseño, elementos finitos, geomalla biaxial, espesor del pavimento.

ABSTRACT

The objective of this work is to develop the numerical modeling and design of flexible pavement with reinforcement of biaxial geogrids for the reduction of thickness in the pavement of the Pariacoto - Yupash section of the Casma - Huaraz highway, to achieve this, the AASHTO 93 methodological approach was used. in the design of flexible pavement without reinforcement, AASHTO R-50 in the design of flexible pavement with reinforcement and the Plaxis 2D software in numerical modeling.

For this, it was necessary to carry out an updated analysis of vehicle traffic and a study of the soil of the considered section. From these studies, crucial design parameters such as the number of 8.2t SE repeats and the CBR of the subgrade, among others, were derived. The study is descriptive in nature, with a quantitative, non-experimental approach and a cross-sectional design.

Therefore, in this research, by incorporating the Biaxial Geogrid BXSQ2020 in the design, the thickness of the Base and Sub Base has been reduced, achieving a reduction in the thickness of said layers by 25% for the design with "LCR" and by 30 % for a design with "TBR". It was also possible to successfully analyze six different models generated in the Plaxis 2D two-dimensional finite element computer software, where it can be seen that when the pavement is reinforced, the deformation, vertical displacement and stress decrease considerably. Therefore, the design of pavements with biaxial geogrid reinforcement is a practical and reasonable option.

Keywords: Numerical modelling, flexible pavement design, design parameters, finite elements, biaxial geogrid, pavement thickness.

INTRODUCCIÓN

El considerable grosor de las capas del pavimento ha sido históricamente uno de los problemas de diseño de los proyectos de infraestructura vial, es por ello que en la presente investigación es importante introducir nuevas metodologías y técnicas que permitan optimizar los espesores del pavimento, la reducción del espesor del pavimento, la mejora de la distribución de las tensiones, la reducción de los costes de construcción y la prolongación de la vida útil del pavimento han sido posibles gracias al manejo de geomallas biaxiales como sistema de reforzamiento.

En consecuencia, para el diseño de pavimentos sin reforzamiento y con reforzamiento de geomallas biaxiales se consideraron lo siguiente: Metodología AASHTO 93, AASHTO R-50, Norma Técnica Peruana, Reglamentos del Órgano del poder ejecutivo del MTC, Manual de carreteras – Sección Suelos y Pavimentos, Manual de Plaxis 2D.

La presente investigación se ha dividido en los siguientes capítulos:

Se explica el escenario problemático, se formula el problema y se exponen los fundamentos de justificación, delimitación del problema; así como el objetivo general y específicos, hipótesis y variables que intervienen en la investigación, todo ello se desarrolla en el capítulo I planteamiento de la investigación.

El telón de fondo del tema, los antecedentes de la investigación, incluido antecedentes referidos al diseño del pavimento con reforzamiento de una geomalla biaxial y varias ideas discutidas en las bases teóricas, se abordan en el marco teórico del capítulo II.

La metodología de investigación se aborda en su totalidad en el capítulo III, incluyendo el punto de vista metodológico, la población y el tamaño de la muestra, la estrategia de recolección de datos, el plan de tratamiento de la información, las metodologías e instrumentos, los recursos empleados y el análisis de la información.

El capítulo IV desarrolla la modelización numérica y diseño de pavimento flexible, teniendo en cuenta las consideraciones generales como la ubicación del área de estudio, límites del área de estudio; así como estudios fundamentales del tráfico vehicular y los estudios del suelo, seguidamente del diseño y modelización del pavimento flexible sin y con reforzamiento de geomallas biaxiales.

Los resultados y discusión se detallan en el capítulo V, para ello se desarrolló un resumen de resultados del diseño según AASHTO 93 y AASHTO R-50 y resultados de la modelización numérica proporcionados por el software Plaxis 2D; así como la contrastación de la hipótesis.

Las conclusiones y recomendaciones se presentan en el capítulo VI, así mismo en la parte final se adjunta los apartados tales como referencia bibliográfica y anexos correspondientes.

Finalmente, el objetivo de este proyecto es disminuir el espesor del pavimento en el tramo de la carretera Pariacoto - Yupash, principalmente mediante la modelización numérica y diseño del pavimento flexible con refuerzo de una geomalla biaxial. Para ello se calculó el espesor del pavimento utilizando hojas de cálculo Excel y las deformaciones, desplazamientos y tensiones inducidas en el pavimento se calcularon utilizando el programa computacional Plaxis 2D, que tiene un ordenador de elementos finitos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En el ámbito internacional, en las construcciones de vías de acceso uno de los problemas que siempre surgían en el proceso diseño, ha sido el gran espesor de las capas de un pavimento, por ello principalmente en Europa y Estados Unidos empezaron a emplear sistemas de refuerzo en el pavimento mediante la aplicación de geomallas para disminuir el espesor del pavimento, prolongación de la vida útil y reducir costos.

A nivel nacional, en el Perú el manejo de geosintéticos en especial el empleo de geomallas biaxiales ha tenido un notable crecimiento en esta última década, es el caso de la Carretera Interoceánica Sur tramo que conecta los centros poblados de Kcauri y Pampacamara en la Región Cusco, donde se utilizó geomallas biaxiales sobre el suelo de baja calidad, logrando un aumento en la capacidad de resistencia del suelo, rapidez en el proceso constructivo, esta solución técnica se ha transformado en una opción para

solucionar el problema de grandes espesores en la configuración de un pavimento en proyectos de ingeniería y su utilización ha sido una solución para reducir notablemente el espesor del pavimento, mejorar la distribución de esfuerzos en la estructura y alargar la existencia del pavimento flexible.

Actualmente a nivel local, en la Región Ancash debido al constante crecimiento poblacional y demográfico la construcción de nuevas vías de acceso sea vuelto necesaria para desarrollar el nivel de vida de sus habitantes, puesto que uno de los problemas recurrentes en el diseño de vías de acceso son los grandes espesores del pavimento flexible y el alto costo de ejecución que esto tiene, es así que han surgido nuevas técnicas para solucionar esta problemática, una de estas es el aprovechamiento de geomallas biaxiales como refuerzo para obras de infraestructura vial que tengan una alta calidad técnica, equilibrio económico y disminuyendo el impacto ambiental.

Además en el tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz, que está comprendido conforme con el Ministerio de transportes y comunicaciones como la ruta 14 de la Red Vial Nacional (PE-14) no se ha efectuado un estudio de tránsito vehicular actualizado, teniendo como consecuencia el incremento de accidentes vehiculares, a esto se suma lo descuidado que se encuentra esta importante vía que conecta la zona costa y sierra de Ancash, en el trayecto se puede contemplar que la carpeta de rodadura muestra fisuras longitudinales, fisuras transversales, exudación y desprendimientos, entre otros, todos estos factores han hecho que se implementen nuevas técnicas como son el manejo de geomallas biaxiales en el proceso constructivo de pavimentos.

Así en este sentido, como investigador me veo en la necesidad de aportar con estudios, cálculos, resultados, conclusiones y recomendaciones que ayuden a la mayoría de las autoridades de nuestra Región Ancash en implementar nuevas técnicas en la construcción vías de acceso como es el aprovechamiento de geomallas biaxiales en el proceso de diseño en pavimentos flexibles a lo largo de la carretera Casma – Huaraz y en otras vías importantes de la Región con el propósito de dar comodidad, seguridad y funcionalidad al pavimento.

Por ello, la presente investigación se orienta principalmente en realizar la modelización numérica y diseño estructural de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales con un propósito de reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz, para ello se utilizó el software computacional (Plaxis 2D) donde se realizó una modelización numérica de las capas que componen el pavimento flexible y además se crearon hojas de cálculo en el programa Excel para poder hallar el espesor del pavimento sin y con reforzamiento, finalmente se presentan resultados del diseño y modelos del pavimento flexible y así con ello dar respuesta a los objetivos planteados en la investigación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En vista de la problemática descrita anteriormente, y teniendo en cuenta las consecuencias que genera este problema que veo en la necesidad que plantear lo siguiente.

1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL

Al concluir la presente investigación me permitiré responder la siguiente pregunta:

- ¿Cómo influirá la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son los parámetros de diseño relevantes, en la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022?
- ¿Cuál será el espesor del pavimento, mediante la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022?
- ¿El uso del Software Plaxis 2D permitirá una mejor modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022?

1.3. JUSTIFICACIÓN

- La investigación se justifica en desarrollar un avance tecnológico en infraestructura vial, ya que en nuestra región poco o nada se conoce acerca del uso de geosintéticos como las geomallas en la estructura del pavimento, por consiguiente, es fundamental incluir recientes procedimientos y técnicas que permitan optimizar los espesores de diseño.
- Consecuentemente la aplicación de geomallas biaxiales permite ampliar las etapas de conservación y restauración de las redes viales. Además, mejora la circulación de los vehículos optimizando el tiempo de traslado y aminorando gastos en mantenimiento y renovación.
- Es importante realizar estudios en el tramo Pariacoto - Yupash que pertenece a la carretera Casma - Huaraz, Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es encontrar una solución al problema de los grandes grosores en el pavimento flexible, las geomallas biaxiales se utilizan para aumentar la vida útil del pavimento y disminuir considerablemente su grosor, dando a los pavimentos más resistencia y la capacidad de conservar sus cualidades mecánicas a lo largo del tiempo.
- La presente investigación se justifica en aportar información, conclusiones y ensayos que ayuden en implementar nuevos métodos de diseño de la sección de pavimento flexible reforzado con geomallas en las redes viales de comunicación, por ello es necesario identificar y analizar adecuadamente este problema.
- Este estudio tiene una justificación metodológica, practica, económica, social, legal y teórica que paso a justificar.

1.3.1. METODOLÓGICA

Este trabajo de investigación se realizó con la finalidad de proporcionar al conocimiento presente sobre el empleo de la modelización numérica y diseño de la sección del pavimento flexible con reforzamiento, por ello en la modelización numérica se aplicó el Software Plaxis 2D y para el diseño de la sección de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales se tomó en cuenta la Norma técnica peruana vigente y el método AASHTO R-50 empleado en pavimentos con refuerzo.

1.3.2. PRÁCTICA

Esta investigación tiene la visión de realizar un análisis numérico del pavimento, por medio de la modelización numérica ya que esta se considera hoy en día la más vanguardista por su mayor eficiencia al momento de expresar resultados, ya que aplicando la técnica de elementos finitos se ha podido investigar mecanismos de falla y relaciones terreno-estructura que no son evidentes cuando se utilizan otros métodos.

1.3.3. ECONÓMICA

La Región Ancash, en especial en el tramo de la carretera Pariacoto - Yupash en los últimos años se ha visto afectada principalmente por el deterioro del pavimento flexible, toda esta problemática tiene un alto contenido económico y material, por ello entender el desempeño estructural del pavimento, realizar modelos numéricos con aplicación de geomallas biaxiales nos ayudarán a reducir el espesor del pavimento, así mismo la construcción de pavimentos reforzados tendrán poca repercusión económica.

1.3.4. SOCIAL

La presente investigación tiene por finalidad garantizar la seguridad y bienestar de las personas que transiten por esta red vial, ya que con un adecuado diseño de pavimento flexible reforzado se disminuyen los riesgos por accidentes vehiculares en la zona de investigación, se minimizan riesgos por deterioro del pavimento en el tramo de la carretera Pariacoto - Yupash, ya que principalmente en los meses de fuertes lluvias y eventos sísmicos, las personas, vehículos que transiten a lo largo de la vía no correrán el riesgo de encontrarse con fisuras longitudinales, fisuras transversales, exudación y desprendimientos.

1.3.5. LEGAL

Las consideraciones tomadas en cuenta para la “Modelización numérica y Diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022”, se sustenta en los reglamentos y normas que garantizan la funcionalidad del pavimento. Tomando como base: Norma Técnica del Perú, Normas ASTM, AASHTO y Normas del MTC.

1.3.6. TEÓRICA

La investigación permite mediante la aplicación de geomallas biaxiales y el uso del Software Plaxis 2D que es un programa de ordenador de elementos finitos bidimensionales diseñado específicamente para la realización de análisis de estabilidad y deformación en casos geotécnicos, estudiar en condiciones reales el comportamiento del suelo al modelar la sección del pavimento flexible con el empleo del Método de los Elementos Finitos (MEF), además al llevar acabo el diseño de la infraestructura de redes

viales permite reducir el riesgo geotécnico, así como ejecutar obras con seguridad y economía.

1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

Este trabajo de investigación tiene aplicación práctica en el tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz, ubicado geográficamente en la Cuenca del río Casma, se inicia en el Km. 56+480 a la salida de la ciudad de Pariacoto que presenta una altitud de 1200 m.s.n.m. y se desarrolla con dirección al Este siguiendo la quebrada de Río Grande, pasando por los poblados de Rurashca, Chacchán, Lllancas, Jirac para llegar a Yupash ubicado en el Km. 95+805 teniendo una altitud de 3300 m.s.n.m.

1.4.2. DELIMITACIÓN TÉCNICA

Se desarrolló una modelización numérica y diseño de la sección del pavimento flexible, para el cual se utilizó el Software Plaxis 2D como herramienta de modelación numérica, para conocer el espesor de cada componente del pavimento con refuerzo de geomallas biaxiales se aplicó como técnica el diseñado con la Norma Peruana vigente y la AASHTO R-50 de pavimentos con reforzamiento.

1.4.3. DELIMITACIÓN TEMPORAL

El proyecto de investigación se ejecutó durante los meses comprendidos entre Mayo – Agosto del presente año, se tomó como datos los estudios de Geotécnica y Geología del Expediente técnico definitivo de rehabilitación y mejoramiento del tramo: Pariacoto - Yupash, en dicho tiempo también se realizó un reconocimiento de la zona de trabajo, para observar posibles fallas superficiales en el pavimento y también se realizó un

estudio de tráfico vehicular actualizado al presente año para determinar el número de repeticiones acumuladas de cargas equivalentes (ESAL), los cuales se usaron en la determinación de espesores de la configuración del pavimento.

1.4.4. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

Para desarrollar este trabajo de investigación, se tuvo en cuenta principalmente: El Manual de carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC – sección Suelos y Pavimentos, La Norma Técnica Peruana (NTP), Norma CE. 020 de Suelos y Taludes, Norma CE.010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, Norma AASHTO R-50, Manual de Plaxis 2D y se complementó con aportes de investigaciones a nivel internacional, nacional y local.

1.5. OBJETIVOS DE LA TESIS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros de diseño relevantes, en la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.

- Determinar el espesor del pavimento, mediante la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.
- Describir el uso del Software Plaxis 2D para la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.

1.6. HIPÓTESIS Y VARIABLES

1.6.1. HIPÓTESIS

1.6.1.1. Hipótesis General

1. La modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales influye en la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.

1.6.1.2. Hipótesis Específicas

2. Existen parámetros de diseño relevantes, en la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.

3. El espesor del pavimento se reduce, mediante la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.

4. El uso del Software Plaxis 2D permite una adecuada modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.

1.6.2. VARIABLES

1.6.2.1. Variables independientes

- Modelización numérica.
- Diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales.

1.6.2.2. Variable dependiente

- Reducción del espesor en el pavimento.

1.6.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Clasificación	Variable	Concepto	Categoría	Indicador
Variables Independientes	Modelización numérica y Diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales.	<p>Modelización numérica: El modelado numérico (a veces llamado modelización numérica) es una técnica basada en el cálculo numérico, utilizada en muchos campos de estudio (ingeniería, ciencia, etc.)</p>	Modelización (Cuantitativo)	<ul style="list-style-type: none"> • Deformación ($\mu\text{m/m}$) • Esfuerzo (kN/m^2) • Deflexión (mm)
		<p>Diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales: Diseño de acuerdo a la metodología AASHTO R-50, el cual se consiste en determinar el número estructural (SN) y con ello se determinan los espesores de cada componente del pavimento. Los indicadores participan en el diseño de la sección del pavimento con geomallas biaxiales. Este número estructural reforzado conduce a una vida útil prolongada del pavimento.</p>	Pavimento flexible (Cuantitativo)	<ul style="list-style-type: none"> • Periodo de diseño (años) • Transito (ESALS) • Confiabilidad R (%) • Desviación normal estándar (Z_r) • Niveles de serviciabilidad P_o y P_t (PSI) • Propiedades de los materiales (CBR) • Coeficientes estructurales (J) • Drenaje (Cd) • Numero estructural (SNr)
Variable Dependiente	Reducción del espesor en el pavimento.	<p>Espesor del Pavimento: El pavimento tiene una configuración de distintas capas conformada sobre la sub rasante de una carretera. Suele estar compuesto por las siguientes capas; base, sub base y capa de rodadura.</p>	Espesor del pavimento (Cuantitativo)	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor de geomalla (cm) • Resistencia Geomalla (kg/cm^3) • Tipo de material (polímero) • Coeficiente (BCR, TBR y LCR) • Espesor de sub base (cm) • Espesor de base (cm) • Espesor de carpeta asfáltica (cm)

Nota: Elaboración propia del Autor.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Actualmente el estado situacional de la vía pavimentada del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma Huaraz, se encuentra en un estado de deterioro en algunos tramos; debido a esta problemática, el empleo de geosintéticos (Geomallas) en la ejecución de las vías de acceso, se ha convertido en una alternativa de solución a la problemática de deterioro del pavimento y la reducción de la sección del pavimento, sin embargo, la falta de nuevos conocimientos de esta técnica de diseño de pavimentos reforzados no ha concedido que las veneficios de esta tecnología se aprovechen en su conjunto.

Se realizó el reconocimiento del tramo en estudio, donde los pobladores de la zona, indicaron que esta importante vía de acceso se encuentra descuidada por muchos años. El mal estado en el que se encuentra la carretera Casma – Huaraz ha generado el incremento

de accidentes vehiculares, pérdida de vidas humanas, todo esto ha conllevado a que se pierda el interés de transitar por esta vía.

El tramo de carretera generalmente muestra fallas en su superficie de rodadura tales como: Fisuras longitudinales y transversales, piel de cocodrilo, surcos o huellas, parchado, descamación y desmembramientos, baches (agujeros). Por lo que es necesaria la intervención del Órgano del poder Ejecutivo (MTC) para su mejora y asfaltado de la carretera en sus tramos críticos.

Figura 1

Deterioro de la superficie del tramo Pariacoto - Yupash



Nota: Imagen tomada por el Autor. (2022)

Las fallas en el pavimento flexible de Casma-Huaraz provocan problemas con los vehículos, demoras en los traslados, malestar para los viajeros y contratiempos por tráfico, entre otros. Se reconoce que las cargas por tráfico, los factores ambientales y los defectos estructurales son las principales causas de las fallas de los pavimentos que se producen antes de que hayan alcanzado el final de su vida útil. Estos factores, cuando se combinan con la falta de mantenimiento regular, aceleran la degradación de la superficie del pavimento.(Granados, 2018, p. 1)

Figura 2

Deformación por defectos estructurales y baches - Carretera Casma - Huaraz



Nota: Imagen obtenida de (Granados, 2018, p.137)

Lozano (2019), indica que “En la actualidad observamos que, tanto en nuestras vías urbanas y rurales, existen diversas críticas que generan problemas por el mal estado en el que se encuentran las carreteras del país” (p. 1).

2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

(Jordan & Suárez, 2017), *“Diseño de pavimentos flexibles con el uso de geosintéticos como refuerzo aplicado en las vías de acceso a la ciudadela la Milina del cantón Salinas”* **Objetivo:** Análisis del empleo de geosintéticos como refuerzo en el diseño estructural de pavimentos para mejorar la estructura de los caminos que conducen a la antigua ciudadela de Milina en la localidad de Salinas. **Métodos:** El trabajo que se presenta es un análisis relacionado con el diseño estructural del pavimento blando clásico AASHTO y la configuración del pavimento blando reforzado con geomallas aplicado a las vías de acceso a la ciudadela Milina de la localidad de Salinas. Actualmente, uno de las practicas más eficientes en tecnología para emplearlo en redes viales o carreteras es la incorporación de sistemas geosintéticos, como las geomallas, creando un sistema de refuerzo estructural, este método es muy efectivo, ya que reduce el espesor de diseño, mejora el desempeño de la configuración del pavimento y reduce los problemas de daño estructural ya que todos estos factores se prevén en el futuro durante el desgaste como daño estructural. **Conclusión:** La capacidad portante del suelo blando, la resistencia de las distintas capas o componentes de un pavimento y la correspondiente reducción del espesor del pavimento flexible mejoraron significativamente al utilizar geomalla P-BX11 tipo A (20kN/m) como refuerzo y mejorar la subrasante durante el proceso diseño del pavimento. Al comparar el diseño entre la construcción de pavimento convencional con refuerzo y sin refuerzo se logró una disminución del 24% del espesor del material, lo que lo convierte en una alternativa de diseño más útil y asequible.

(Lizarraga, 2013), *“Diseño y Construcción de Pavimentos Flexibles Aplicando Geomallas de Polipropileno como Sistema de Reforzamiento Estructural”* **Objetivo:** Se demuestra a través modelos analíticos de respuesta que el manejo de geomallas biaxiales a base de polipropileno aumenta las propiedades de tensión en las fibras del fondo de la mezcla asfáltica, aumenta la vida de fatiga de los gránulos y, por lo tanto, optimiza el espesor de diseño de cada componente del pavimento flexible. **Métodos:** El uso de geosintéticos, como las geomallas elaboradas de polipropileno como método de refuerzo estructural es de las pocas soluciones más eficaces que ofrece la tecnología vial contemporánea. Las dificultades de fallo estructural del componente bituminoso se reducen con este método, que también mejora el rendimiento a la fatiga, aumenta la flexibilidad de la capa, disminuye los espesores de diseño, ralentiza la velocidad de propagación de las grietas de reflexión y reduce los esfuerzos de tracción, las deflexiones unitarias y las deformaciones superficiales. Se han establecido cuatro tramos de construcción con materiales de distintas calidades mecánicas para evidenciar la adherencia de las geomallas de polipropileno biaxiales a las capas de pavimento (base granulada, emulsión asfáltica y estabilización con CPO). **Conclusión:** El empleo de geomallas elaboradas con polipropileno con un elevado módulo de elasticidad en seco de 46.000 MPa, en términos de adherencia global en la interfase de la mezcla bituminosa, ha permitido obtener resultados muy relevantes en la disminución el espesor de la sección de la capa de asfalto del 28% al 37%. (dependiendo de cada tramo de construcción). Esto es posible principalmente porque la geomalla absorbe las tensiones de tracción y disminuye la deformación, deflexión transversal que ocurren en las fibras subyacentes del asfalto.

2.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

(Escobar & Huincho, 2017), *“Diseño de pavimento flexible, bajo influencia de parámetros de diseño debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa – Sachapite, Huancavelica”* **Objetivo:** Determinación del efecto de los parámetros de diseño en el diseño de pavimentos flexibles por degradación del pavimento en Santa Rosa - Sachapite, Huancavelica. Obtener el promedio diario y la resistencia al pandeo del suelo (CBR), el periodo vida y con ello se evite fallas prematuras. **Métodos:** Se utilizaron estudios de suelo, CBR del suelo, estudios de tránsito, mapas de conteo de vehículos en las áreas de estudio y estudios de tamaño de diferentes grietas de asentamiento y la metodología de modelado de grietas para recolectar y conseguir los parámetros de diseño del pavimento flexible que se utilizó en la presente tesis. Con una muestra de 12 kilómetros de investigación de pavimentos flexibles, se realizó el análisis y cálculo utilizando las ecuaciones de la AASHTO 93 y del Instituto del Asfalto, para determinar las diversas implicaciones de las variables de diseño en el cálculo estructural y geométrico de pavimentos flexibles. **Conclusión:** Se halló que el diseño de la carretera investigada en esta área de estudio en 2006 tenía una IMD de 275 vehículos/día, lo que influye directamente ya que cambia mucho en los temas de diseño y un ESAL de 2,289,18 de ejes equivalente para el año 2006. También se descubrió que la superficie asfáltica se encontró con un espesor de cuatro pulgadas 4”, pero que en el presente tiempo de investigación según el diseño es de siete pulgadas 7” con un ESAL de valor 7, 867,970, un CBR teniendo un efecto directo, además porque al diseñar sobre pavimento flexible realizados en 2006 y 2017 se tiene un 7.2% CBR.

(Hinostroza, 2018), **“Diseño de pavimento flexible reforzado con geomallas para la reducción de la estructura del pavimento”** **Objetivo:** Mediante el manejo de geomallas y la construcción de una hoja de cálculo para el diseño de pavimentos con refuerzo, diseñar pavimentos flexibles reforzados con geomallas para minimizar los espesores de la estructura del pavimento flexible y calcular los nuevos ESAL para alargar la vida del pavimento. **Métodos:** La finalidad del presente estudio fue diseñar cada componente de un pavimento flexible reforzado que redujera la rigidez estructural del pavimento. También se examinaron las aportaciones que cumple la geomalla reforzada y se estudió si sería una elección viablemente en lo económico sin reducir la resistencia a tensión de la calzada planteada. También se utilizó el proceso de diseño con las disposiciones de AASHTO R-50 y los datos calculados se contrastaron con los de otros estudios mundiales y mediante el uso de cálculos por elementos finitos del programa Plaxis. En la investigación se utilizaron dos modelos: el inicial fue un pavimento flexible sin reforzamiento (tradicional), y el final fue un pavimento flexible con reforzamiento de geomalla biaxial. **Conclusión:** El modelado del pavimento flexible reforzado plasmado en 2D con el Software Plaxis versión 2012 sirvió para validar y contrastar las hipótesis sobre la disminución del espesor o grosor del pavimento, donde para una sección de 20 cm de base, 25 cm de subbase reforzada con geomalla entre la base Granular, tiene una deformación vertical que difiere en 0,27 mm a la del pavimento de 25 cm de base, 35 cm de subbase, sin refuerzo y en las mismas condiciones. Dado que la geomalla sirve de separador, los resultados de la modelización del pavimento flexible con refuerzo en varios lugares indican una menor deflexión si la geomalla se situaba entre la superficie de la subrasante y capa de base granular.

(Kari & Olortegui, 2019), ***“Propuesta de diseño de pavimento flexible reforzado con Geomalla en la interfaz subrasante - subbase utilizando la metodología Giroud – Han, para mejorar el tramo de la carretera(vía)”*** **Objetivo:** Para optimizar el espesor del pavimento, aumentar la capacidad portante del suelo de fundación y extender el tiempo de vida del pavimento, el proyecto de investigación evaluó las características de una geomalla triaxial como un componente más fuerte en la interfaz entre la subrasante y el subsuelo que configura el pavimento flexible. **Métodos:** En este estudio se implementa un enfoque de diseño para geomallas triaxiales, junto con lineamientos técnicos para el diseño con la inclusión de geomallas en pavimentos de tipo flexible del Perú. El estudio de los doctores Giroud y Han, quienes describieron el proceso de confinamiento formado entre la geomalla actuante y la subrasante de fundación que fue de utilidad para el desarrollo del diseño. Se crea un ejemplo de aplicación de la técnica sugerida para el diseño reforzado de la cimentación de un pavimento con una geomalla y otra geomalla triaxial sin reforzamiento. Para la adquisición de los datos de este caso se utilizaron los formularios de clasificación de vehículos del MTC, una evaluación presencial de la carretera para la estimación del índice de servicio del pavimento (PCI) y pruebas de laboratorio. **Conclusión:** Se utiliza menos material granular porque hay una disminución del 33,33% en el espesor de los componentes granulares de la sección con reforzamiento de una geomalla triaxial en comparación con la sección no reforzada. Por lo tanto, no tiene ningún impacto en las características técnicas de la carretera ni en la capacidad de soportar el tráfico. También se puede calcular el costo económico que supondría la reducción del espesor de cada componente en términos de transporte y adquisición de material. Esto es especialmente cierto para los suelos con un CBR modesto.

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. PAVIMENTOS

Un pavimento se compone de muchas capas que se superponen y que son generalmente horizontales. Estas capas se compactan adecuadamente, se desarrollan y construyen técnicamente. Estos componentes estructurales descansan en la subrasante de una carretera pavimentada creada mediante movimientos de tierra durante el transcurso de exploración y deben ser aptos de resistir las tensiones que les transmiten las repetidas cargas de tráfico durante la vida útil prevista por la composición del pavimento (Montejo, 1998, p. 1).

2.3.1.1. Definición de Pavimento

Becerra (2012) indica que los pavimentos están configurados de una superficie de rodadura, una serie de capas granulares lisas o tratadas y el suelo de cimentación, a veces denominado subrasante.

Según el MTC (2014) el propósito del pavimento es soportar y dispersar las presiones provocadas por los vehículos en movimiento, al tiempo que mejora la seguridad y la comodidad del tránsito. El pavimento tiene una configuración estructural de varios componentes creados en la subrasante de una carretera.

2.3.1.2. Clasificación de los Pavimentos

Montejo (1998) los pavimentos tiene una clasificación de: Pavimentos flexibles, semirrígidos o semiflexibles, rígidos y articulados.

2.3.1.2.1. Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimento está formado por un ligante bituminoso que suele apoyarse en la base y la subbase, dos capas flexibles. Dependiendo de los requisitos específicos de cada proyecto, se puede omitir alguno de estos componentes durante la construcción (Montejo, 1998, p. 2).

2.3.1.2.2. Pavimentos semi-rígidos

Si bien este tipo de pavimentos tiene básicamente una configuración similar al pavimento flexible, uno de sus componentes se rigidizada de manera artificial a través de un aditivo: cemento, asfalto, emulsión, cal y químicos (Montejo, 1998, p. 5).

2.3.1.2.3. Pavimentos rígidos

Consiste básicamente en una losa de hormigón hidráulico asentado sobre una subestructura o llamado también subrasante o capa de material seleccionado denominada subbase de un pavimento rígido (Montejo, 1998, p. 5).

2.3.1.2.4. Pavimentos articulados

El pavimento articulado está formado por una capa superior de bloques prefabricados de concreto, conocidos como adoquines, uniformes y de igual espesor entre ellos (Montejo, 1998, p. 7).

2.3.1.3. Comportamiento de los Pavimentos

Becerra (2014) señala que cada pavimento debe diseñarse, construirse y mantenerse para lograr una adecuada condición funcional y estructural con un rendimiento óptimo a lo largo de su periodo de vida.

2.3.1.3.1. Comportamiento Funcional

Según Becerra (2012) son estos aspectos los que inciden en la calidad de la superficie del pavimento y por tanto están relacionados con el confort y la seguridad de los usuarios que transiten por la vía.

2.3.1.3.2. Comportamiento Estructural

Según Becerra (2012) son aspectos de integridad relacionados a la configuración de un pavimento. Es la capacidad del pavimento para resistir los efectos combinados del tráfico y el medio ambiente.

2.3.1.4. Definición de Pavimento Flexible

Según Becerra (2012) son aquellos que tienen una capa superficial formada por concreto o emulsión asfáltica. Se denomina pavimento flexible por la forma en que se transfieren las cargas de la capa superficial al subsuelo o subrasante.

Según el MTC (2014) un pavimento flexible es un sistema formado por capas de composición granular (base, subbase) y una carpeta de rodadura superficial que tiene como soporte una composición de materiales bituminosos como ligantes, agregados y aditivos si los hubiere.

2.3.1.5. Características Principales de un Pavimento Flexible

Rico y Del Castillo (1984), plantean que las características básicas que deben tener como mínimo los pavimentos flexibles son:

2.3.1.5.1. Resistencia Estructural

La condición de un pavimento para resistir las cargas de tráfico dentro del grado de degradación y desintegración progresiva previsto en el proyecto es imprescindible. Las cargas de tráfico hacen que la estructura experimente tensiones normales y de corte en la configuración estructural del pavimento (Rico & Del Castillo, 1984, p. 102).

2.3.1.5.2. Deformabilidad

El movimiento de tierras es considerablemente más flexible que el propio pavimento, y la subrasante, la capa inferior del pavimento, es mucho más deformable que los niveles superiores. Esto se debe a que la deformabilidad tiende a ser significativamente menor debido a la cualidad de los materiales que forman cada componente del pavimento. La deformabilidad es interesante desde este punto de vista, especialmente en los niveles más profundos (Rico & Del Castillo, 1984, p. 103).

2.3.1.5.3. Durabilidad

La durabilidad de un pavimento flexible está rodeada de una importante y desafiante incertidumbre práctica. Será un reto especificar qué nivel de durabilidad es el ideal en una situación concreta. Sin duda, esto está relacionado con una serie de aspectos sociales y económicos de la propia carretera (Rico & Del Castillo, 1984, p. 104).

2.3.1.5.4. Costo

Un pavimento, al igual que otras construcciones de ingeniería, alcanza un compromiso entre el coste y la satisfacción de las normas de resistencia y estabilidad general. Un diseño excelente será aquel que satisfaga las necesidades del servicio a la vez que tenga un precio razonable (Rico & Del Castillo, 1984, p. 104).

2.3.1.5.5. Requerimientos de Conservación

El mantenimiento de los pavimentos es una de las principales áreas de incertidumbre que surgen en su uso. Las variables relacionadas con el clima tienen un efecto significativo en el periodo de vida de los pavimentos, por lo que en cada obra o proyecto debe tenerlas en cuenta en sus proyecciones (Rico & Del Castillo, 1984, p. 105).

2.3.1.5.6. Comodidad

La comodidad que necesita el usuario para conducir al ritmo del proyecto debe tenerse en cuenta a la hora de resolver los retos y soluciones de diseño de los pavimentos, especialmente en las grandes autopistas y carreteras importantes. Sin duda, hay muchos más requisitos, siendo la seguridad el más importante de entre otras (Rico & Del Castillo, 1984, p. 106).

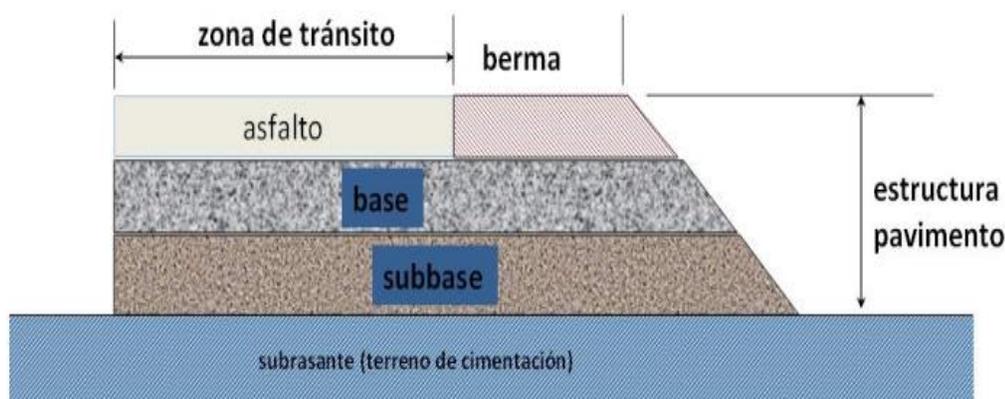
2.3.1.6. Estructura de un Pavimento Flexible

Según Valenzuela (1993) describe cómo se compone la sección de pavimento flexible, incorporando las capas que no conforman técnicamente un pavimento pero que, sin embargo, son un componente del segmento de carretera y cooperan con las capas superiores.

En general cualquier pavimento flexible consta de: una subbase que se prepara y compacta a una determinada densidad, una base que se puede dejar dependiendo de la calidad de la subbase, un componente granular base que se coloca encima de la sub base o en el suelo de la subrasante. Sobre la base se forma o se extiende una capa de asfalto, que contiene una solución de materiales bituminosos y áridos (Minaya & Ordoñez, 2006, p. 5).

Figura 3

Configuración de un pavimento flexible



Nota: Imagen obtenida de (Becerra,2012, p.5)

2.3.1.6.1. Subrasante

La subrasante es un componente de suelo no mejorado que se encuentra debajo de una carretera y que sirve de cimiento o apoyo. Es lo suficientemente profunda como para no verse afectada por la carga de diseño causada por el tráfico previsto, y el espesor de toda la composición del pavimento se fundamenta en la capacidad de carga de la subrasante. Se considera como cimiento del pavimento (Nuñez, 2016, p. 48).

2.3.1.6.2. Sub-Base

Es aquel componente o capa que soporta la base y el asfalto y está hecha de un determinado material y tiene un espesor específico. Sirve además como capa de drenaje y de control de la capilaridad del agua. Esta capa puede ser necesaria o no, dependiendo del tipo, diseño y dimensiones del pavimento. Es posible que la subbase sea de composición granular ($CBR \geq 40\%$) o que esté tratada con cal, cemento o asfalto (Nuñez, 2016, p. 48).

2.3.1.6.3. Base

Esta capa, que se encuentra debajo de la superficie de rodadura, es el principal responsable de soportar, dispersar y transmitir adecuadamente las tensiones provocadas por el tráfico. El componente denominado base se encarga de absorber las tensiones provocadas por las cargas de tránsito vehicular y repartirlas equitativamente a la subbase y subrasante. Estará compuesta por un material granular con capacidad drenante ($CBR \geq 80\%$). La base suele estar compuesta por piedra triturada o grava (Nuñez, 2016, p. 50).

2.3.1.6.4. Carpeta de Rodadura

La capa de rodadura, también conocida como ligante asfáltico, es la capa estructural de un pavimento flexible compuesta por un material de característica pétreo cuidadosamente elegido y una emulsión asfáltica. Sirve para proteger la capa base e impermeabiliza la superficie e impide la posible infiltración de agua producto de la lluvia, que pueda saturar parcial o completamente los componentes inferiores que forman parte del pavimento flexible (Caballeros, 2006, p. 13).

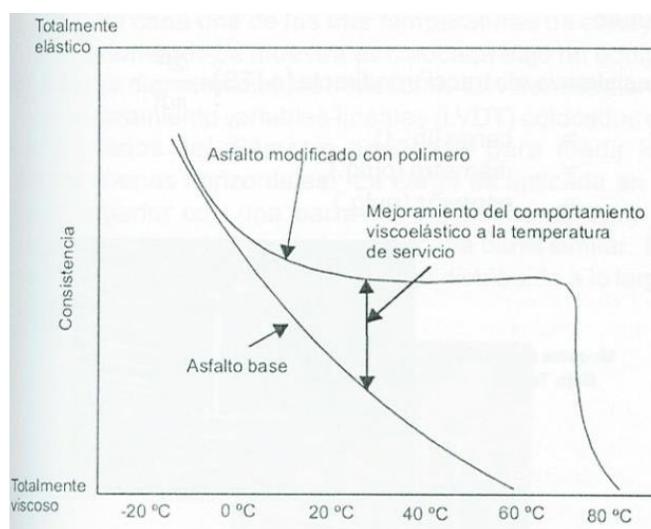
Asfalto: El asfalto es un material complejo con una respuesta compleja a las tensiones. La reacción del asfalto a las cargas depende del tiempo de aplicación y la temperatura de ambiente. Por lo que la naturaleza de cualquier ensayo de asfalto y lo que éste indica acerca de las propiedades del asfalto debe ser interpretado en relación a la naturaleza del material. Una gran cantidad de ensayos se realizan en los asfaltos, desde ensayos de especificación a más fundamentales como ensayos de reología y mecánicos (Menéndez, 2009, p. 27).

Asfaltos Modificados: Menéndez (2009) indica que “Las mezclas asfálticas convencionales tienen limitaciones en cuanto a su resistencia, la deformación permanente y el fisuramiento en especial cuando se tratan de sollicitaciones mayores como el caso del tráfico canalizado, climas severos o elevadas cargas por eje” (p. 30).

La modificación permite al proyectista interferir en las propiedades mecánicas del asfalto. En busca de propiedades reológicas constantes para realizar un diseño adecuado, especialmente a altas temperaturas de operación, una de las cosas que vale la pena mencionar es la reducción de la sensibilidad térmica al calor. Por lo tanto, significa cambiar las características de las mezclas asfálticas para reducir tanto la deformación plástica a altas o elevadas temperaturas como en servicio bajo la influencia de las cargas de tráfico más pesadas, independientemente de las condiciones climáticas (Menéndez, 2009, p. 31).

Figura 4

El impacto de la inclusión de polímeros en la sensibilidad térmica del asfalto



Nota: Imagen obtenida de (Menéndez, 2009, p.31)

2.3.1.7. Funciones de las Capas de un Pavimento Flexible

2.3.1.7.1. Subrasante

Sirve para varios propósitos, como evitar la contaminación de cada componente del pavimento cuando la configuración del terraplén es de característica fina o arcillosa, así como para percibir y soportar las cargas de tráfico transferidas por cada capa del pavimento y transferirlas adecuadamente a los componentes inferiores. Para prevenir la absorción de cada capa superior en terraplenes (Valenzuela, 1993, p. 6).

2.3.1.7.2. Sub-Base

Para muchos, la función principal de esta capa en un pavimento flexible es económica. El objetivo es crear el espesor necesario del pavimento con el material menos costoso. Entre sus atribuciones se tiene la de soportar la carga por tráfico y transmitir eficazmente al suelo de fundación. Otra atribución que tiene es de transición entre la base, que suele ser de característica granular y el suelo subrasante. La subbase, que es más delicada que la base, filtra la base y evita que se adhiera a la subrasante (Valenzuela, 1993, p. 7).

2.3.1.7.3. Base

Dado que minimiza el grosor del ligante, la capa más costosa, la base cumple una finalidad económica algo similar a la indicada para la subbase. Sin embargo, el propósito principal de esta capa es actuar como un componente resistente que distribuye la cantidad adecuada de tensiones relacionadas con el tráfico a la subbase y la subrasante. En muchos casos, la base también debe inhibir el ascenso capilar y drenar cualquier agua que entre a través del ligante o de los arcenes del pavimento para evitar daños en el pavimento (Valenzuela, 1993, p. 8).

2.3.1.7.4. Carpeta

Dado que estará en contacto directo con el tránsito, el revestimiento debe otorgar una superficie estructural de apoyo suficiente, con una textura y una coloración adecuada y que pueda soportar los impactos abrasivos del tránsito en la medida de lo posible. También debe limitar el flujo de agua a las capas inferiores (Valenzuela, 1993, p. 8).

2.3.2. GEOSINTÉTICOS

El prefijo "geo" alude a un uso relacionado con la mejora de la eficacia de los proyectos en el campo de la Ingeniería civil en lo que respecta al movimiento o eliminación de tierras o de suelo, y el sufijo "synthetics" denota que los materiales o productos son esencialmente artificiales. Juntos, estos dos elementos conforman la frase "Geosintéticos" (Lizarraga, 2013, p. 2).

Los Geosintéticos son, como mínimo, un tipo de producto con una o más partes hechas de polímeros sintéticos o naturales. En el campo de la ingeniería o la construcción de redes viales, pueden emplearse en contacto con el suelo u otros materiales como filtro, manto, laminado o estructura tridimensional. En el ámbito de la construcción y el montaje, los geosintéticos se emplean en una amplia gama de aplicaciones, como las medioambientales, los sistemas de control de la erosión, estabilidad de taludes, reforzamiento de vías y la construcción de carreteras e hidráulica (Lizarraga, 2013, p. 2).

2.3.2.1. Definición de Geosintéticos

Jordan & Suárez (2017) indica que se trata de materiales a base de polímeros que pueden ser naturales o sintéticos, utilizados en conexión con el terreno u otro material, y que suelen emplearse en el área de la ingeniería civil y la construcción.

Alvarado (2012) los materiales geosintéticos son aquellos materiales sintéticos utilizados en el diseño y construcción de todo tipo de obras que aportan cualidades y funcionalidades que los materiales naturales no aportan.

2.3.2.2. Clasificación de los Geosintéticos

2.3.2.2.1. Geotextiles

Según Nuñez (2016) el geotextil se describe como un material de características textiles (sintéticas o naturales) que es plano, permeable, tejido o no tejido. Este material se emplea en unión con el terreno o suelo, así como con distintos materiales.

2.3.2.2.2. Geomallas

Una geomalla es una estructura bidimensional hecha de polímero. Se compone de piezas de tracción dispuestas en una retícula que es abierta y uniforme, están elaboradas por láminas atravesadas o elementos unidos por procesos de calor térmico o adhesión, donde las aberturas son más grandes que las dimensiones de los componentes, se coloca principalmente junto con otros materiales o en el suelo (Alvarado, 2012, p. 10).

2.3.2.2.3. Geomembranas

Nuñez (2016) indica que las geomembranas son un revestimiento o barrera impermeable que puede utilizarse en ingeniería geotécnica para restringir el movimiento

de fluidos. Pueden utilizarse con cualquier otro tipo de elemento empleado en la ingeniería geotécnica.

2.3.2.2.4. *Geoceldas*

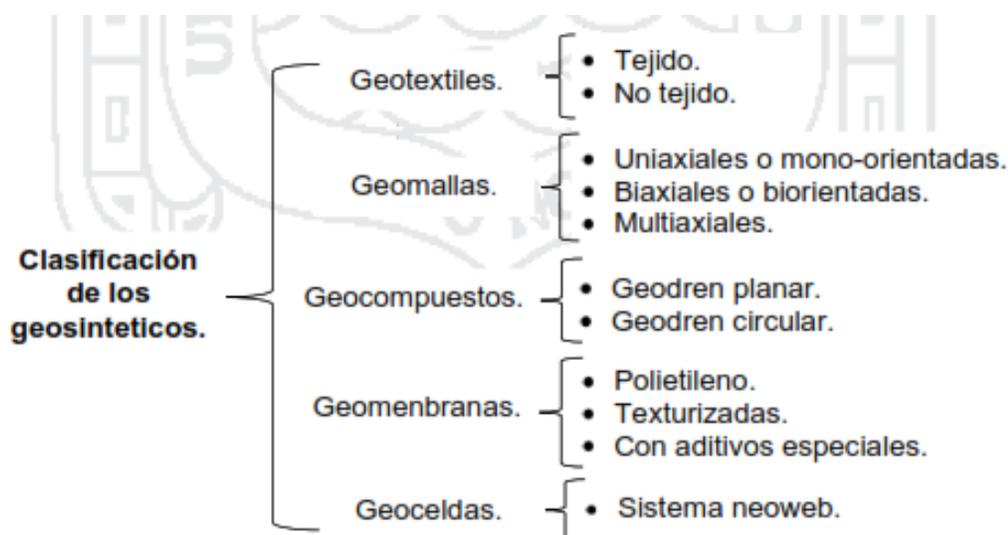
Gavilanes (2012) muestra que están formados por celdas yuxtapuestas, creadas por cosido o soldadura a partir de tiras de polipropileno extruido, con una altura de 100 milímetros, produciendo una estructura en forma de colmena. Estas celdas tienen una altura de 100 milímetros.

2.3.2.2.5. *Geocompuestos*

Gavilanes (2012) manifiesta que son capas que tienen un grosor de entre 5 y 30 milímetros y que se crean por la unión de dos o más geosintéticos. que se utiliza en obras de contención, edificios, vertederos sanitarios y otros lugares similares para realizar tareas de drenaje, filtración y protección.

Figura 5

Clasificación de los Geosintéticos



Nota: Imagen obtenida de (Nuñez, 2016, p.56)

2.3.2.3. Definición de Geomallas

Alvarado (2012) son elementos bidimensionales que están hechas de varios polímeros, e interactúan con el suelo de tal manera que complementan la resistencia a la tracción del suelo, lo que resulta en una estructura suficiente para transferir la carga y distribuirla uniformemente. Estas estructuras se denominan geomallas.

Núñez (2016) indica que las geomallas son estructuras hechas de polímero y consisten en una malla continua con nervaduras conectadas íntegramente por extrusión. Estas nervaduras incluyen espacios de suficiente tamaño para consentir que el suelo, la piedra u otro material geotécnico circundante se entrelace con ellas.

2.3.2.4. Tipos de Geomallas

2.3.2.4.1. *Geomallas uniaxiales*

Una geomalla que es uniaxial tiene toda su resistencia orientada en un sentido y tienen juntas que discurren transversalmente para soportar cargas de tensión en el sentido del rollo, como aplicación se tiene, el reforzado de muros y taludes, la mayoría de los cuales se construyen con polietileno, se emplean en aplicaciones en las que se conoce con certeza la dirección de aplicación de la carga (Caballeros, 2006, p. 46).

2.3.2.4.2. *Geomallas biaxiales*

La capacidad de carga de las geomallas biaxiales es la misma en ambas direcciones, y son casi rectos entre cada elemento. Estas geomallas se emplean como refuerzo para cargas que se mueven en muchos sentidos, como las carreteras. Son capaces de soportar grandes cargas durante periodos de tiempo relativamente cortos y prolongados. Estas

cargas pueden aplicarse en el plano horizontal o vertical. La mayor parte de su construcción proviene de resinas de polipropileno (Caballeros, 2006, p. 47).

2.3.2.4.3. Geomallas Multiaxiales

Se trata de geomallas estructurales de polipropileno fabricadas integralmente, cuya función principal es proporcionar refuerzo a la tracción para los pavimentos y bases de asfalto. En comparación con otras formas de geomallas, esta geomalla triaxial coextruida es un avance tecnológico importante. Cuando se trata de la estabilización del suelo en situaciones que incluyen niveles freáticos altos y suelos de subrasante saturados, este geocompuesto ofrece resultados excepcionales (Lizarraga, 2013, p. 13).

2.3.2.5. Aplicaciones de las Geomallas

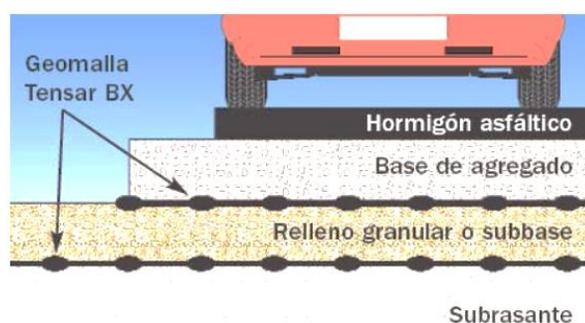
La eliminación de material de corte se encarece cada vez más, las cargas por tráfico se vuelven más pesados y se nos presenta el reto de afrontar espesores de relleno importantes. Es vital encontrar una solución que sea a la vez práctica y económicamente atractiva para producir una variedad de proyectos de ingeniería con el fin de abordar este desafío y otros similares. La geomalla es la respuesta, su uso y aplicación son la solución. La geomalla proporciona un enfoque innovador con productos opcionales que ayuden en la construcción y la eliminación de materiales, entre otras cosas, y sirve factiblemente al mercado industrial y comercial. Las áreas de utilización en los que más se usa la geomalla son los siguientes (Caballeros, 2006, p. 30).

- Sistema de mejoramiento de carreteras
- Taludes con refuerzo
- Sistema de mejoramiento de cimentación

- Sistema de muros de retención
- Sistema de muros de retención temporales
- Sistema de retención de taludes
- Sistemas mineros
- Sistemas costeros y fluviales

Figura 6

Ubicación de una geomalla dentro de la estructura del pavimento



Nota: Imagen obtenida de (Caballeros, 2006, p. 43)

2.3.3. PAVIMENTO REFORZADO CON GEOMALLAS

2.3.3.1. Geomalla como refuerzo de la Subrasante

Caballeros (2006) la ruptura de una subrasante débil durante la construcción de una estructura de pavimento flexible es una preocupación típica en zonas con suelos blandos. Este fallo conduce a una rápida degradación de la estructura del pavimento.

Caballeros (2006) define el empleo de una geomalla en el interfaz de la subrasante de acuerdo a los siguientes rangos de CBR:

- $0 \leq \text{CBR} < 2$: Para permitir la construcción de una plataforma de apoyo (mejora de la subrasante) y proteger la plataforma de defectos de capacidad portante.

- $2 \leq \text{CBR} < 4$: Garantizar la estabilidad de la capa granular.
- $\text{CBR} \geq 4$: Para la reducción del espesor de las capas granulares y extender la vida útil en los pavimentos flexibles.

La incorporación de una geomalla a la subrasante mejora su rendimiento de varias maneras, entre ellas la formación de pavimento estructural más sólido a los daños, proporciona una capa de fundación estable y con más resistencia, el rendimiento de la subrasante en la construcción, mejora en la compactación, reducción de las oscilaciones y los pinchazos, la maximización de la extensión de carga de la subrasante, reduciendo el costo y el tiempo causados por el movimiento de tierras (Caballeros, 2006, p. 38).

Asimismo, el MTC (2014) establece seis categorías de subrasante, esta clasificación o categorización se determinan en función de los rangos de subrasante sobre los que se coloca el pavimento.

Tabla 2

Categorías de Sub rasante

Categorías de Sub rasante	CBR
S ₀ : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub rasante Insuficiente	DE CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Sub rasante Regular	DE CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub rasante Buena	DE CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Sub rasante Muy Buena	DE CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Nota: Adaptado del Manual de carreteras. Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014, p. 37)

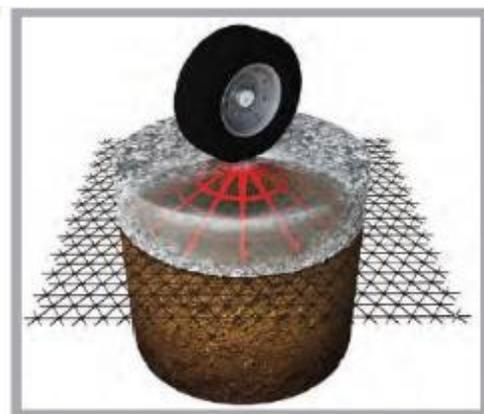
2.3.3.2. Geomalla como refuerzo de la Sub-base

La separación de materiales entre el suelo natural y el suelo que se utilizará como relleno es otro propósito secundario de la geomalla. A pesar de las aberturas del elemento de refuerzo, el confinamiento de las partículas de agregados inhibe el "bombeo", o el movimiento natural de las partículas de agregados cuando se aplican pesos (Orrego, 2014, p. 14).

Por último, pero no por ello menos importante, el reforzamiento de cada componente estructural del pavimento (base y subbase) tiene como objetivo mejorar el rendimiento estructural reduciendo la cantidad de surcos que surgen de las partículas granulares que se desplazan lateralmente al intentar alejarse de la zona donde se aplican las cargas de tráfico. El tiempo de vida del pavimento también puede prolongarse conservando los espesores de la sección de diseño o reduciendo el espesor del material granular a utilizar y los costes de construcción asociados (Orrego, 2014, p. 14).

Figura 7

Dispositivo para mejorar la capacidad de carga o soporte



Nota: Imagen obtenida de (Orrego, 2014, p. 16)

2.3.3.3. Geomalla como refuerzo de la Base

A medida que el material que compone la base se distribuye adyacentemente desde la marca de cada rueda, generando surcos lejos de las cargas de tráfico, los diseños de pavimento flexible suelen fallar antes de tiempo, provocando la fractura de la superficie del pavimento (Caballeros, 2006, p. 41).

En Estados Unidos, las geomallas se utilizan desde 1980 para reforzar eficazmente los elementos estructurales granulares en los pavimentos flexibles. Esta clase de reforzamiento se entiende como refuerzo principal, refuerzo transversal o refuerzo de contención, esto se debe a la unión e interacción que se conforma entre el suelo granular y la geomalla. Bajo las cargas de tráfico, el agregado natural sin refuerzo se traslada lateralmente, lo que conduce a la formación de surcos y, en última instancia, al deterioro de la integridad estructural del pavimento flexible (Caballeros, 2006, p. 42).

Figura 8

Maqueta de geomalla como refuerzo del pavimento



Nota: Imagen obtenida de (Gavilanes,2012, p. 12)

2.3.4. MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

2.3.4.1. Pavimento flexible sin refuerzo

2.3.4.1.1. Método del Instituto del Asfalto

Entre 1954 y 1969, el Instituto del Asfalto publicó ocho prospectos de una Serie de Manuales N° 01 (MS-1) para el cálculo de espesores en pavimentos asfálticos. Estos manuales apoyaban las prácticas basadas en la experiencia. La información procedente de las pruebas de carretera realizadas por AASHO, WASHO y algunas organizaciones británicas, así como las comparaciones con los métodos de diseño utilizados por el Organismo Ingenieril del Ejército de Estados Unidos y varias agencias estatales, sirvieron de base para las ediciones séptima y octava del MS-1 (Menéndez, 2009, p. 87).

2.3.4.1.2. Método AASHTO 1962

El "AASHO Road Test", que se llevó a cabo en Ottawa sobre pavimentos con distintas características y bajo diversas cargas, sirvió de precedente inicial para el diseño de un pavimento mediante la técnica AASHTO. La "Guía provisional de la AASHO para un pavimento rígido o flexible" se publicó en 1962 y comprendía varias técnicas de diseño enfocados en modelos empíricos creados a partir de la información recopilada durante la prueba de carretera de la AASHO (Ramallo, 2012).

Tras la publicación de la "Guía provisional AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos" en 1972, las observaciones realizadas a partir de 1983 condujeron a la publicación de otra "Guía AASHTO " en 1986 con numerosas modificaciones respecto a la de 1972. Finalmente, en 1993, se elaboró una versión revisada de esta guía que incluía cambios en el diseño de los pavimentos flexibles (Ramallo, 2012).

2.3.4.1.3. Método AASHTO 1993

Los pasos para un diseño de una sección geométrica de un pavimentos flexible y rígido se describen detalladamente en el enfoque AASHTO 1993. Según esta técnica, no se incluyen los pavimentos ligeros para el tráfico ligero, ya que el hormigón asfáltico y los tratamientos superficiales se utilizan principalmente para abordar el problema de la superficie de apoyo de los pavimentos flexibles (Ramallo, 2012).

El objetivo del método AASHTO 1993 es calcular con precisión el número estructural (SNr) necesario para reconocer y calcular el espesor de cada material que componen el pavimento (Hinostroza, 2018).

La obtención del "número estructural (SN)" constituye lo esencial de la técnica de la AASHTO. La ecuación principal (1) es proporcionada por este método. Los siguientes factores de diseño se utilizan en la ecuación para determinar el número estructural:

$$\text{Log}(W_{18}) = Z_R * S_O + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}(M_R) - 8.07 \dots (1)$$

- W_{18} : Numero de eje equivalente acumulado para un periodo de diseño.
- Z_R : Desviación estándar normalizada.
- S_O : Desviación estándar global.
- R : Parámetro de confiabilidad (%).
- M_R : Modulo efectivo resiliente del material de suelo o subrasante (PSI).
- ΔPSI : Variación o diferencia entre el índice de servicialidad inicial y final.

Una vez determinado el valor de (W_{18}), se relaciona el espesor de cada componente o capa por medio de la siguiente ecuación (2):

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \dots (2)$$

- a_1, a_2, a_3 : Coeficiente estructural de cada componente del pavimento.
- m_2, m_3 : Coeficiente de drenaje de cada componente del pavimento.
- D_1, D_2, D_3 : Espesor de cada componente del pavimento.

2.3.4.2. Pavimento flexible con refuerzo

El número estructural (SN), que determina cada espesor de la configuración del pavimento, puede calcularse correctamente utilizando el enfoque de diseño de la AASHTO 1993, que es el método que se emplea con más frecuencia en el país. Por lo tanto, es importante calcular con precisión los parámetros que se utilizarán para el diseño y construcción de pavimentos reforzados con una geomalla biaxial.

2.3.4.2.1. Método AASHTO R-50

La AASHTO ha trabajado en dos manuales o recomendaciones para el manejo de geosintéticos en el reforzamiento de una base de material granular que configura un pavimento flexible: AASHTO PP 46, que se publicó el 2001, y AASHTO R-50 del 2009, que es la versión más reciente de este documento hasta la fecha. Estas publicaciones pretenden servir de guía para el uso de estos materiales principalmente geotextiles y geomallas cuando se trata de integrar la contribución estructural producida por la adición de un refuerzo en la interfaz base - subbase de la configuración estructural del pavimento (Orrego, 2014, p.35).

El BCR, el TBR y el LCR serán necesarios para estimar los espesores disminuidos de la estructura del pavimento utilizando este enfoque, que cumple con la AASHTO 1993. A continuación, se explican algunos principios:

- **BCR (Reducción de la Capa Base):**

Este factor se calcula como la disminución proporcional del espesor necesario para obtener un colapso o falla predeterminada con anticipación en idénticas circunstancias cuando se compara una sección reforzada con otra no reforzada (Orrego, 2014).

- **TBR (Relación del Trafico-Beneficio):**

El TBR, también conocido como TIF (factor de mejora del tráfico), es una medida de la diferencia entre las fases de carga necesarios para alcanzar un determinado fallo y las fases de carga observados en una sección sin reforzamiento (Orrego, 2014).

- **LCR (Relación del coeficiente de capa):**

Un número superior a uno sin cotas se conoce como coeficiente LRC. Las características físico-químicas de las geomallas tienen un impacto significativo en este valor determinado mediante pruebas en el laboratorio. Para cuantificar el valor se examinaron las partes no reforzadas (SNu) y las reforzadas (SNr) (Orejon, 2018).

2.3.5. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO

2.3.5.1. Diseño para la extensión de periodos de diseño

Según Berg (2000) El número estructural de la sección reforzada aumenta al mantener el espesor de los distintos componentes del pavimento. Debido a un mayor tiempo vida eficaz del pavimento causada por el mayor número estructural, se pueden emplear las siguientes técnicas de diseño para extender los períodos de diseño del pavimento:

2.3.5.1.1. Diseño con TBR

Según Berg (2000) “Se puede calcular una mayor duración del rendimiento utilizando el TBR de diseño. La geometría del pavimento es la misma que la de la construcción no reforzada. Los años antes de la rehabilitación se calculan utilizando el TBR de diseño” (p. 73).

El TBR se utiliza para determinar un número equivalente reforzado $W_{18}(\text{Reforzado})$ de aplicaciones de carga de un eje equivalente de 18 kip para una sección reforzada. Para el tiempo de diseño y el factor TBR, el valor equivalente reforzado produce el número equivalente acumulado de ejes, y está representado por: (Berg, 2000).

$$W_{18(\text{Reforzado})} = W_{18(\text{Sin Reforzar})}/TBR \dots (3)$$

2.3.5.1.2. Diseño con LCR

Se puede calcular un período de rendimiento más largo utilizando el LCR de diseño. La ecuación del número estructural se resuelve utilizando la relación del coeficiente de la capa de base (LCR), como se muestra a continuación; alternatively, la subbase puede resolverse utilizando un LCR de diseño (Berg, 2000).

$$SN = a_1D_1 + LCR * a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \dots (4)$$

2.3.5.2. Diseño para la reducción de la estructura del pavimento

Dado que el SN reforzado llega a ser comparable el SN no reforzado, se han sugerido muchos enfoques para disminuir el espesor de la configuración de un pavimento con el fin de lograr la disminución del mismo (Berg, 2000).

A continuación, se describen detalladamente las técnicas más utilizadas para el diseño de pavimentos flexibles reforzados.

2.3.5.2.1. Diseño con BCR

Para lograr el mismo rendimiento que la construcción del pavimento no reforzado, se puede calcular una base o subbase más delgada utilizando el BCR de diseño. Las siguientes ecuaciones muestran cómo obtener el espesor de la base reforzada $D_{2(Reforzado)}$ sin utilizar una subbase (Berg, 2000).

$$BCR = \frac{D_{2(Sin Reforzado)} - D_{2(Reforzado)}}{D_{2(Sin Reforzado)}} \dots (5)$$

$$D_{2(Reforzado)} = D_{2(Sin Reforzado)} * (1 - BCR) \dots (6)$$

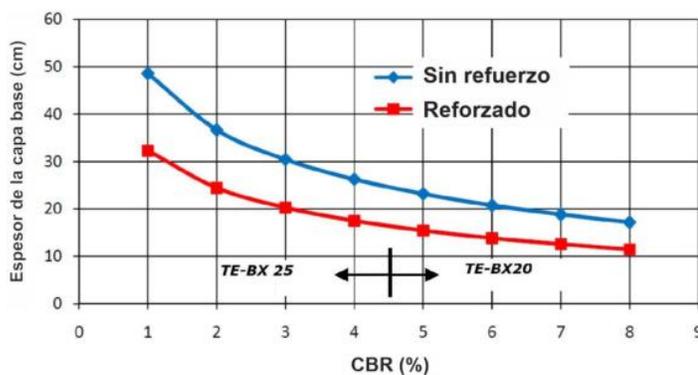
Donde:

- $D_{2(Reforzado)}$: Espesor de la capa base reforzado con geomalla.
- $D_{2(Sin Reforzado)}$: Espesor de la capa base sin refuerzo.
- BCR : Reducción de la Capa Base.

El coeficiente BCR se determina a partir de pruebas de laboratorio y de campo donde se ensayan pavimentos con refuerzo y sin refuerzo. Asimismo, para encontrar los espesores reducidos de la capa base se puede usar la Figura 9 y 10.

Figura 9

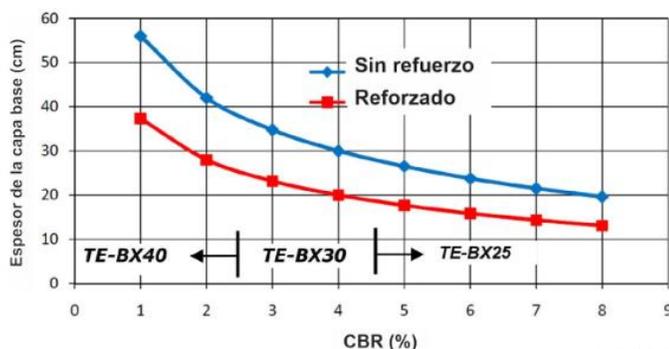
CBR subrasante Vs. Espesor de base para 10 Millones (ESAL)



Nota: Imagen obtenida de Titan TE-BX series geogrids. (2012)

Figura 10

CBR subrasante Vs. Espesor de base para 50 Millones (ESAL)



Nota: Imagen obtenida de Titan TE-BX series geogrids. (2012)

2.3.5.2.2. Diseño con TBR

Se puede calcular un número estructural reforzado ($SN_{Reforzado}$) utilizando el TBR. Al calcular el número estructural reforzado, se utiliza el W_{18} de la ecuación de diseño del pavimento (Berg, 2000). Mediante la ecuación (7) se determina la reducción de la capa granular con el refuerzo.

$$D_{2(Reforzado)} = \frac{SN_{(Reforzado)} - a_1 D_1}{a_2 m_2} \dots (7)$$

Pero si se utiliza el valor de TBR como guía, es posible determinar indirectamente un número estructural igual (SNR). Para ello hay que conocer el W_{18R} de la ecuación matemática (3) para obtener el nuevo espesor de la base utilizando esta cantidad (Orrego, 2014).

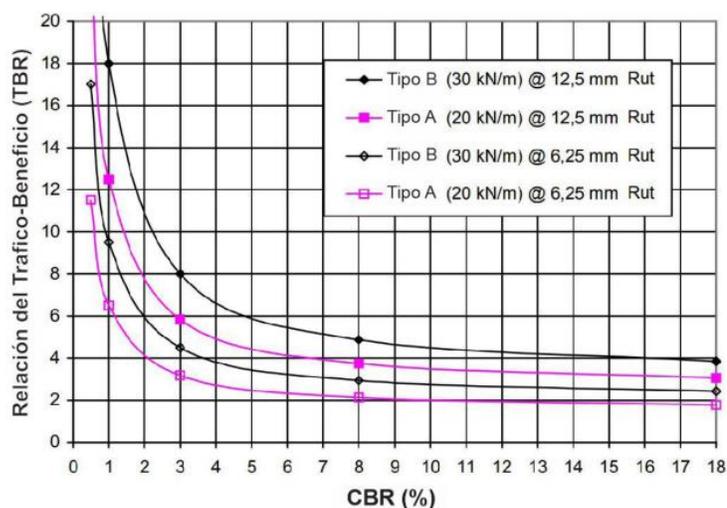
$$D_{2R} = \frac{SN_R - (a_1 D_1 + a_3 D_3 m_3)}{a_2 m_2} \dots (8)$$

Según Orrego (2014) la ecuación (8) se utiliza para calcular el espesor de base reforzado utilizando el TBR.

Zornberg & Gupta (2010) según las pruebas de campo y los resultados de laboratorio de varios fabricantes de geosintéticos, el TBR de los geotextiles varía de 1,5 a 10 y el de las geomallas oscila entre 1,5 y 70. Asimismo, las figuras 11 y 12 muestran el gráfico utilizado para calcular el TBR.

Figura 11

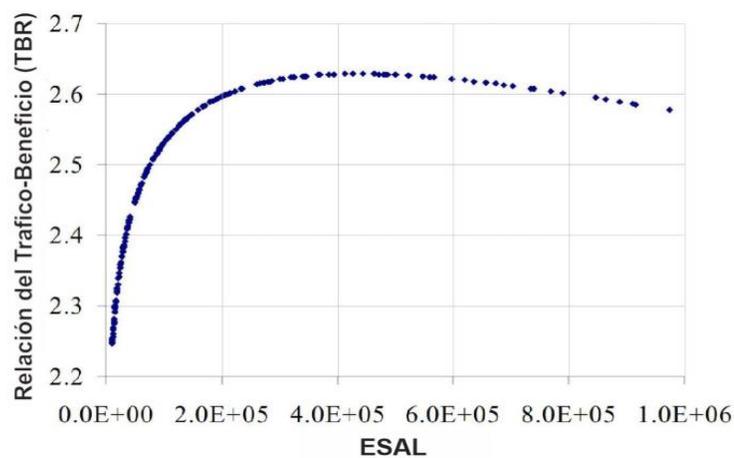
TBR Vs. CBR de la Subrasante



Nota: Imagen obtenida de Tenax. (2010)

Figura 12

TBR Vs. ESAL de Diseño



Nota: Imagen obtenida de Shih - Hsie. (2006)

2.3.5.2.3. Diseño con LCR

Según Berg (2000) el diseño LCR es una técnica de cálculo indirecto que puede utilizarse para conseguir el espesor del componente base de un pavimento. La ecuación numérica estructural se somete a la relación de coeficiente de capa (LCR) de la siguiente manera:

$$SN = a_1 D_1 + LCR * a_2 D_2 m_2 \dots (9)$$

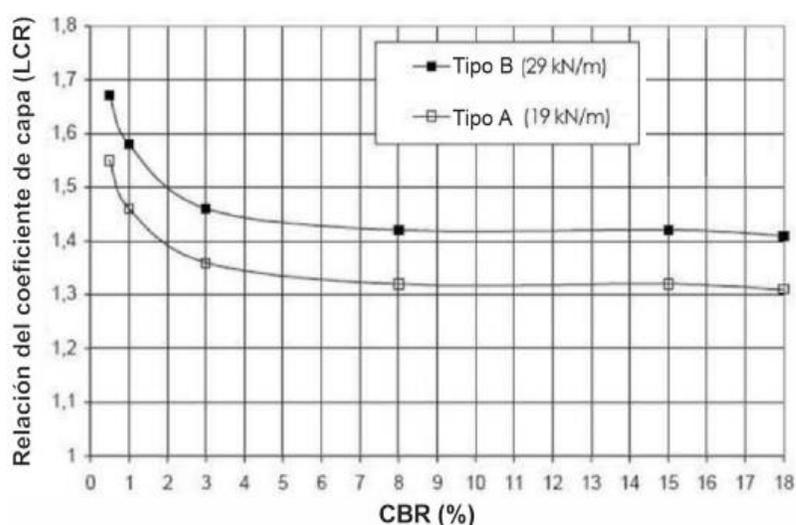
La configuración del pavimento reforzado para un espesor reducido es igual a:

$$D_{2(Reforzado)} = \frac{SN_R - a_1 D_1}{LRC * a_2 m_2} \dots (10)$$

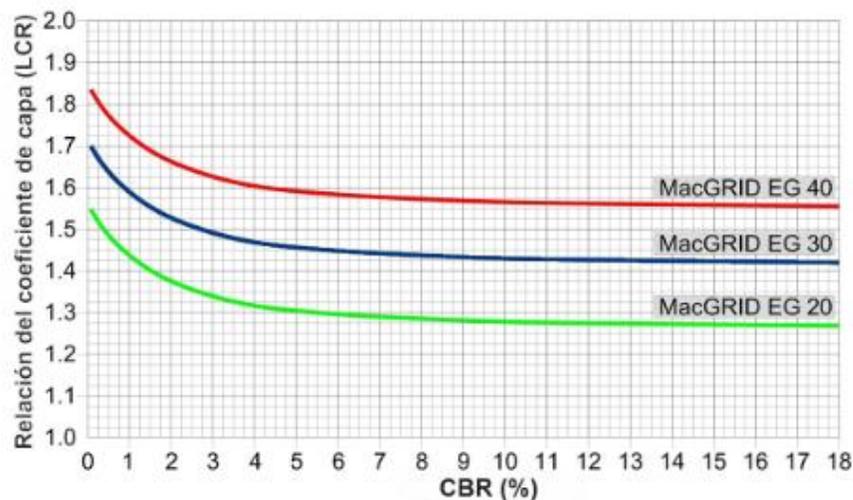
Geosistemas PAVCO (2012) según los ábacos desarrollados por varios fabricantes, de los cuales se muestran los siguientes, el valor de LCR varía de 1,30 a 1,70 en función sobre todo del valor CBR de la subrasante y de los ESAL para una profundidad de huella o surco. Estos pueden adquirirse en:

Figura 13

LCR Vs. CBR de la Subrasante - Pavco



Nota: Imagen obtenida de Geosistemas (PAVCO, 2012)

Figura 14*LCR Vs. CBR de la Subrasante - MacGrid*

Nota: Imagen obtenida de Geosistemas (PAVCO, 2012)

2.3.5.2.4. Diseño por el Método de Giroud y Han

Giroud-Han es una forma de diseño que se basa principalmente en el enclavamiento o, dicho de otro modo, en el confinamiento que se produce entre una capa de material situada encima y una geomalla. El enfoque de Giroud-Han utiliza el principio de la distribución de esfuerzos o presiones verticales ejercidas sobre la superficie del pavimento a través de la subrasante por las cargas de vehículos (Kari & Olortegui, 2019).

Mediante la graduación y comprobación con resultados de campo y laboratorio, se creó la expresión matemática de diseño para hallar el espesor del componente base según la técnica de Giroud y Han (Barry, 2010).

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{1 + 0.204(R_E - 1)} \left(\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{s}{f_s} \left[1 - 0.9e^{-\left(\frac{r}{h}\right)^2} \right] N_c f_c CBR_{sg}} - 1}} \right) r \dots (11)$$

Donde $(0.661 - 1.006J^2) > 0$

- h : Espesor requerido para la capa base (pulgadas o metros).
- J : Módulo de estabilidad de abertura (N-m/grados).
- P : Carga por rueda (lbs o KN).
- r : Módulo de estabilidad de las aberturas en unidades métricas (N-m/grados).
- N : Número de pasadas por ejes.
- R_E : Ratio de módulo = $E_{bc}/E_{sg} = 3.28CBR_{bc}^{0.3}/CBR_{sg} \leq 5$.
- E_{bc} : Módulo de resiliencia de la base (psi o MPa).
- E_{sg} : Módulo de resiliencia del suelo de subrasante (psi o MPa).
- CBR_{bc} : CBR base.
- CBR_{sg} : CBR subrasante.
- f_s : Factor de ahuellamiento.
- s : Ahuellamiento máximo (pulgadas o metros).
- f_c : Factor que conecta el CBR de una subrasante con una cohesión no drenada, $cu=4.3$ psi (30kPa).
- N_c : Factor de capacidad portante.
 - 3.14 para vías no reforzadas.
 - 5.14 para vías con refuerzo de geotextil.
 - 5.71 para vías con refuerzo de geomallas.

2.3.6. ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

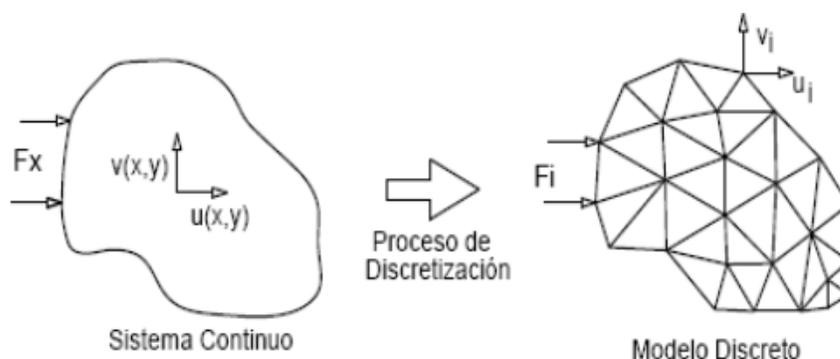
Un enfoque numérico para resolver ecuaciones diferenciales parciales con valores de contorno es el análisis y modelado por elementos finitos (MEF). Su uso resulta muy desarrollado, extendido y tiene varias aplicaciones en la ciencia y la ingeniería, incluida la mecánica estructural. Este método se utiliza cada vez más en las aplicaciones geotécnicas gracias a los avances tecnológicos y a la mayor accesibilidad a ordenadores potentes (Geoscan, 2015).

2.3.6.1. Método de elementos finitos 2D – Bidimensional

Un sistema multicapa semi-infinito con varias calidades de material podría considerarse como un pavimento flexible. En esencia, se utilizan dos modelos MEF 2D separados, uno de los cuales es de estado plano de deformaciones y el otro es axialmente simétrico. Se espera que el pavimento tenga el mismo material y la misma forma en los planos verticales y que presente una simetría biaxial en el modelo axialmente simétrico (Flores, 2012, p. 26).

Figura 15

Modelo de Elementos Finitos



Nota: Imagen obtenida de (Flores, 2012, p.23)

2.3.6.2. Método de elementos finitos 3D – Tridimensional

Al dividir el medio continuo en una serie de subdominios de elementos finitos, este modelo es capaz de resolver las ecuaciones constitutivas y de compatibilidad. Con este enfoque, las condiciones de contorno se satisfacen principalmente en los nodos del sistema. La desventaja de los modelos 3D es que ocupan más memoria en un ordenador y aún no pueden realizar el cálculo inverso en cuestiones de pavimentos no lineales tan bien como los modelos 2D en cuanto a la representación del dominio de la presión de inflado de las llantas en el pavimento (Flores, 2012, p. 23).

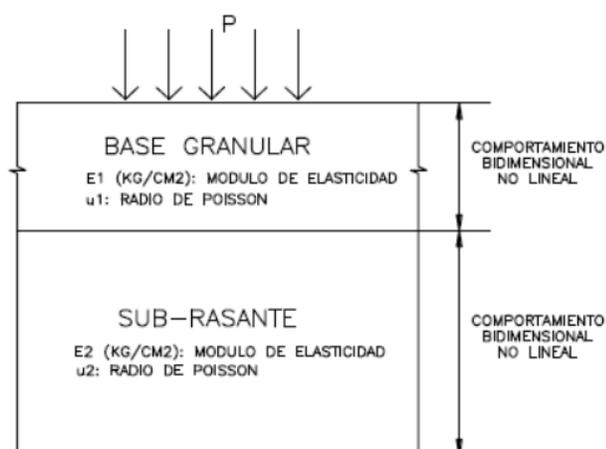
2.3.7. MODELIZACIÓN NUMÉRICA DEL PAVIMENTO

2.3.7.1. Material

Según Flores (2012) “Se debe considerar un modelo K- θ del material para considerar un comportamiento no lineal en suelos granulares y cohesivos” (p. 27).

Figura 16

Modelo de pavimento de base finita y subrasante infinita



Nota: Imagen obtenida de (Flores, 2012, p.27)

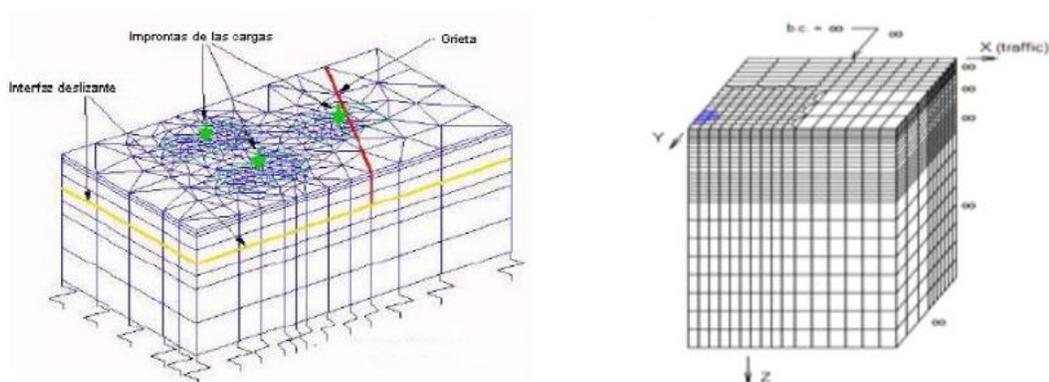
2.3.7.2. Modelización de Pavimento Flexible

2.3.7.2.1. Discretizar el medio de interés

Lizarraga (2013) las cargas de las ruedas se colocan sobre una serie de componentes de elementos finitos con formas geométricas básicas como base para discretizar el pavimento flexible.

Figura 17

Discretizado de pavimento por elementos finitos



Nota: Imagen obtenida de (Lizarraga, 2013, p.58)

2.3.7.2.2. Determinar las características de cada elemento

A cada elemento se le asigna un nodo y también se selecciona un rango para interpolar la alteración de una variable. Se crea una expresión matricial (matriz elemental) utilizando los elementos y sus funciones de interpolación para conectar los esfuerzos con cada desplazamiento en los bordes por cada elemento (Lizarraga, 2013).

$$\begin{bmatrix} H_i \\ H_j \\ H_k \\ V_i \\ V_j \\ V_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} & K_{16} \\ K_{12} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} & K_{26} \\ K_{13} & K_{32} & K_{33} & K_{34} & K_{35} & K_{36} \\ K_{14} & K_{42} & K_{43} & K_{44} & K_{45} & K_{46} \\ K_{15} & K_{52} & K_{53} & K_{54} & K_{55} & K_{56} \\ K_{16} & K_{62} & K_{63} & K_{64} & K_{65} & K_{66} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_i \\ U_j \\ U_k \\ V_i \\ V_j \\ V_k \end{bmatrix} = \{f\}[k]\{V_i\} \dots (12)$$

Donde:

- K_{11} : Fuerza horizontal en el nodo i provocado por un desplazamiento virtual de 1 en el nodo i .
- K_{12} : Fuerza horizontal provocado por un desplazamiento horizontal de 1 en el nodo j .

2.3.7.2.3. Ensamblar las ecuaciones elementales

Lizarraga (2013) para crear un conjunto de ecuaciones algebraicas que definan la cuestión más amplia, se sustituyen las matrices básicas.

$$\{F\} = [k] * \{V\} \dots (13)$$

2.3.7.2.4. Incorporar condiciones de borde

Lizarraga (2013) la matriz global incorpora las condiciones de los bordes (interior y bordes de cada área de análisis elegida).

2.3.7.2.5. Resolver el sistema de ecuaciones algebraicas

Un programa informático utiliza una técnica matricial adecuada para resolver el conjunto de ecuaciones algebraicas. El programa produce desplazamientos en cada nodo y utiliza esos desplazamientos para calcular las tensiones y deformaciones de los componentes, así como sus orientaciones en el plano (Lizarraga, 2013, p. 59).

2.3.7.2.6. Salida de resultados

Diferentes programas informáticos ofrecen representaciones visuales de varios datos de salida, incluida la magnitud de las fuerzas distribuidas internamente en varios lugares de la estructura del pavimento, el desplazamiento unitario provocado por la tensión y las mediciones de deflexión unidimensional (Lizarraga, 2013).

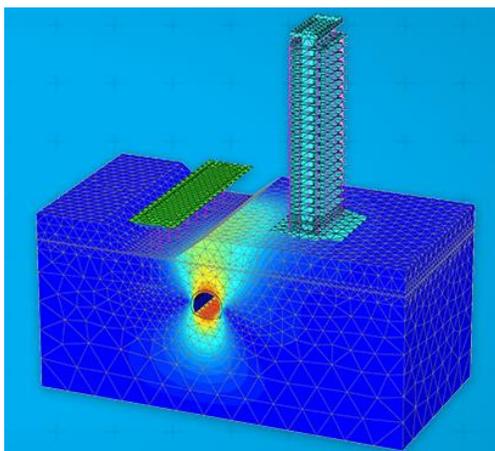
2.3.8. PROGRAMA COMPUTACIONAL (PLAXIS 2D)

2.3.8.1. Plaxis (Student License)

Un programa informático de elementos finitos bidimensional llamado PLAXIS fue creado especialmente para hacer análisis de estabilidad y deformación de cuestiones geotécnicas. Las circunstancias que pueden modelarse son las dificultades con la deformación plana o la deformación axisimétrica. Se puede generar fácilmente una malla de elementos finitos y un modelo geométrico mediante la interfaz gráfica de usuario del programa, utilizando una sección transversal vertical que represente la situación en cuestión (PLAXIS, 2004).

Figura 18

Modelado de proyectos complejos de geoingeniería



Nota: Imagen obtenida de <https://www.plaxis.com>.

Los casos que se pueden modelar con PLAXIS corresponden a deformaciones planas o problemas asimétricos. Sus aplicaciones incluyen el modelado de muros de contención, columnas, pisos de losa, almacenes, reservorios, túneles, geomallas, etc. Ejecuta el análisis de plasticidad, consolidación, seguridad y dinámico (Díaz & López, 2008, p. 27).

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Pavimento:** Estructura compuesta por capas que apoya en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla durante un lapso denominado período de diseño y dentro de un rango de serviciabilidad. Esta definición incluye pistas, estacionamientos, aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías. (Norma CE.010, 2010)
- **Rasante:** Es el nivel superior del pavimento terminado. La Línea de Rasante se ubica en el eje de la vía. (Norma CE.010, 2010)
- **Capa de base asfáltica:** Es una capa estructural de algunos pavimentos flexibles compuesta de agregados minerales unidos con productos asfálticos. También conocida como Base Negra. (Norma CE.010, 2010)
- **Capa asfáltica de superficie:** Es la capa superior de un pavimento asfáltico, llamada también Capa de Desgaste o Capa de Rodadura. (Norma CE.010, 2010)
- **Espesor de diseño:** Es el espesor de cada capa del pavimento, determinado en el diseño. (Norma CE.010, 2010)
- **Estudio de cargas:** Es un estudio para determinar el peso transportado por cada eje y el número de ejes para cada tipo de camiones pesados. (Norma CE.010, 2010)
- **Periodo de diseño:** Es el tiempo, normalmente expresado en años, transcurrido entre la construcción (denominada año cero) y el momento de la rehabilitación del pavimento. (Norma CE.010, 2010)
- **Tráfico:** Determinación del número de aplicaciones de carga por eje simple equivalente, evaluado durante el período de diseño de proyecto. (Norma CE.010, 2010)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. PERSPECTIVA METODOLÓGICA

3.1.1. MÉTODO

El método de investigación es inductivo, porque se basa en conclusiones a partir de la premisas o hechos observables. Su análisis y observaciones permiten sacar conclusiones más o menos correctas, sin embargo, no permite obtener generalizaciones, es el método científico más común.

3.1.2. ORIENTACIÓN DE INVESTIGACIÓN

Según la orientación: Investigación aplicada.

- Es aplicada ya que se focaliza en la solución de problemas en un entorno definido, es decir, busca el empleo o uso de conocimientos con la finalidad de llevar a cabo de modo práctico para satisfacer exigencias concretas, proporcionando una solución al problema.

3.1.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

En cuanto al enfoque es de carácter cuantitativo, ya que la investigación realizó la recolección, desarrollo y análisis de la información de manera científica aplicando la medición numérica para poder diseñar y modelar.

3.1.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Conforme a la técnica de contrastación: Descriptiva - No experimental.

- La investigación es descriptiva, ya que se describe el procedimiento que permite disminuir el espesor en la configuración del pavimento, tomando en cuenta los trabajos hechos por la AASHTO y el Órgano del poder ejecutivo (MTC), además se describe el uso del Software Plaxis 2D.
- Es no experimental – transversal, porque se estudió el problema de manera visual tal como se generan en su ambiente natural y se analizó recurriendo a métodos de la AASHTO 93 y R-50 y es transversal porque se trabajó con datos recolectados en un solo momento y en un tiempo único.

3.1.5. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

En cuanto al nivel de investigación es descriptivo.

- Es descriptivo, porque describe la metodología de uso de geomallas biaxiales con el fin de reducir espesores en la configuración del pavimento y tiene como propósito responder adecuadamente a los objetivos planteados en la investigación.

3.1.6. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Transversal de carácter Descriptivo - No experimental.

3.2. POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

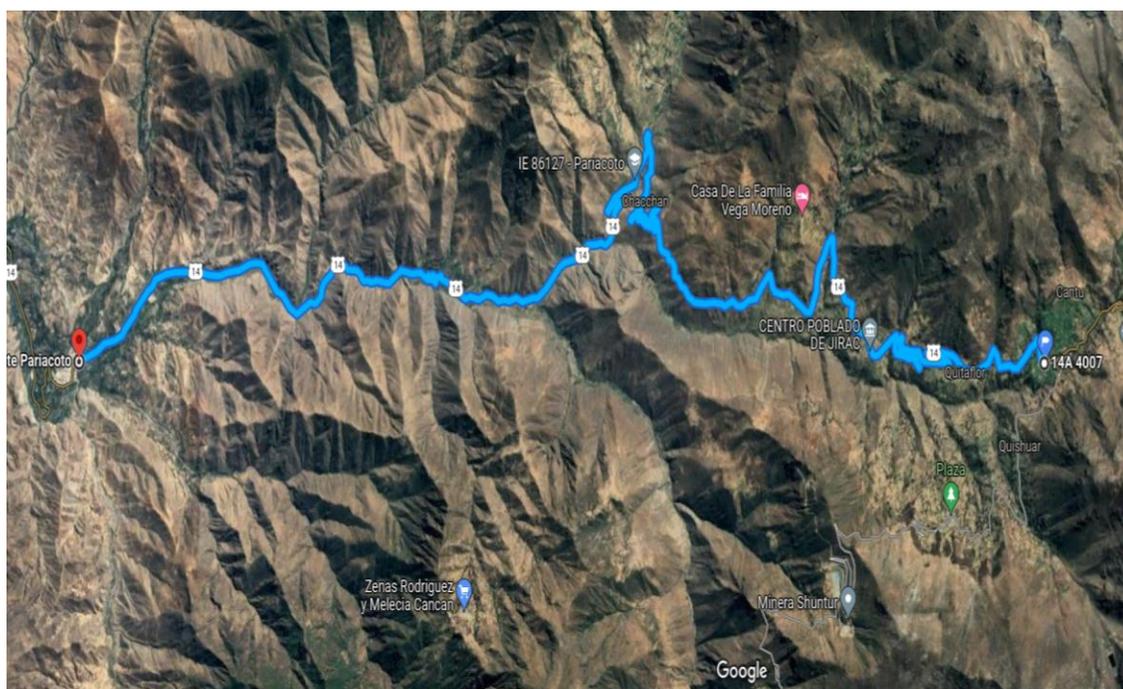
Como población de estudio, se tomó el tramo de carretera Pariacoto - Yupash, con progresiva de inicio Km 56+480 a la salida de la ciudad de Pariacoto y progresiva final a la localidad de Yupash Km 95+805 de la carretera Casma – Huaraz.

3.2.2. TAMAÑO DE MUESTRA

La elección de la muestra fue no probabilística, del tipo intencional, por criterio o juicio. Este criterio es el mejor tipo de muestreo no probabilístico, ya que se realizó teniendo como base el conocimiento y criterios del investigador, es así que se eligió el tramo Pariacoto – Yupash, entre Km 56+480 al Km 95+805 que cuenta con 39 kilómetros + 325 metros de carretera pavimentada con mezcla asfáltica, donde se realizó el diseño y modelización del pavimento.

Figura 19

Población y Tamaño de muestra (Tramo Pariacoto – Yupash)



Nota: Imagen obtenida de Google Earth (2022).

La zona de estudio Pariacoto - Yupash inicia en el Km. 56 + 480 y tiene como punto final el Km. 95+ 805 del Centro poblado menor de Yupash. La localidad de Yupash está comprendido en el distrito de Pira, pertenece a la provincia de Huaraz y se localiza en la cordillera Negra.

3.3. PLAN DE RECOPIACIÓN DE DATOS

Fuentes de recolección de datos:

Fuentes primarias:

- Se consideró como fuentes primarias al tramo de carretera Pariacoto – Yupash comprendido en la ruta (PE-14), de la Red Nacional Vial del Perú, del cual se tomó la información para realizar esta investigación.

Fuentes secundarias:

- Como fuentes secundarias se consideró la información obtenida de trabajos efectuados en el área de estudio, la aplicación de la metodología AASHTO R-50, Manual de carreteras del MTC – Sección Suelos y Pavimentos, Manual Plaxis 2D e información de Estudios de Geología, Geotecnia, Hidrología y ensayos de laboratorio obtenidos del expediente técnico: “Estudio definitivo de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Casma – Yautan – Huaraz, tramo: Pariacoto – Yupash”.

El plan de recopilación de datos se realizó en dos fases:

Primera fase:

- Antes de comenzar el trabajo en el área de estudio se ejecutó una recopilación de información referente al tema de investigación, información de estudios aplicados

en el área, adquisición de mapas geomorfológicos, geológicos, satelitales y finalmente se llevó a cabo una planificación de tareas a realizar.

- Fue necesario conseguir información referente a antecedentes referidos a la investigación de aquellos trabajos relacionados e información de tesis que estén asociados al problema investigado. La segunda fase lo conformó una campaña de campo constituyendo una recolección de datos en la carretera.

Segunda fase:

- Se llevo a cabo un reconocimiento de la zona de trabajo, para observar posibles fallas en la superficie del pavimento flexible del tramo Pariacoto – Yupash como alteraciones en la carpeta asfáltica, fallas por agrietamiento en forma longitudinal, transversal y daños relacionados a la fatiga.
- Se realizó un estudio de tránsito actualizado, con la finalidad de contabilizar, organizar y saber la cantidad de vehículos que se transitan en la carretera, para lo cual se utilizó formatos estandarizados previamente prediseñados y cálculos expresados por el MTC en el Manual de carreteras.
- Para el estudio geotécnico de suelos y ensayos de laboratorio, se trabajó con datos obtenidos del Expediente técnico definitivo de rehabilitación y mejoramiento del tramo: Pariacoto - Yupash, que permitió dar a conocer las propiedades mecánicas y físicas del suelo, características estructurales, mecánicas y físicas de la capa de agregado, base y subbase que componen la sección del pavimento mediante hojas de registro.
- Para finalizar se hizo un registro fotográfico de las actividades realizadas en el tramo de la carretera Pariacoto – Yupash.

3.4. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

El plan de procesamiento se realizó de la siguiente manera:

- Gabinete Estudio de Suelos:

Los datos de Estudios de geotecnia, geología, hidrología y ensayos de laboratorio obtenidos del Expediente técnico definitivo de rehabilitación y mejoramiento del tramo: Pariacoto – Yupash, fueron expresados en una hoja de resultados detallados en el apéndice de Anexos de la investigación, se tuvieron en cuenta los principales ensayos del expediente técnico.

- Ensayos de laboratorio Básicos.
 - Clasificación SUCS
 - Contenido de humedad
 - Análisis granulométrico
 - Límites de consistencia
 - Gravedad específica de sólidos
 - Ensayo de peso específico y absorción
 - Ensayo estándar para la densidad
- Ensayos especiales.
 - Ensayo de compactación Proctor.
 - Ensayo Proctor Modificado.
 - Ensayo de CBR.

- Gabinete Estudio de tráfico:

Después de obtenido los datos actualizados de conteo final de vehículos de acuerdo al modelo, sentido y registro de control se determinó el IMD (Índice medio

diario) por medio de hojas de cálculo en Excel. La cantidad de vehículos que circulan por la vía diariamente se logró a través del conteo de vehículos y un estudio de la demanda vehicular en global.

- Gabinete Diseño de pavimento flexible sin reforzamiento:

Luego de obtenido los parámetros o variables de diseño, se llevó a cabo el diseño estructural de cada componente del pavimento sin reforzamiento, de acuerdo al enfoque AASHTO 93, con el cual se determinó el número estructural (SN) y por último se calculó el espesor de cada sección del pavimento. Para ello se empleó hojas de cálculo del programa Excel.

- Gabinete Diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomalla biaxial:

Después de determinado las variables de diseño, y las características de las geomallas biaxiales, se efectuó el diseño de pavimento con reforzamiento de acuerdo al método AASHTO R-50 y la Metodología Giroud – Han, con el cual se calculó el número estructural reforzado ($SN_{REFORZADO}$) y por último se hallaron los espesores de la configuración del pavimento flexible reforzado con geomallas biaxiales. Para ello se hizo uso de hojas de cálculo del programa Excel.

- Gabinete Modelización Numérica del pavimento:

Para realizar la modelización numérica se utilizó el software Plaxis 2D, en el cual se asignó la geometría de la sección del pavimento, luego se asignaron las características de cada material como el peso específico, ángulo de fricción, cohesión, entre otros datos adquiridos de las pruebas de laboratorio, luego el software que consta de un sistema de CAD, grafico la sección vertical del modelo geométrico del pavimento reforzado con geomallas biaxiales, luego se discretizaron

por medio de un enmallado, se asignaron las condiciones de borde, y luego se procedieron a realizar los cálculos y entrega de los reportes respectivos.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.5.1. TÉCNICAS

Técnicas a usar en la investigación:

Análisis documental:

- Se consultó en forma física y en línea diferentes fuentes y documentos referidos al tema de estudio, trabajos de pregrado, maestría y doctorado de distintas universidades, nacionales y extranjeras, revistas de investigación, artículos de investigación, manuales entre otros, las cuales están basadas principalmente en el modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento.

Observación de campo:

- En cuanto a la recolección de información se aplicó la observación en campo del tramo de carretera Pariacoto – Yupash.
- Datos de Estudios de Geología, Geotecnia, Hidrología y ensayos de laboratorio obtenidos del Expediente técnico definitivo de rehabilitación y mejoramiento del tramo: Pariacoto – Yupash.

3.5.2. INSTRUMENTOS

Instrumentos a usar en la investigación:

- Fichas de registro de campo.
- Formatos técnicos
- Recolección de datos

3.6. RECURSOS EMPLEADOS

3.6.1. RECURSOS TÉCNICOS

- Topografía (Modelos Digitales de elevación)
- Estudio de geotécnico de suelo (Ensayos de laboratorio)
- Manual Programas computacionales (Plaxis 2D).
- Estudio de tránsito (Determinación ESALs).
- Expediente técnico, Estudio definitivo de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Casma - Yautan - Huaraz, tramo: Pariacoto - Yupash.

3.6.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.6.2.1. Materiales

- Para procesar los datos y luego analizar los resultados, se usaron:
 - AutoCAD – 2020 y AutoCAD Civil3D – 2020
 - Microsoft Word 2021 y Microsoft Excel 2021
 - Plaxis 2D
- Como Materiales de escritorio se utilizó:
 - Hojas Bond, lapicero, resaltador.
 - Impresoras, tinta para impresora, fotocopidora.
 - CD, anillado y empastado.

3.6.2.2. Equipos

- GPS navegador.
- Cámara fotográfica digital.
- Equipos de laboratorio.
- Laptop.

3.6.3. RECURSOS HUMANOS

Investigador : Justiniano Cancha Heyner Reynaldo

Asesor : Alva Villacorta Oscar Fredy

3.7. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

- En cuanto al análisis y apreciación de la información se realizó de la siguiente manera, primeramente, se analizó los resultados determinados de los estudios de tránsito o conteo de vehículos, estudio de suelos y el diseño de la configuración de pavimento sin y con refuerzo de geomallas biaxiales, la segunda parte se procedió a analizar los resultados expresados numéricamente, a través de tablas, gráficos, cuadros comparativos, graficas obtenidas del software Plaxis 2D.
- Con la información obtenida del diseño de espesor del pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales de la vía pavimentada Casma - Huaraz, tramo Pariacoto - Yupash, se realizó la modelización del pavimento con el software (Plaxis 2D), con el cual se demostró que al utilizar el reforzamiento de geomallas biaxiales se reducen significativamente cada espesor de la sección del pavimento flexible, finalmente se interpretaron los resultados obtenidos en el programa computacional Plaxis 2D al realizar un Análisis numérico por elementos finitos, se analizó cómo influyen también las propiedades geotécnicas, hidráulicas y dinámicas del suelo, como influyen las variables de diseño y por último se presentó varios modelos numéricos del pavimento flexible del tramo Pariacoto - Yupash.

CAPÍTULO IV: MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

4.1. CONSIDERACIONES GENERALES

4.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.1.1. Ubicación política

La localización del área de estudio comprende el tramo Pariacoto – Yupash de la carretera Casma – Huaraz que pertenece a la Red Nacional Vial del Perú (PE-14) y está situado en:

Tabla 3

Ubicación Política del tramo de estudio

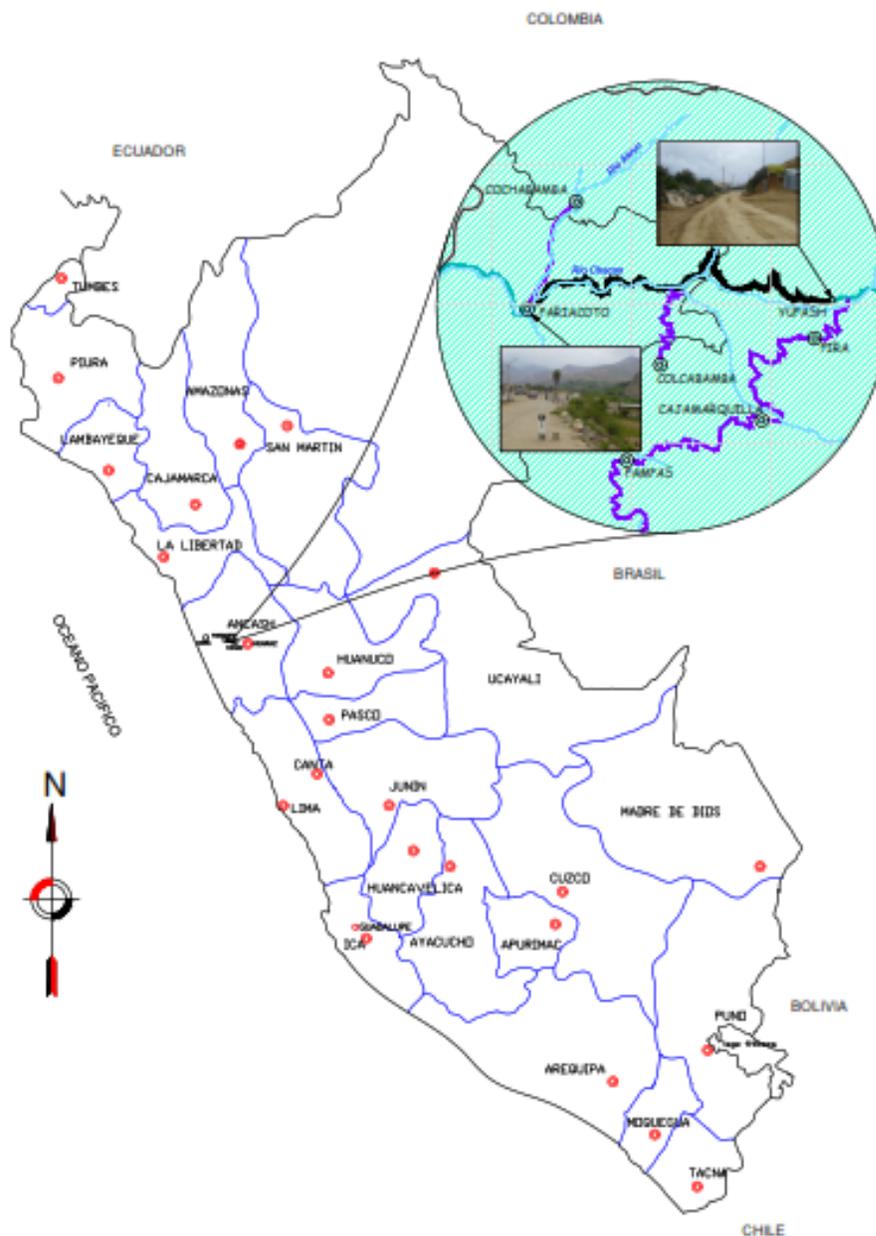
Departamento	Ancash
Provincia	Huaraz
Distrito	Pariacoto/Pira
Localidad inicial	Distrito de Pariacoto
Localidad final	Centro Poblado Menor de Yupash
Cordillera	Negra

Nota: Elaboración propia del Autor.

El área de estudio para la modelización y diseño de pavimento flexible con reforzamiento, comprende a la siguiente ubicación de acuerdo a la Figura 20:

Figura 20

Ubicación Política del tramo Pariacoto - Yupash



Nota: Imagen adaptada del Expediente técnico, Tramo Pariacoto - Yupash.

4.1.1.2. Ubicación geográfica

En coordenadas UTM:

Tabla 4

Ubicación Geográfica en coordenadas UTM del tramo de estudio

Punto	Este	Norte
Pariacoto (Km 56 + 480)	182824.00	8941989.00
Yupash (Km 95 + 805)	204942.00	8942150.00

Nota: Elaboración propia del Autor.

Altitud:

Tabla 5

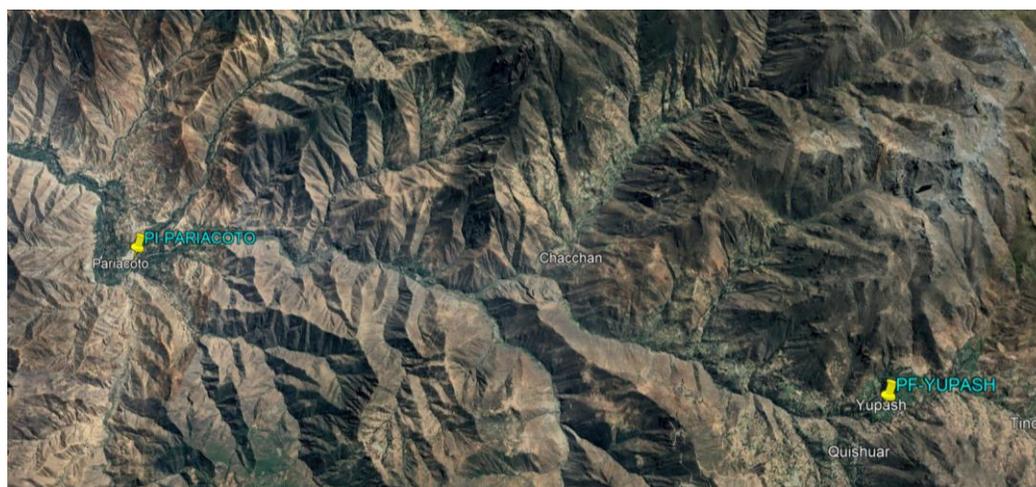
Altitud del tramo de estudio

Punto	Elevación
Pariacoto	1,246 m.s.n.m.
Yupash	3,422 m.s.n.m.

Nota: Elaboración propia del Autor.

Figura 21

Ubicación Geográfica del tramo Pariacoto - Yupash



Nota: Imagen obtenida de Google Earth (2022).

4.1.2. LÍMITES DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se tiene como punto de comienzo el Km. 56 + 480 del tramo Pariacoto - Yupash, teniendo como referencia de inicio el puente “Pariacoto”, situado en el distrito de Pariacoto, que pertenece a la provincia de Huaraz y se localiza en la cordillera Negra.

Figura 22

Punto inicial Km. 56 + 480 del tramo Pariacoto - Yupash



Nota: Imagen tomada por el Autor (2022).

Como lugar de finalización del tramo de estudio se tiene el Km. 95+ 805 del Centro poblado menor de Yupash. La localidad de Yupash se encuentra situado dentro del distrito de Pira, provincia de Huaraz, teniendo como referencia la ascensión hasta llegar a los 3,422 m.s.n.m. que pertenece al tramo Yupash - Huaraz.

Figura 23

Punto final Km. 95 + 805 del tramo Pariacoto - Yupash



Nota: Imagen tomada por el Autor (2022).

4.1.3. VÍA PRINCIPAL DE ACCESO

A partir de la ciudad principal de Huaraz se puede llegar a través de la Carretera Casma – Huaraz, la actual vía existente se caracteriza por presentar un terreno escabroso, pendientes pronunciadas y anchos de superficie distintos de 5.00 a 6.00 metros, es de importancia en vista que compone unas de las esenciales vías de comunicación que conecta la zona costa y sierra de la región Ancash.

4.2. ESTUDIOS BÁSICOS

4.2.1. ESTUDIO DE TRÁFICO

4.2.1.1. Introducción

El estudio de tránsito o denominado tráfico es un aspecto indispensable en el diseño de pavimento de una carretera ya que influye claramente en el diseño geométrico de una sección, en ese sentido este estudio de tráfico aplicado en el ámbito de influencia del tramo Pariacoto – Yupash, describe y presenta resultados obtenidos por medio del conteo de tránsito vehicular y la demanda generada por el transporte en global.

4.2.1.2. Objetivos del Estudio de Tráfico

- Calcular el volumen de tránsito y categorizar de acuerdo al tipo de vehículo.
- Determinar el índice medio diario anual (IMDA).
- Proyectar el IMDA para un periodo de diseño de 20 años.
- Determinar del Número de Repeticiones (ESAL).

4.2.1.3. Alcance del Estudio de tráfico

En este aspecto del estudio vehicular de tráfico, el alcance comprendió la revisión de antecedentes referentes a los registros de tráfico existentes en las estadísticas oficiales del Órgano (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) por otra parte, se determinó en campo del volumen de tránsito existente y se categorizó de acuerdo al tipo de vehículo que circula por la carretera Pariacoto – Yupash.

Además, con este estudio se logró adquirir la información del conteo de tránsito vehicular para la determinación del índice (IMDA).

4.2.1.4. Metodología de trabajo

a) Planificación y desplazamiento al lugar de estudio

Comprendió la disposición de recursos a fin de ejecutar adecuadamente las tareas en la carretera de estudio, con una planificación y movilización hacia la ubicación del tramo Pariacoto – Yupash por la carretera Casma – Huaraz.

b) Ubicación - Estación de conteo

La Estación E1 se instaló en Pariacoto, tomando como punto de conteo el puente de Pariacoto, las labores de conteo de volumen y categorización vehicular fueron realizados a lo largo de 7 días sucesivos, durante las 24 horas del día, anotando dicha información en el formato de campo.

La estación inició sus labores el día domingo 10 de Julio de 2022 y se concluyó el sábado 16 de Julio de 2022.

Figura 24

Estación de conteo vehicular – Puente de Pariacoto



Nota: Imagen tomada por el Autor (2022).

4.2.1.5. Conteo de tráfico vehicular

Después de haberse llevado a cabo en gabinete la organización y congruencia de la información recogida del conteo de vehículos se ha conseguido resultados del número de vehículos por cada día. Se muestran datos de conteo de tráfico diarios, variaciones horarias por sentido de tránsito, categorización horaria y global por cada día de la semana.

Tabla 6

Resumen de clasificación diaria de tráfico por sentido

Día	Sentido	A.	S.W	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				Total Veh/día	
				P.U	P.	R.		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
Domingo	A Casma	327	79	118	114	37	0	44	2	1	41	7	3	1	0	4	1	3	5	1	0	1	4	793
	A Huaraz	298	60	129	106	34	0	30	6	0	31	4	1	1	0	0	0	7	7	1	0	1	3	719
	Ambos	625	139	247	220	71	0	74	8	1	72	11	4	2	0	4	1	10	12	2	0	2	7	1512
Lunes	A Casma	320	76	121	81	35	0	42	2	0	44	9	5	1	1	2	0	2	6	0	0	1	4	752
	A Huaraz	300	62	141	67	35	0	33	5	0	31	3	2	0	0	0	0	5	3	1	0	0	4	692
	Ambos	620	138	262	148	70	0	75	7	0	75	12	7	1	1	2	0	7	9	1	0	1	8	1444
Martes	A Casma	284	59	113	75	32	0	39	1	0	35	7	4	1	0	2	0	2	6	0	0	0	3	663
	A Huaraz	263	65	141	71	34	0	33	5	0	30	3	2	1	0	1	0	7	4	1	0	1	3	665
	Ambos	547	124	254	146	66	0	72	6	0	65	10	6	2	0	3	0	9	10	1	0	1	6	1328
Miércoles	A Casma	290	52	111	77	33	0	36	2	0	38	6	3	2	1	2	0	2	5	0	0	1	4	665
	A Huaraz	273	73	138	63	34	0	34	5	1	32	3	1	1	0	1	1	4	5	1	0	1	5	676
	Ambos	563	125	249	140	67	0	70	7	1	70	9	4	3	1	3	1	6	10	1	0	2	9	1341
Jueves	A Casma	308	51	118	82	31	0	38	1	0	40	5	4	1	0	3	0	3	5	0	0	1	4	695
	A Huaraz	296	61	137	66	34	0	34	5	0	33	3	2	1	0	1	0	7	3	1	0	0	3	687
	Ambos	604	112	255	148	65	0	72	6	0	73	8	6	2	0	4	0	10	8	1	0	1	7	1382
Viernes	A Casma	333	75	117	84	38	0	41	2	0	43	8	3	0	0	2	0	2	6	0	0	0	5	759
	A Huaraz	294	52	139	76	36	0	36	6	0	34	5	2	1	1	0	0	5	5	2	0	1	3	698
	Ambos	627	127	256	160	74	0	77	8	0	77	13	5	1	1	2	0	7	11	2	0	1	8	1457
Sábado	A Casma	357	69	126	95	39	0	47	1	0	47	7	3	1	0	3	0	3	5	1	0	0	4	808
	A Huaraz	312	56	132	94	33	0	33	5	0	36	4	2	1	0	3	0	4	4	0	0	1	5	725
	Ambos	669	125	258	189	72	0	80	6	0	83	11	5	2	0	6	0	7	9	1	0	1	9	1533

Nota: Datos obtenidos del conteo vehicular (Elaboración propia del Autor).

4.2.1.6. Índice medio diario semanal (IMDs)

Para determinar el IMDs es necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$IMDs = \frac{V_D + V_L + V_M + V_M + V_J + V_V + V_S}{7} \dots (14)$$

Por lo tanto:

IMDs: Indica el índice medio diario semanal

Vi: Indica el volumen vehicular diario de los 7 días de la semana.

A continuación, se muestran datos del índice (IMDs) por sentido de circulación y el total de vehículos que transitan por cada día contenido en la semana.

Tabla 7

Índice medio diario semanal (Sentido: A Casma)

Día	A.	S.W	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión				Semitrayers					Traylers				Total Veh/día
			P.U	P.	R.		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
Domingo	327	79	118	114	37	0	44	2	1	41	7	3	1	0	4	1	3	5	1	0	1	4	793
Lunes	320	76	121	81	35	0	42	2	0	44	9	5	1	1	2	0	2	6	0	0	1	4	752
Martes	284	59	113	75	32	0	39	1	0	35	7	4	1	0	2	0	2	6	0	0	0	3	663
Miércoles	290	52	111	77	33	0	36	2	0	38	6	3	2	1	2	0	2	5	0	0	1	4	665
Jueves	308	51	118	82	31	0	38	1	0	40	5	4	1	0	3	0	3	5	0	0	1	4	695
Viernes	333	75	117	84	38	0	41	2	0	43	8	3	0	0	2	0	2	6	0	0	0	5	759
Sábado	357	69	126	95	39	0	47	1	0	47	7	3	1	0	3	0	3	5	1	0	0	4	808
IMDs	317	66	118	87	35	0	41	2	0	41	7	4	1	0	3	0	2	5	0	0	1	4	734

Nota: Datos del índice medio diario semanal en sentido a Casma (Elaboración propia del Autor).

Tabla 8

Índice medio diario semanal (Sentido: A Huaraz)

Día	A.	S.W	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				Total	
			P.U	P.	R.		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
Domingo	298	60	129	106	34	0	30	6	0	31	4	1	1	0	0	0	7	7	1	0	1	3	719
Lunes	300	62	141	67	35	0	33	5	0	31	3	2	0	0	0	5	3	1	0	0	4	692	
Martes	263	65	141	71	34	0	33	5	0	30	3	2	1	0	1	0	7	4	1	0	1	3	665
Miércoles	273	73	138	63	34	0	34	5	1	32	3	1	1	0	1	1	4	5	1	0	1	5	676
Jueves	296	61	137	66	34	0	34	5	0	33	3	2	1	0	1	0	7	3	1	0	0	3	687
Viernes	294	52	139	76	36	0	36	6	0	34	5	2	1	1	0	0	5	5	2	0	1	3	698
Sábado	312	56	132	94	33	0	33	5	0	36	4	2	1	0	3	0	4	4	0	0	1	5	725
IMDs	291	61	137	78	34	0	33	5	0	32	4	2	1	0	1	0	6	4	1	0	1	4	695

Nota: Datos del índice en sentido a Huaraz (Elaboración propia del Autor).

Tabla 9

Índice medio diario semanal (Sentido: Ambos)

Día	A.	S.W	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				Total	
			P.U	P.	R.		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
Domingo	625	139	247	220	71	0	74	8	1	72	11	4	2	0	4	1	10	12	2	0	2	7	1512
Lunes	620	138	262	148	70	0	75	7	0	75	12	7	1	1	2	0	7	9	1	0	1	8	1444
Martes	547	124	254	146	66	0	72	6	0	65	10	6	2	0	3	0	9	10	1	0	1	6	1328
Miércoles	563	125	249	140	67	0	70	7	1	70	9	4	3	1	3	1	6	10	1	0	2	9	1341
Jueves	604	112	255	148	65	0	72	6	0	73	8	6	2	0	4	0	10	8	1	0	1	7	1382
Viernes	627	127	256	160	74	0	77	8	0	77	13	5	1	1	2	0	7	11	2	0	1	8	1457
Sábado	669	125	258	189	72	0	80	6	0	83	11	5	2	0	6	0	7	9	1	0	1	9	1533
IMDs	608	127	254	164	69	0	74	7	0	74	11	5	2	0	3	0	8	10	1	0	1	8	1428

Nota: Datos del índice en ambos sentidos (Elaboración propia del Autor).

4.2.1.7. Factor de corrección estacional

Para determinar el factor de corrección estacional se tuvo en cuenta la información anual de tráfico registrada por la Estación de Peaje de “Vesique” para vehículos ligeros y vehículos pesados con el propósito de hacer una corrección para suprimir las variadas fluctuaciones en el volumen de tránsito vehicular por motivo de los cambios estacionales.

Figura 25

Factores de corrección de vehículos ligeros por unidad de peaje

Factores de corrección de vehículos ligeros por unidad de peaje - Promedio (2010-2016)														
N°	Peaje	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
		Ligeros	Ligeros	Ligeros	Ligeros	Ligeros								
		FC	FC	FC	FC	FC								
53	PIURA SULLANA	1.1032	1.0808	1.1780	1.0977	1.0536	1.0475	0.9646	0.9472	0.9953	0.9479	0.9443	0.7354	1.0000
54	PLANCHON	1.0522	1.0822	1.0719	1.0640	1.0586	1.0147	0.9340	0.9113	0.9516	0.9578	1.0475	0.7584	1.0000
55	POMAHUACA	0.9923	0.9975	1.1424	1.1909	1.1430	1.0907	0.9262	0.8476	0.9921	0.9880	1.0076	0.7033	1.0000
56	PONGO	1.0334	1.0848	1.0606	1.0886	1.0567	1.0028	0.9826	0.9141	0.9728	0.9669	0.9699	0.8065	1.0000
57	POZO REDONDO	0.9235	0.8502	1.0219	1.0682	1.1022	1.0689	1.0385	1.0403	1.1089	1.0396	1.0052	0.8472	1.0000
58	PUNTA PERDIDA	0.9849	0.8010	1.1299	1.2158	1.4581	1.4051	0.8099	0.5874	1.1694	1.0552	1.2693	1.0738	1.0000
59	QUIJULLA	1.1371	1.1635	1.2501	1.0385	1.0168	1.0572	0.8120	0.8670	0.9850	0.9894	1.1196	0.8197	1.0000
60	RUMICHACA	1.0728	0.9436	1.0297	0.8578	1.2202	1.1942	0.8757	0.8975	1.0348	1.0713	1.1703	0.9911	1.0000
61	SAN ANTON								1.1261	1.0559	0.9635	1.0337	0.8809	1.0000
62	SAN GABAN	1.0500	0.9816	1.0785	1.0904	1.1222	1.0984	0.9730	0.9088	0.9405	0.9236	0.9675	0.8185	1.0000
63	SAN LORENZO	0.9766	1.0535	1.1195	1.1258	1.1044	1.0287	0.8775	0.9294	0.9572	0.9531	1.0553	0.7550	1.0000
64	SANTALUCIA	1.0119	0.8481	1.1341	1.1083	1.1142	1.1636	0.9390	0.7603	1.0670	1.0127	1.0654	0.8428	1.0000
65	SAYLLA	1.0247	0.9848	1.1232	1.0935	1.0634	1.0650	0.9819	0.9125	0.9189	0.9852	0.9876	0.9300	1.0000
66	SERPENTIN DE PASAMAYO	1.0952	1.0572	1.0806	1.0634	1.0649	1.0634	0.9685	0.8150	1.0387	1.0592	1.0482	0.9383	1.0000
67	SICUYANI	1.0307	0.8251	1.0268	1.0855	1.1303	1.1529	0.9101	0.7631	1.0878	1.0585	1.1855	1.0308	1.0000
68	SOCOS	1.2201	0.9974	0.9997	0.8936	1.0904	1.0721	0.9417	0.9564	1.0115	1.0043	1.0295	0.9394	1.0000
69	TAMBOGRANDE	0.9319	0.9595	1.0447	1.1058	1.0969	1.0611	1.0462	1.0492	1.0252	0.8999	0.9612	0.8933	1.0000
70	TOMASIRI	0.9857	0.9170	1.0642	1.0853	1.1028	1.0928	1.0370	0.9984	0.9003	1.0377	1.0434	0.7758	1.0000
71	TUNAN	1.0782	1.0585	1.1034	1.0103	1.0405	1.0399	0.8655	0.8521	0.9794	0.9803	1.1159	0.9908	1.0000
72	UNION PROGRESO	1.0447	1.0363	1.0948	1.0397	1.0254	1.0172	0.9599	0.9337	0.9674	1.0156	1.0481	0.7614	1.0000
73	UTCUBAMBA	1.2615	1.0304	1.0861	1.0957	1.0591	1.0235	0.9403	0.8986	0.9387	0.9666	0.9829	0.7404	1.0000
74	VARIANTE DE PASAMAYO	0.9446	0.9314	1.0413	0.9953	1.0835	1.1120	0.9454	0.9962	1.0777	0.9899	1.0378	0.7725	1.0000
75	VARIANTE DE UCHUMAYO	0.7271	0.6706	1.0249	1.1471	1.1965	1.1952	1.1283	1.0842	1.1307	1.1457	1.1340	0.8249	1.0000
76	VESIQUE	0.8541	0.8934	1.0456	1.0853	1.1403	1.1558	1.0155	1.0827	1.1187	1.0027	1.0222	0.6992	1.0000
77	VIRU	1.0216	0.9810	1.0936	1.0639	1.1199	1.1221	0.9508	1.0231	1.0946	0.9628	0.9888	0.6731	1.0000
78	YAUCA	0.8963	0.8050	1.0503	1.0220	1.1199	1.1231	0.9580	0.9940	1.0611	1.0581	1.1286	0.9101	1.0000

Nota: Imagen obtenida de la Ficha para carreteras interurbanas del sector transporte.

Figura 26

Factores de corrección de vehículos pesados por unidad de peaje

Factores de corrección de vehículos pesados por unidad de peaje - Promedio (2010-2016)														
Código	Peaje	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
		Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados								
		FC	FC	FC	FC	FC								
53	PIURA SULLANA	1.0777	1.0635	1.1221	1.0607	1.0386	1.0120	1.0199	0.9693	0.9893	0.9711	0.9363	0.7840	1.0000
54	PLANCHON	1.3438	1.2774	1.1203	1.2187	1.0792	1.0400	0.9561	0.8949	0.8533	0.8878	0.9470	0.7937	1.0000
55	POMAHUACA	1.0921	1.0391	1.0626	1.0829	1.0577	1.0278	0.9851	0.9081	0.9596	0.9608	0.9436	0.8043	1.0000
56	PONGO	1.1352	1.0876	1.0772	1.0246	0.9968	0.9762	0.9396	0.9093	0.9267	0.9780	0.9737	0.9432	1.0000
57	POZO REDONDO	1.0265	0.9947	1.0212	1.0323	1.0463	1.0444	0.9966	0.9978	1.0416	1.0080	0.9479	0.8953	1.0000
58	PUNTA PERDIDA	1.1241	1.1208	1.0721	1.0308	1.3098	1.1524	0.9881	0.9410	0.9228	0.8658	0.9105	0.9502	1.0000
59	QUIJILLA	1.1612	1.0951	1.0804	0.9231	0.9335	0.9738	0.9523	0.9509	0.9766	0.9979	1.1258	0.9767	1.0000
60	RUMICHACA	1.0818	1.0268	1.0299	1.0168	1.0400	0.9999	0.9651	0.9211	0.9717	0.9617	1.0142	1.0086	1.0000
61	SAN ANTON								1.0513	1.0045		1.0325	0.9507	1.0000
62	SAN GABAN	1.0987	1.0538	1.1783	1.1125	1.1375	1.0887	1.2293	0.8892	0.8511	0.8426	0.9370	0.8556	1.0000
63	SAN LORENZO	1.4046	1.3695	1.3441	1.2260	1.1596	1.0369	0.9617	0.9140	0.8716	0.8117	0.8314	0.7406	1.0000
64	SANTALUCIA	1.0470	1.0248	1.0863	1.0801	1.0723	1.0987	1.0265	0.9249	0.9396	0.9085	0.9206	0.7987	1.0000
65	SAYLLA	1.0655	1.0234	1.0782	1.0621	1.0384	1.0339	0.9836	0.9496	0.9489	0.9527	0.9402	0.9677	1.0000
66	SERPENTIN DE PASAMAYO	1.0230	1.0047	1.0391	1.0460	1.0344	1.0180	1.0079	0.9814	0.9903	0.9671	0.9547	0.8073	1.0000
67	SICUYANI	1.1224	1.0194	1.0416	1.0932	1.1379	1.1370	1.0892	1.0167	1.0202	0.9074	0.9111	0.9537	1.0000
68	SOCOS	1.0895	1.0107	1.0057	1.0133	1.0501	0.9948	0.9791	0.9551	0.9911	0.9563	1.0190	0.9775	1.0000
69	TAMBOGRANDE	0.5981	0.7330	1.1320	1.4600	1.4249	1.2833	1.3179	1.3397	1.1955	1.0221	0.9193	0.7364	1.0000
70	TOMASIRI	0.9707	0.9200	1.0234	1.0693	1.0587	1.0722	1.0633	1.0043	0.9636	0.9993	0.9996	0.8396	1.0000
71	TUNAN	1.0667	1.0665	1.0946	1.0642	0.9824	0.9383	0.9359	0.9286	0.9760	0.9695	1.0221	1.0081	1.0000
72	UNION PROGRESO	1.1490	1.1263	1.0698	1.0555	1.0314	1.0245	0.9767	0.9104	0.9079	0.9712	0.9732	0.7871	1.0000
73	UTCUBAMBA	1.1972	1.0385	1.0281	1.0362	1.0103	0.9780	0.9674	0.9217	0.9488	0.9731	0.9745	0.8352	1.0000
74	VARIANTE DE PASAMAYO	0.9887	0.9310	0.9776	1.0407	1.0175	0.9947	1.0313	1.0007	1.0627	1.0236	0.9889	0.8481	1.0000
75	VARIANTE DE UCHUMAYO	1.0098	0.9718	1.0488	1.0730	1.0687	1.0488	1.0203	0.9727	0.9680	0.9544	0.9535	0.8176	1.0000
76	VESIQUE	1.0350	0.9958	1.0528	1.0910	1.0936	1.0812	1.0585	1.0182	1.0308	0.9303	0.9137	0.7587	1.0000
77	VIRU	1.0480	1.0102	1.0629	1.0926	1.0942	1.0887	1.0686	1.0210	1.0220	0.9200	0.8925	0.7637	1.0000
78	YAUCA	1.0357	0.9909	1.0322	1.0391	1.0356	1.0435	1.0345	0.9875	0.9833	0.9602	0.9350	0.9457	1.0000

Nota: Imagen obtenida de la Ficha para carreteras interurbanas del sector transporte.

El factor de corrección de vehículos ligeros y pesados se obtuvo en función de los datos contenidos en la Ficha técnica estándar para la formulación y evaluación de proyectos de inversión en carreteras interurbanas, tomando como soporte los datos de la estación de peaje de “Vesique”. A continuación, se presenta la Tabla 10 con los respectivos valores.

Tabla 10*Factores de corrección estacional: Estación de Vesique*

Mes	Factor de corrección	
	Vehículos ligeros	Vehículos pesados
Julio	1.015524	1.058494

Nota: Datos de la Estacion de Vesique.

4.2.1.8. Índice Medio Diario Anual (IMDA)

Para obtener el índice (IMDA) se multiplico el índice (IMDs) con el factor de corrección antes indicado. A continuación, se muestran datos del índice anual (IMDA) de acuerdo al sentido de circulación.

Tabla 11*Índice medio diario anual (Sentido: A Casma)*

IMD	A.	S.W	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitrayers					Trayers				Total	
			P.U	P.	R.		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
IMDs	317	66	118	87	35	0	41	2	0	41	7	4	1	0	3	0	2	5	0	0	1	4	734
IMDA	322	67	120	88	36	0	43	2	0	44	7	4	1	0	3	0	3	6	0	0	1	4	751

Nota: Datos del índice medio diario anual en sentido a Casma (El Autor).

Tabla 12*Índice medio diario anual (Sentido: A Huaraz)*

IMD	A.	S.W	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitrayers					Traylers				Total	
			P.U	P.	R.		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
IMDs	291	61	137	78	34	0	33	5	0	32	4	2	1	0	1	0	6	4	1	0	1	4	695
IMDA	295	62	139	79	35	0	35	6	0	34	4	2	1	0	1	0	6	5	1	0	1	4	710

Nota: Datos del índice medio diario anual en sentido a Huaraz (El Autor).

Tabla 13*Índice medio diario anual (Sentido: Ambos)*

IMD	A.	S.W	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitrayers					Traylers				Total	
			P.U	P.	R.		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
IMDs	608	127	254	164	69	0	74	7	0	74	11	5	2	0	3	0	8	10	1	0	1	8	1428
IMDA	617	129	258	167	70	0	79	7	0	78	11	6	2	0	4	0	8	10	1	0	1	8	1456

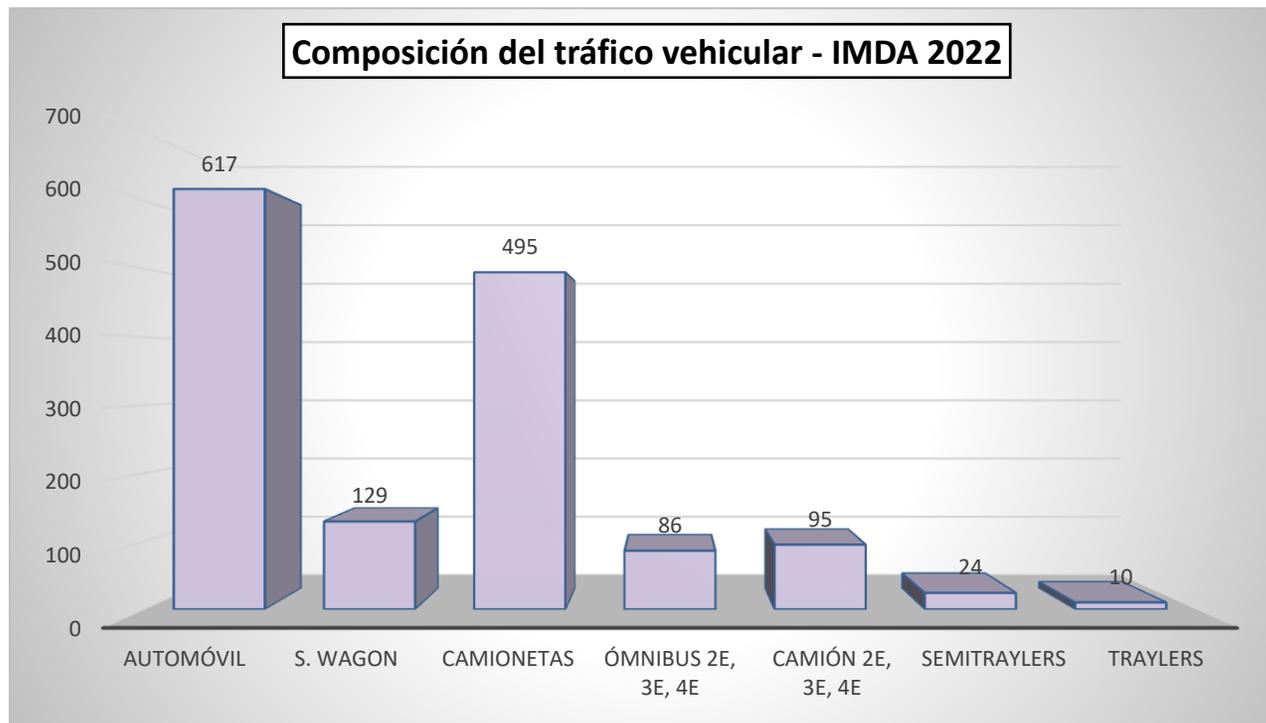
Nota: Datos del índice medio diario anual en ambos sentidos (El Autor).

El IMDA para el año 2022 en sentido a Casma es de 751 vehículos/día de entre ellos 633 (vehículo ligero) y 118 (vehículo pesado), en el sentido a Huaraz transitan 710 vehículos/día de entre ellos 610 (vehículo ligero) y 100 (vehículo pesado) y para ambos sentidos es de 1456 vehículos/día, de los cuales 1241 son vehículos ligeros y 215 son vehículos pesados.

En este punto de control (Estación 1: Pariacoto), el IMDA para el periodo 2022 es de 1456 vehículos/día por lo tanto 1241 indica la cantidad de vehículos ligeros (Automóvil, S. Wagon, Pick up, panel, rural) que representa un 85.23% y 215 son vehículos pesados (Ómnibus, camión, semitraylers y traylers) que representa un 14.77% según se demuestra en la Figura 27 y Tabla 14.

Figura 27

Composición del tráfico vehicular – IMDA 2022



Nota: Grafica obtenida con datos del tráfico vehicular (El Autor).

Tabla 14*Índice medio diario anual - 2022*

Tipo de Vehículos		IMDA	Distrib. %
Automóvil		617	42.38%
S. Wagon		129	8.86%
Camionetas	Pick Up	258	17.72%
	Panel	167	11.47%
	Rural	70	4.81%
Micro		0	0.00%
Ómnibus	2E	79	5.43%
	3E	7	0.48%
	4E	0	0.00%
Camión	2E	78	5.36%
	3E	11	0.76%
	4E	6	0.41%
Semitraylers	2S1	2	0.14%
	2S2	0	0.00%
	2S3	4	0.27%
	3S1	0	0.00%
	3S2	8	0.55%
Traylers	>=3S3	10	0.69%
	2T2	1	0.07%
	2T3	0	0.00%
	3T2	1	0.07%
	>=3T3	8	0.55%
Total IMDA 2022		1456	100.00%

Nota: Distribución en porcentaje del IMDA 2022.

4.2.1.9. Tasas de crecimiento y proyección

La tasa de crecimiento de vehículos se determinó utilizando la ecuación de progresión matemática tanto para el apartado vehicular de tránsito ligero y para el apartado de tránsito pesado en la carretera.

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1} \dots (15)$$

Donde:

T_n = Proyección de tránsito para el año "n" en vehículos/díaT_o = Valor actual de tránsito (en función al año) en vehículos/día

r = Tasa de crecimiento anual de tránsito

n = Periodo de diseño en años

La proyección de crecimiento se ha determinado en base a una información anual de tránsito habilitado por la estación de Peaje de “Vesique” que pertenece a la región Ancash tanto para el tránsito ligero como para el tránsito pesado.

Figura 28

Tasa de crecimiento para vehículos ligeros y vehículos pesados

Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros		Tasa de Crecimiento de Vehículos Pesados	
	TC		PBI
Amazonas	0.62%	Amazonas	3.42%
Ancash	0.59%	Ancash	1.05%
Apurímac	0.59%	Apurímac	6.65%
Arequipa.	1.07%	Arequipa.	3.37%
Ayacucho	1.18%	Ayacucho	3.60%
Cajamarca.	0.57%	Cajamarca.	1.29%
Callao	1.56%	Cusco.	4.43%
Cusco.	0.75%	Huancavelica.	2.33%
Huancavelica.	0.83%	Huánuco.	3.85%
Huánuco.	0.91%	Ica.	3.54%
Ica.	1.15%	Junín.	3.90%
Junín.	0.77%	La Libertad	2.83%
La Libertad	1.26%	Lambayeque.	3.45%
Lambayeque.	0.97%	Callao	3.41%
Lima Provincia	1.45%	Lima Provincia	3.07%
Lima.	1.45%	Lima.	3.69%
Loreto.	1.30%	Loreto.	1.29%
Madre de Dios	2.58%	Madre de Dios	1.98%
Moquegua	1.08%	Moquegua	0.27%
Pasco.	0.84%	Pasco.	0.36%
Piura.	0.87%	Piura.	3.23%
Puno.	0.92%	Puno.	3.21%
San Martín.	1.49%	San Martín.	3.84%
Tacna.	1.50%	Tacna.	2.88%
Tumbes.	1.58%	Tumbes.	2.60%
Ucayali	1.51%	Ucayali	2.77%

Nota: Imagen obtenida de la Ficha para carreteras interurbanas del sector transporte.

Acorde a la Figura 28, se obtuvo los valores de la tasa o proyección de crecimiento para el tránsito ligero y tránsito pesado. A continuación, la Tabla 15 muestra los respectivos valores correspondientes al porcentaje de crecimiento.

Tabla 15

Tasa de crecimiento: Vehículos ligeros y vehículos pesados - Ancash

	Vehículos ligeros	Vehículos pesados
Tasa de crecimiento (r)	0.59%	1.05%

Nota: Elaboración propia del Autor.

Teniendo en cuenta los valores del porcentaje de crecimiento de vehículos ligeros y vehículos pesados y para $n = 4$ años de tiempo que transcurre del proyecto en estudio hasta la construcción, se determinó el IMDA para el año 2026. Seguidamente se proporciona la Tabla 16 con los valores concernientes al IMDA proyectado para el 2026.

Tabla 16

Índice medio diario anual proyectado - 2026

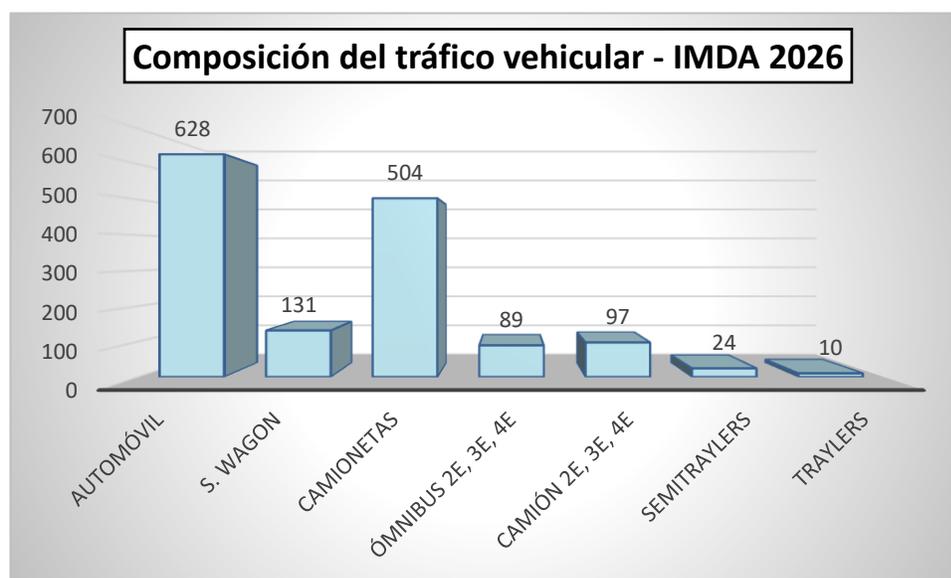
Tipo de Vehículos	IMDA 2022	IMDA 2026	Distrib. %
Automóvil	617	628	42.35%
S. Wagon	129	131	8.83%
Camionetas	Pick Ups	258	17.73%
	Panel	167	11.46%
	Rural	70	4.79%
Micro	0	0	0.00%
Ómnibus	2E	79	5.53%
	3E	7	0.47%
	4E	0	0.00%
Camión	2E	78	5.39%
	3E	11	0.74%
	4E	6	0.40%
Semitraylers	2S1	2	0.13%
	2S2	0	0.00%
	2S3	4	0.27%
	3S1	0	0.00%
	3S2	8	0.54%
Traylers	>=3S3	10	0.67%
	2T2	1	0.07%
	2T3	0	0.00%
	3T2	1	0.07%
	>=3T3	8	0.54%
Total IMDA	1456	1483	100.0%

Nota: Distribución en porcentaje del IMDA 2026

Para el año 2026 el IMDA proyectado es de 1483 vehículos/día, puntualizando que 1263 son vehículos de tránsito ligero (Automóvil, S. Wagon, Pick up, panel, rural y micro) que representa el 85.17% y 220 son vehículos pesados (Ómnibus, camión, semitrailers y trailers) que representa el 14.83%. Finalmente, en la Figura 29 se detalla la composición del tráfico con la población futura de vehículos proyectado para el 2026.

Figura 29

Composición del tráfico vehicular – IMDA 2026



Nota: Grafica obtenida con datos del tráfico vehicular proyectado (El Autor).

4.2.1.10. Cargas sobre el pavimento y ESAL de diseño

Basándose en aspectos del Manual de carreteras, Sección suelos y pavimentos del MTC y disposiciones realizadas por la AASHTO, con los resultados adquiridos del tránsito vehicular se determinó el número de ejes o repeticiones (ESAL).

Las variables o parámetros que se han empleado para obtener el número de repetición o ESAL son las siguientes:

a. Factor direccional (Fd) y Factor carril (Fc)

El factor direccional (Fd) indica la relación que representa la cantidad de tránsito pesado que transitan en una dirección o sentido del tránsito y el factor carril (Fc) se encuentra definido por el carril de diseño que recibe la máxima cantidad de ESAL's.

El tránsito para el carril de diseño del pavimento tiene en consideración la cantidad de direcciones o sentidos y la cantidad de carriles por calzada de la carretera de acuerdo al porcentaje ponderado aplicado al IMDA.

Figura 30

Factor direccional y Factor carril

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Nota: Obtenida del Manual de carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

El tramo de la carretera Pariacoto – Yupash tiene una calzada, con dirección de circulación en ambos sentidos, de un carril por sentido, de acuerdo a datos de la Figura 30 se tiene la siguiente Tabla 17 con los datos del Factor direccional y Factor carril.

Tabla 17*Factor Direccional (Fd) y de Carril (Fc)*

Nº de calzadas, sentidos y carriles por sentido	Factor direccional (Fd)	Factor carril (Fc)	Factor ponderado (Fd)*(Fc)
1 calzada, 2 sentidos, 1 carril por sentido	0.50	1.00	0.50

Nota: Datos de Factores de distribución (El Autor).

b. Factor de crecimiento acumulado (Fca)

Para determinar el Factor (Fca) se tiene en consideración la tasa anual de crecimiento de tránsito pesado de vehículos (r) y el periodo de vida útil del pavimento (n), es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$Factor\ Fca = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \dots (16)$$

Donde:

Fca: Factor de crecimiento acumulado

n: Periodo de vida útil del pavimento

r: Tasa de crecimiento anual de vehículos pesados

Reemplazando datos en la ecuación (16) para obtener el factor de crecimiento acumulado, se muestra la Tabla 18 con el valor del Factor (Fca) para vehículos de tránsito pesado.

Tabla 18*Factor de crecimiento acumulado (Fca)*

Tasa de crecimiento anual de vehículos pesados (r):	1.05 %
Periodo de vida útil de pavimento (n):	20
Factor de vehículos de tránsito pesado (Fca):	22.14

Nota: Dato del Factor de crecimiento acumulado (El autor).

c. Factores de ejes equivalentes

La cantidad de tránsito pesado en ómnibus y camiones tiene mayor preponderancia en el diseño de pavimentos. AASHTO ha definido como EE, al efecto de degradación ejercido sobre la superficie de la carretera por un eje estándar de dos ruedas tradicionales concentrado con 8.2 ton de pesaje, con llantas a una presión cargada de 80 lbs/pulg (MTC, 2014).

Los factores EE de ejes equivalentes se determinaron utilizando adecuadamente las ecuaciones sintetizadas en relación a las cargas máximas que disponen los distintos vehículos de acuerdo a su tipo (ver Figura 31).

Figura 31

Configuración de Ejes

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Grafico
EJE SIMPLE (Con Rueda Simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con Rueda Doble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

Nota: Obtenida del Manual de carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Eje equivalente (EE) es un factor de equivalencia que representa el factor destructor de carga de diferentes estructuras viales, dependiendo del tipo de eje que conforma cada tipo de vehículo pesado (MTC, 2014). Para determinar el número de llantas y las cargas máximas para cada categoría vehicular, se tuvo en cuenta el Anexo 04: Pesos y medidas del Reglamento Nacional de Vehículos.

Para hallar los Ejes equivalentes (EE) se utilizó las siguientes ecuaciones sintetizadas, que derivaron de correlacionar los valores indicados en las Tablas de la Guía AASHTO 93 apéndice D, para las distintas composiciones de los ejes de vehículos de tránsito pesado y clasificación de pavimento.

Figura 32

Relación de cargas por eje para calcular EE

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2 ton})
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Nota: Obtenida del Manual de carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

A continuación, aplicando las ecuaciones de relación por eje de cargas para calcular los Ejes Equivalentes en Afirmados, Pavimento flexible y Semirrígido se determinó “P”.P. flexible por el IDMA de diseño para cada vehículo, en la Tabla 19 se muestran los valores de carga.

Tabla 19*Factores de eje equivalente, tramo Pariacoto - Yupash*

TIPO DE VEHÍCULO		IMDA	TIPO	NÚMERO	CARGA	"f" P.	f. IMDA	
		2026	EJE	LLANTAS	EJE Th	FLEXIBLE	FLEXIBLE	
VEHICULOS LIGEROS	Autos	628.00	Simple	2	1	0.000527017	0.330966397	
		628.00	Simple	2	1	0.000527017	0.330966397	
	S. Wagon	131.00	Simple	2	1	0.000527017	0.069039169	
		131.00	Simple	2	1	0.000527017	0.069039169	
	Pick Up	263.00	Simple	2	1	0.000527017	0.138605354	
		263.00	Simple	2	1	0.000527017	0.138605354	
	Panel	170.00	Simple	2	1	0.000527017	0.089592814	
		170.00	Simple	2	1	0.000527017	0.089592814	
	Rural	71.00	Simple	2	1	0.000527017	0.037418175	
		71.00	Simple	2	1	0.000527017	0.037418175	
	Micros	0.00	Simple	2	1	0.000527017	0	
		0.00	Simple	2	1	0.000527017	0	
	ÓMNIBUS	2E	82.00	Simple	2	7	1.265366749	103.7600734
			82.00	Simple	4	11	3.238286961	265.5395308
3E		7.00	Simple	2	7	1.265366749	8.857567241	
		7.00	Tandem	6	16	1.365944548	9.561611836	
4E		0.00	Tandem	4	14	2.196447268	0	
		0.00	Tandem	6	16	1.365944548	0	
CAMIÓN	2E	80.00	Simple	2	7	1.265366749	101.2293399	
		80.00	Simple	4	11	3.238286961	259.0629568	
	3E	11.00	Simple	2	7	1.265366749	13.91903424	
		11.00	Tandem	8	18	2.019213454	22.21134799	
	4E	6.00	Simple	2	7	1.265366749	7.592200492	
		6.00	Tridem	10	23	1.508183597	9.049101584	
SEMITRAYLERS	2S1	2.00	Simple	2	7	1.265366749	2.530733497	
		2.00	Simple	4	11	3.238286961	6.476573921	
		2.00	Simple	4	11	3.238286961	6.476573921	
	2S2	0.00	Simple	2	7	1.265366749	0	
		0.00	Simple	4	11	3.238286961	0	
		0.00	Tandem	8	18	2.019213454	0	
	2S3	4.00	Simple	2	7	1.265366749	5.061466995	

		4.00	Simple	4	11	3.238286961	12.95314784
		4.00	Tridem	12	25	1.706026248	6.824104993
	3S1	0.00	Simple	2	7	1.265366749	0
		0.00	Tandem	8	18	2.019213454	0
		0.00	Simple	4	11	3.238286961	0
	3S2	8.00	Simple	2	7	1.265366749	10.12293399
		8.00	Tandem	8	18	2.019213454	16.15370763
		8.00	Tandem	8	18	2.019213454	16.15370763
	>=S3	10.00	Simple	2	7	1.265366749	12.65366749
		10.00	Tandem	8	18	2.019213454	20.19213454
		10.00	Tridem	12	25	1.706026248	17.06026248
TRAYLERS	2T2	1.00	Simple	2	7	1.265366749	1.265366749
		1.00	Simple	4	11	3.238286961	3.238286961
		1.00	Simple	4	11	3.238286961	3.238286961
		1.00	Simple	4	11	3.238286961	3.238286961
	2T3	0.00	Simple	2	7	1.265366749	0
		0.00	Simple	4	11	3.238286961	0
		0.00	Simple	4	11	3.238286961	0
		0.00	Tandem	8	18	2.019213454	0
	3T2	1.00	Simple	2	7	1.265366749	1.265366749
		1.00	Tandem	8	18	2.019213454	2.019213454
		1.00	Simple	4	11	3.238286961	3.238286961
		1.00	Simple	4	11	3.238286961	3.238286961
	>=3T3	8.00	Simple	2	7	1.265366749	10.12293399
		8.00	Tandem	8	18	2.019213454	16.15370763
		8.00	Simple	4	11	3.238286961	25.90629568
		8.00	Tandem	8	18	2.019213454	16.15370763

Nota: Datos de Factores de ejes equivalentes (El autor).

d. Factor de presión de neumáticos

Para la determinación del factor de presión de neumáticos se tuvo en consideración la Figura 33 del Manual de carreteras, Sección suelos y pavimentos del Órgano ejecutivo (MTC).

Figura 33

Factor por presión de contacto de neumático (Fp) para (EE)

Espeso de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contaco del Neumático (PCN) en psc PCN = 0.90x[Presión de inflado del neumático] (pai)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.30	1.80	2.13	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Nota:

- EE = Ejes Equivalentes
- Presión de inflado del neumático (Pin): esta referido al promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Presión de Contacto del neumático (PCN): igual al 90% del promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículos pesado.
- Para espesores menores de capa de rodadura asfáltica, se aplicará el factor de ajuste igual al espesor de 50 mm.

Fuente: Elaboración propia, en base a correlaciones con la figura IV-4 EAL Adjustment Factor for Tire Pressures del Manula MS-1 del Instituto de Asfalto

Nota: Obtenida del Manual de carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Para la presente investigación, se consideró un factor de presión de neumáticos (Fp) igual a 1.00, teniendo en cuenta que el tramo de la carretera Pariacoto – Yupash tiene un espesor menor de superficie de rodamiento asfáltico, se aplicó el factor de presión de contacto recomendado para el espesor de 50 mm.

e. Determinación de EE de 8.2 tn (ESAL).

Finalmente, con los factores indicados previamente se calculó el valor de Eje Equivalente (EE) por día de acuerdo al carril de la carretera, empleando la siguiente ecuación:

$$\#EE = 365 * (\Sigma f.IMDa) * Fd * Fc * Fca ... (17)$$

Donde:

#EE: Ejes equivalentes (ESAL).

365: Cantidad de días anuales.

$\Sigma f.IMDa$: Factor vehículo pesado por IMDa.

Fca: Factor de crecimiento acumulado.

Fd: Factor Direccional.

Fc: Factor Carril.

En la Tabla 20, se presentan datos de factores de ejes equivalentes de EE de 8.2 tn calculado en el tramo Pariacoto - Yupash.

Tabla 20

Número de Repeticiones de EE (ESAL), Tramo Pariacoto - Yupash

Factores de ejes equivalentes:	Valor
N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido	1 calzada, 2 sentidos, 1 carril por sentido
Factor Direccional (Fd):	0.50
Factor Carril (Fc):	1.00
Factor Fca vehículos pesados (Fca):	22.14
Factor vehículo pesado por IMDa ($\Sigma f.IMDa$):	1219.56
Cantidad de días anuales:	365
#EE (ESAL):	4 134 396

Nota: Dato del ESAL (El Autor).

4.2.2. ESTUDIO DE SUELOS

4.2.2.1. Introducción

El estudio geotécnico de suelos es un parámetro importante en el diseño de la sección del pavimento de una vía ya que influye directamente en el diseño geométrico de la configuración del pavimento, en ese sentido este Estudio de Suelos en el ámbito de influencia del tramo Pariacoto – Yupash, describe, presenta datos, ensayos y resultados recolectados del Expediente técnico definitivo de rehabilitación y mejoramiento del tramo: Pariacoto - Yupash realizado por Provias Nacional del Órgano de poder ejecutivo (MTC).

4.2.2.2. Objetivos del Estudio de Suelos

- Determinar las propiedades físicas – mecánicas de los elementos que constituyen el terreno de fundación del tramo Pariacoto - Yupash.
- Definir el perfil estratigráfico del suelo del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz.
- Establecer el valor relativo de soporte del suelo (CBR) del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz.

4.2.2.3. Alcance del Estudio de Suelos

Para el desarrollo del estudio geotécnico de suelos, se tomó en consideración principios ingenieriles, reglamentos y normas. Tomando como base la Norma Técnica Peruana, normas y manuales del MTC del Perú y términos de referencia del proyecto que se detalla a continuación:

- Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos - sección suelos y pavimentos reconocido a través de la R.D N° 10 – 2014 – MTC/14.
- Término referencial del “Estudio definitivo de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Casma - Yautan - Huaraz, tramo: Pariacoto - Yupash”.

4.2.2.4. Ensayos principales de laboratorio

Los datos de Estudios de geología, geotecnia, hidrología y ensayos de laboratorio obtenidos del Expediente técnico definitivo de rehabilitación y mejoramiento del tramo: Pariacoto – Yupash, fueron expresados en una hoja de resultados, se tuvieron en cuenta los siguientes ensayos.

- Ensayos de laboratorio Básicos.
 - Análisis granulométrico
 - Límites de consistencia
 - Clasificación SUCS
 - Contenido de humedad
 - Ensayo estándar para la densidad
 - Ensayo de gravedad específica y absorción
- Ensayos especiales.
 - Ensayo de Proctor Modificado
 - Ensayo CBR.

La información y graficas de los ensayos principales de laboratorio del Expediente técnico definitivo de rehabilitación y mejoramiento del tramo: Pariacoto – Yupash, se detallan y muestran en el Anexo 02: Estudios de suelos.

4.2.2.5. Condición superficial y estructural

El presente trabajo de estudio tuvo en cuenta la evaluación superficial de las propiedades del terreno de fundación del tramo Pariacoto – Yupash que pertenece a la carretera Casma - Huaraz detalladas en el “Expediente técnico definitivo de rehabilitación y mejoramiento del tramo: Pariacoto – Yupash” a continuación, se describe las condiciones superficiales y estructurales en cada sector:

Kilómetro 56+480 al 60+000: Tramo de inicio en la entrada del puente Pariacoto, el material que lo constituye es una arena arcillosa y limosa de coloración beige oscuro a un marrón sombrío u oscuro. El material contiene bolonería con un tamaño máximo 5” en un 50 %. El promedio de humedad natural en este tramo es de 4.12 %, del límite líquido 24.16 %, y del índice plástico 7.96 %. El material está con bajo contenido de humedad siendo de ligera comprensibilidad y de ligera resistencia en el estado seco y la zona no evidenció la presencia de nivel freático.

Kilómetro 60+000 al 60+500: El sector está conformado por suelos del tipo arena arcillosa y del tipo grava arcillosos de color marrón oscuro de baja plasticidad. Contiene sectores con bolonería mayor a 5” en un 40% y con bolonería dentro de una matriz de suelo mayor a 10” en un 10 % aproximadamente. El promedio de humedad natural de este tramo es de 5.55 %, del límite líquido 25.91 %, y del índice plástico 9.03 %. El material está con bajo contenido de humedad siendo de ligera comprensibilidad y de ligera resistencia en el estado seco y el tramo no mostró la presencia de nivel freático.

Kilómetro 60+500 al 63+555. La carretera sigue en forma ascendente, está a media ladera, con ahuellamientos severos, existe erosiones de la plataforma producto de las aguas de lluvia y otros. El material que conforma este tramo es en su mayoría del tipo arena limo arcillosa de color beige claro a marrón claro con sectores oscurecidos. Se tiene presencia significativa de cantos y bolonería inmersas en una matriz de suelo limo arcillosa de características similares a las mencionadas anteriormente. Así, se tiene sectores con bolonería mayor a 10” en un 30% y sectores con bolonería mayor a 5” en un 40% en promedio. La humedad natural de este tramo es de 4.89 % en promedio, así como su límite líquido de 24.09 %, y un índice plástico de 8.12 %.

Kilómetro 63+555 al 64+600. Zona con plataforma de ahuellamiento moderado. El material existente en este tramo es una grava limo arcillosa de color beige claro mayoritariamente con sectores puntuales de color beige oscuro. El material contiene bolonería mayor a 5” de diámetro en un 35 % en promedio. El promedio de humedad natural de este tramo es de 3.98 %, del límite líquido 21.56 %, y del índice plástico 6.43 %. El material está con bajo contenido de humedad siendo de ligera comprensibilidad y de ligera resistencia en el estado seco, de bajo cambio de volumen en presencia de elementos líquidos. Se encontró lecho rocoso mostrando descomposición y fracturamiento en las siguientes progresivas: Km. 64+215 al Km. 64+470 a 0.40m de profundidad y la zona no evidenció la presencia de nivel freático.

Kilómetro 64+600 al 67+600: Zona de la plataforma que transcurre a media ladera con ahuellamiento. El material predominante en este sector es del tipo areno arcillo

limoso de color que beige claro a oscuro con intercalaciones de marrón en similares tonalidades. Contiene sectores donde la bolonería mayor a 5” es del 30% y con bolonería dentro de una matriz de suelo mayor a 5” en un 46% aproximadamente. El promedio de humedad natural de este tramo es de 4.65%, del límite líquido 23.73 %, y del índice plástico 9.32 %. El material esta con bajo contenido de humedad siendo de ligera compresibilidad y de ligera resistencia en el estado seco, de bajo cambio de volumen en presencia de elementos líquidos, la zona no evidenció la presencia de nivel freático. Se encontró lecho rocoso mostrando descomposición y fracturamiento en las siguientes progresivas:

Km. 64+730 al Km. 64+980 a 0.60m de profundidad.

Km. 64+980 al Km. 65+230 a 0.55m de profundidad.

Km. 65+230 al Km. 65+490 a 1.20m de profundidad.

Kilómetro 67+600 al 69+420: Carretera a media ladera con erosiones y ahuellamiento moderado de la plataforma. El material predominante en esta zona está constituido por una grava limo arcillosa de color marrón oscuro. Contiene sectores donde la bolonería mayor a 5” es del 60% y con bolonería dentro de una matriz de suelo mayor a 5” en un 50% aproximadamente. El promedio del porcentaje de humedad natural de este tramo es de 3.59%, del límite líquido 23.94%, y del índice plástico 6.25%. El material esta con bajo contenido de humedad siendo de ligera compresibilidad y de ligera resistencia en el estado seco. Se encontró lecho rocoso mostrando fracturamiento en las siguientes progresivas: Km. 69+040 al Km. 69+300 a 0.30m de profundidad y la zona no evidenció la presencia de nivel freático.

Kilómetro 69+420 al 70+780: Carretera a media ladera con ahuellamientos moderados. El tramo está constituido predominantemente por una arena arcillosa con una coloración marrón sombrío u oscuro. Expone sectores con suelos asentados sobre bolonería (60% >5”) y sectores de suelos con presencia de bolonería en su masa (27%>5”). El promedio del porcentaje de humedad natural de este tramo es de 3.40%, del límite líquido 24.36%, y del índice plástico 8.87%. El material está con bajo contenido de humedad siendo de ligera compresibilidad y de ligera resistencia en el estado seco y la zona no evidenció la presencia de nivel freático.

Kilómetro 70+780 al 77+660: Carretera con plataforma a media ladera y ahuellamiento moderados a severos. El material que lo constituye en esta zona es una grava arcillosa de color marrón oscuro en forma predominante. El promedio del porcentaje de humedad natural de este tramo es de 4.32%, del límite líquido 30.92%, del índice plástico 12.19%. En este sector se nota presencia significativa de cantos y bolones en la masa del suelo descrito anteriormente, con un 49% de piedra mayor a 5”. Se encontró lecho rocoso mostrando fracturamiento en la siguiente progresiva: Km. 75+745 al Km. 76+010 a 0.20m de profundidad y la zona no evidenció la presencia de nivel freático.

Km. 77+660 al 78+400: El tramo se encuentra a media ladera con ahuellamiento moderado. El material está compuesto por una arena arcillosa y arcilla limosa de color beige claro y marrón oscuro, compuesto además por bolonería mayores de 5” de diámetro en un 30 %. El promedio de la humedad natural en este tramo es de 5.57%, del

límite líquido 31.47%, y del índice plástico 14.68%. El material está con bajo contenido de humedad siendo de ligera compresibilidad y de ligera resistencia en el estado seco. Se encontró lecho rocoso mostrando fracturamiento en la siguiente progresiva: Km. 77+800 al Km. 78+070 a 0.90m de profundidad y se evidenció la necesidad de mejoramiento en la siguiente progresiva: Km. 78+070 al Km. 78+300 de 0.30m de profundidad.

Km. 78+400 al 82+560: El tramo se encuentra a media ladera con ahuellamiento moderado. El material este compuesto por grava arcillosa de coloración marrón sombrío, con disposición de sectores puntuales con bolonería mayores a 5". El promedio de la humedad natural en este tramo es de 4.49 %, del límite líquido 31.57%, del índice plástico 12.16%. El material esta con bajo contenido de humedad siendo de ligera compresibilidad y de mediana resistencia en el estado seco. Se encontró lecho rocoso mostrando fracturamiento en las siguientes progresivas:

Km. 79+125 al Km. 79+585 a 0.90m de profundidad.

Km. 79+835 al Km. 80+095 a 0.50m de profundidad.

Km. 80+580 al Km. 80+840 a 0.50m de profundidad.

Km. 81+105 al Km. 81+390 a 0.60m de profundidad (tipo caliza).

Km. 82+820 al Km. 82+560 a 0.50m de profundidad.

Km. 82+560 al 83+660: El tramo está constituido predominantemente por un suelo del tipo arcilloso de mediana a baja plasticidad, de color marrón oscuro. El tramo presenta sectores con presencia de bolonería mayor a 8" en un 75%. El promedio de la

humedad natural en este tramo es de 7.45%, del límite líquido 28.90% y del índice plástico 10.70%. El material esta con bajo contenido de humedad siendo de ligera compresibilidad y de mediana resistencia en el estado seco y no mostró la presencia de nivel freático. El tramo mostró la presencia de lecho rocoso fracturado en la siguiente progresiva: Km. 82+560 al Km. 82+720 a 0.50m de profundidad y se evidenció la presencia de mejoramiento en el siguiente sector: Km. 82+720 al Km. 83+020 de 0.30m de profundidad.

Km. 83+660 al 86+290: Este tramo de la carretera se encuentra a media ladera y está compuesto mayoritariamente por un suelo del tipo grava arcilloso de color beige oscuro. El tramo presenta suelos con presencia de bolonería en un 5%. El promedio de la humedad natural en este tramo es de 4.03%, del límite líquido 28.75%, y del índice plástico 10.25%. El material esta con bajo contenido de humedad siendo de baja compresibilidad y de ligera resistencia en el estado seco. El tramo mostró la presencia de lecho rocoso fracturado en las siguientes progresivas:

Km. 84+175 al Km. 84+445 a 0.70m de profundidad.

Km. 84+445 al Km. 84+990 a 0.90m de profundidad.

Km. 85+225 al Km. 85+475 a 0.90m de profundidad.

El tramo no mostró la presencia de nivel freático y se evidenció la presencia de mejoramiento en el siguiente sector:

Km. 85+225 al Km. 85+475 de 0.30m de profundidad.

Km. 86+290 al 95+805: El tramo de la carretera se encuentra a media ladera y presenta ahuellamiento moderado a severo. En este tramo se nota la presencia significativa de suelos finos y plásticos con mediana a alta plasticidad. Se tiene suelos del tipo areno arcillosa y grava arcillosa de ligera plasticidad en un 61%; y suelos arcillosos de mediana a alta plasticidad en un 39%. Los suelos presentan un color marrón oscuro. El promedio de la humedad natural en este tramo es de 5.05%, del límite líquido 33.41%, y del índice plástico 13.01%. El material esta con bajo contenido de humedad siendo de baja comprensibilidad. La resistencia al estado seco es en los suelos arenosos y gravosos arcillosos baja, y para los suelos arcillosos mediana. El tramo mostró la presencia de lecho rocoso en las siguientes progresivas:

Km. 87+125 al Km. 87+375 a 0.70m de profundidad.

Km. 94+625 al Km. 94+875 a 1.10m de profundidad.

Km. 94+875 al Km. 95+125 a 0.80m de profundidad.

El tramo no mostró la presencia de nivel freático y se evidenció la presencia de mejoramiento en los siguientes sectores:

Km. 86+400 al Km. 86+665 de 0.30m de profundidad.

Km. 87+375 al Km. 88+375 de 0.30m de profundidad.

Km. 89+375 al Km. 89+625 de 0.30m de profundidad.

Km. 90+375 al Km. 90+625 de 0.30m de profundidad.

Km. 91+875 al Km. 92+375 de 0.30m de profundidad.

Km. 92+625 al Km. 93+125 de 0.30m de profundidad.

Km. 93+625 al Km. 94+375 de 0.30m de profundidad.

Km. 95+125 al Km. 95+375 de 0.30m de profundidad.

4.2.2.6. Cantera de materiales

Está ubicado en un área en el cual se ha dispuesto el material para canteras y depósitos de origen natural, obedeciendo adecuadamente con todos los ensayos y normas que demandan las Normas técnicas del Perú, cabe enfatizar que estos espacios son limitados y se ha visto por conveniente situar la cantera a una distancia razonable en relación al traslado; acorde al presupuesto y disposiciones ambientales actuales.

Cantera Casa Blanca, Lado Derecho Km. 21+400: Situado en el km 21+400 correspondiente a la carretera Casma – Huaraz, para acceder a la cantera se tiene un recorrido de 1,600 m. de trocha carrozable en moderada condición. El material de esta cantera será aprovechado como material de Sub Base, Base, Tratamiento Superficial, Concreto asfáltico y Concreto de cemento Portland. Este material también puede ser utilizado para afirmados, rellenos y filtros; las gravas o cantos rodados en gaviones y finalmente las piedras en concretos ciclópeos, pedraplenes y emboquillados.

Tabla 21

Datos de la Cantera Casa Blanca

Características generales del material:	
Volumen aproximado:	217,000 m ³
Rendimiento:	
Relleno:	80% Zarandeado
Afirmado:	70% Zarandeado
Filtros:	70% Zarandeado
Sub Base:	70% Zarandeado
Base:	80% Chancado
Tratamiento Superficial:	70% Chancado
Concreto Asfáltico:	80% Chancado
Concreto de cemento Portland:	80% Chancado

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

El material satisface íntegramente la mayoría de requerimientos para ser empleado en pavimentos, concretos de cemento Pórtland y concreto asfáltico. No obstante, para ser utilizado en concretos asfálticos y tratamientos superficiales, se agregará un aditivo generador de adhesión en una relación mínima de 0.5% del peso de asfalto empleado.

Tabla 22

Características de la cantera Casa Blanca

Material para:	Relleno, afirmado, filtros, sub base, base, tratamiento superficial, concreto asfáltico, gaviones, piedra para emboquillados, pedraplenes.
Limite Liquido:	17.18%
Índice de Plasticidad:	NP
Pasa la Malla N.º 200:	3.02%
Clasificación:	GW - GP
Explotación:	Chancado y Zarandeado, según uso.
Acceso:	Trocha de acceso en regular, longitud 1,600 m.
C.B.R:	91.61%
Abrasión:	18.53%
Equivalente de Arena:	77.90%
Sales Solubles (A.G/A.F):	0.131/0.207
Durabilidad Sulfato de Sodio:	A. Grueso = 3.082 % A. fino = 2.447%
Ensayo Riedel Weber:	Parcial (índice) = 4; Total (índice) = 9
Ensayo de Adherencia:	Inicial = 100; Final = +95 (retenido)
Ensayo de Impurezas:	Grado = "1"
Análisis Físico Químico:	Cloruros (ppm) =183.6; Sulfatos (ppm) =339.4
Ensayo de Partículas Friables:	Arena = 0.19; Grava = 0.17
Disponibilidad:	Conforme a la Municipalidad de Yautan

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

Los ensayos principales y sus resultados se detallan en el Anexo 03. Titulado Estudio de suelos, estos datos se utilizaron para realizar la modelización numérica del pavimento flexible sin reforzamiento de geomallas biaxiales y con reforzamiento de geomallas en el Software Plaxis 2D.

4.2.2.7. Perfil estratigráfico del tramo de carretera Pariacoto - Yupash

Se distinguen dos sectores definidos:

- Del Km 56+480 al Km 87+500
- Del Km 87+500 al Km 95+805

a. Sector (Km. 56+480 al Km. 87+500)

La distribución del material en este tramo representativo, son grava limosos arcillosos de mediana a baja plasticidad el cual constituyen el 62.8% de la longitud de este sector, gravas de baja a nula plasticidad en un 24% y suelos finos (arcillosos o limosos de baja con tendencia a alta plasticidad) en un 13.2%. Con presencia de material de bolonería que representa el 82% de la longitud del sector y lecho rocoso en la sub rasante un 23% a una altura entre 0.20m y 1.20m.

El terreno de fundación a nivel de subrasante en este sector está conformado por materiales de acuerdo a la clasificación AASHTO como se detalla en la Tabla 23.

Tabla 23

Clasificación AASHTO (Km. 56+480 al Km. 87+500)

Clasificación AASHTO	(%)
A - 1 - a	5.80%
A - 1 - b	18.20%
A - 2 - 4	28.10%
A - 2 - 5	0.80%
A - 2 - 6	33.10%
A - 2 - 7	0.80%
A - 4	1.70%
A - 6	10.70%
A - 7 - 6	0.80%
Total:	100.00%

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

El terreno fundación a nivel de subrasante en este sector acorde a la clasificación SUCS está conformado por materiales del siguiente tipo de acuerdo a la Tabla 24.

Tabla 24

Clasificación SUCS (Km. 56+480 al Km. 87+500)

Clasificación SUCS	(%)
SW - SP - SM - SC	37.20%
GW - GP - GM - GC	58.70%
CL - ML	4.10%
Total:	100.00%

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

b. Sector (Km. 87+500 al Km. 95+805)

La distribución del material en este tramo representativo del Sector (Km. 87+500 al Km. 95+805) de la carretera Pariacoto – Yupash que pertenece a la vía Casma - Huaraz, son grava limosos arcillosos de mediana a baja plasticidad el cual constituyen el 18.2% de la longitud del este sector representativo, gravas de baja a nula plasticidad en un 3% y suelos finos (arcillosos o limosos de baja con tendencia a alta plasticidad) en un 78.8%. de este sector. La presencia de material de bolonería representa el 27% de la longitud del sector y lecho rocoso en la subrasante un 3% a una profundidad de entre 0.80m y 1.10m.

El terreno de fundación a nivel de sub-rasante en este sector (Km. 87+500 al Km. 95+805) está conformado por materiales del siguiente tipo clasificados mediante AASHTO de acuerdo a la Tabla 25.

Tabla 25*Clasificación AASHTO (Km. 85+500 al Km. 95+805)*

Clasificación AASHTO	(%)
A - 1 - a	3.00%
A - 1 - b	0.00%
A - 2 - 4	6.10%
A - 2 - 5	0.00%
A - 2 - 6	9.10%
A - 2 - 7	3.00%
A - 4	15.20%
A - 6	51.50%
A - 7 - 6	12.10%
Total:	100.00%

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

El terreno de fundación a nivel de la sub-rasante en este sector (Km. 87+500 al Km. 95+805) está conformado por materiales del siguiente tipo de acuerdo a la Tabla 26.

Tabla 26*Clasificación SUCS (Km. 85+500 al Km. 95+805)*

Clasificación SUCS	(%)
SW - SP - SM - SC	36.40%
GW - GP - GM - GC	24.20%
CL - ML	39.40%
Total:	100.00%

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

A continuación, para la obtención de las características mecánicas y físicas del suelo, perfil estratigráfico y conseguir el valor relativo del suelo (CBR), en el estudio geotécnico del expediente técnico del tramo Pariacoto – Yupash se realizó 154 calicatas, los resultados se detallan en un registro de perfil estratigráfico.

Tabla 27*Perfil estratigráfico (Km. 56+480 al Km. 63+555)*

N° Cal.	Km.	M.	Prof. (h)	SUCS	AASHTO	M.	Prof. (h)	SUCS	AASHTO
1	56+480	M1	0.00 - 0.15	GC	A-2-6 (0)	M2	0.15 - 1.50	SM - SC	A-1-b (0)
2	56+750	M1	0.00 - 0.10	GC	A-2-4 (0)	M2	0.10 - 1.50	SM - SC	A-1-b (0)
3	57+000	M1	0.00 - 0.15	GC	A-2-4 (0)	M2	0.15 - 1.50	SW - SM	A-1-b (0)
4	57+230	M1	0.00 - 0.15	GC	A-2-4 (0)	M2	0.15 - 0.50	GC	A-2-4 (0)
5	57+450	M1	0.00 - 0.20	GC	A-2-4 (0)	M2	0.20 - 1.50	GC	A-2-6 (0)
6	57+640	M1	0.00 - 0.15	GC	A-2-4 (0)	M2	0.15 - 1.50	SC	A-2-4 (0)
7	57+920	M1	0.00 - 0.20	GC	A-2-4 (0)	M2	0.20 - 1.50	SC	A-2-4 (0)
8	58+400	M1	0.00 - 0.15	GC	A-2-4 (0)	M2	0.15 - 1.50	SC	A-2-6 (0)
9	58+700	M1	0.00 - 0.15	GC	A-2-4 (0)	M2	0.15 - 1.50	SM	A-1-b (0)
10	58+980	M1	0.00 - 0.15	GC	A-2-4 (0)	M2	0.15 - 1.50	SP - SM	A-1-b (0)
11	59+200	M1	0.00 - 0.15	GC	A-2-4 (0)	M2	0.15 - 1.00	SM - SC	A-1-b (0)
12	59+400	M1	0.00 - 0.20	GC	A-2-4 (0)	M2	0.20 - 1.50	SM - SC	A-1-b (0)
13	59+740	M1	0.00 - 1.00	SM	A-2-4 (0)	M2	1.00 - 1.50	GP - GC	A-2-6 (0)
14	60+000	M1	0.00 - 1.00	SM	A-1-b (0)	M2	1.00 - 1.50	Boloneria	Boloneria
15	60+250	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-4 (0)				
16	60+500	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-4 (0)				
17	60+750	M1	0.00 - 0.90	SW - SC	A-1-a (0)	M2	0.90 - 1.50	Roca	Roca
18	61+000	M1	0.00 - 0.80	SM - SC	A-2-4 (0)	M2	0.80 - 1.50	Roca	Roca
19	61+250	M1	0.00 - 0.80	SC	A-2-6 (0)	M2	0.80 - 1.50	Roca	Roca
20	61+520	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-6 (0)				
21	61+780	M1	0.00 - 1.50	SM	A-1-b (0)				
22	61+950	M1	0.00 - 1.50	GM	A-1-b (0)				
23	62+100	M1	0.00 - 1.50	GP - GM	A-1-a (0)				
24	62+430	M1	0.00 - 0.45	SM	A-2-4 (0)	M2	0.45 - 1.50	SC	A-2-4 (0)
25	62+760	M1	0.00 - 1.10	SM	A-1-a (0)	M2	1.10 - 1.50	Boloneria	Boloneria
26	63+260	M1	0.00 - 1.50	SM	A-1-b (0)				
27	63+555	M1	0.00 - 0.75	SM - SC	A-1-b (0)	M2	0.75 - 1.50	SC	A-2-6 (0)

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

Tabla 28*Perfil estratigráfico (Km. 63+840 al Km. 71+060)*

N° Cal.	Km.	M.	Prof. (h)	SUCS	AASHTO	M.	Prof. (h)	SUCS	AASHTO
28	63+840	M1	0.00 - 1.50	GW - GC	A-2-4 (0)				
29	64+090	M1	0.00 - 1.50	GM - GC	A-1-b (0)				
30	64+335	M1	0.00 - 0.40	GM - GC	A-1-b (0)	M2	0.40 - 1.50	Roca	Roca
31	64+600	M1	0.00 - 1.50	GM	A-1-b (0)				
32	64+860	M1	0.00 - 0.60	SM - SC	A-1-b (0)	M2	0.60 - 1.50	Roca	Roca

33	65+100	M1	0.00 - 0.55	SM	A-1-b (0)	M2	0.55 - 1.50	Roca	Roca
34	65+360	M1	0.00 - 1.20	SC	A-2-4 (0)	M2	1.20 - 1.50	Roca	Roca
35	65+620	M1	0.00 - 1.50	GP - GM	A-1-a (0)				
36	65+880	M1	0.00 - 0.50	SC	A-6 (1)	M2	0.50 - 0.80	SP - SM	A-1-b (0)
37	66+020	M1	0.00 - 0.80	SC	A-2-4 (0)	M2	0.80 - 1.50	Bolonería	Bolonería
38	66+500	M1	0.00 - 0.35	SM	A-2-4 (0)	M2	0.35 - 0.80	SC	A-2-6 (0)
39	66+780	M1	0.00 - 0.30	SM	A-1-b (0)	M2	0.30 - 1.50	SM	A-2-4 (0)
40	67+110	M1	0.00 - 0.40	GP - GM	A-1-a (0)	M2	0.40 - 1.50	SC	A-2-4 (0)
41	67+350	M1	0.00 - 1.20	GC	A-2-6 (0)	M2	1.20 - 1.50	Bolonería	Bolonería
42	67+600	M1	0.00 - 0.40	SC	A-2-4 (0)	M2	0.40 - 1.50	GC	A-2-6 (1)
43	67+860	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (0)				
44	68+120	M1	0.00 - 0.95	GC	A-2-4 (0)	M2	0.95 - 1.50	Bolonería	Bolonería
45	68+395	M1	0.00 - 1.50	GM	A-1-a (0)				
46	68+650	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-4 (0)				
47	68+900	M1	0.00 - 1.50	GM	A-1-b (0)				
48	69+180	M1	0.00 - 0.30	GC	A-2-4 (0)	M2	0.30 - 1.50	Roca	Roca
49	69+420	M1	0.00 - 0.25	GM-GC	A-1-b (0)	M2	0.25 - 1.50	GP-GC	A-2-4 (0)
50	69+700	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-4 (0)				
51	70+295	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-4 (0)				
52	70+540	M1	0.00 - 0.40	SC	A-2-6 (0)	M2	0.40 - 1.50	Bolonería	Bolonería
53	70+780	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-4 (0)				
54	71+060	M1	0.00 - 1.50	GC - GM	A-4 (1)				

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

Tabla 29

Perfil estratigráfico (Km. 71+340 al Km. 77+090)

N° Cal.	Km.	M.	Prof. (h)	SUCS	AASHTO	M.	Prof. (h)	SUCS	AASHTO
55	71+340	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-4 (0)				
56	71+570	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-4 (0)				
57	71+700	M1	0.00 - 0.20	SM	A-1-b (0)	M2	0.20 - 1.50	GC	A-2-6 (0)
58	71+950	M1	0.00 - 1.50	GM-GC	A-1-b (0)				
59	72+160	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-4 (0)				
60	72+360	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-4 (0)				
61	72+520	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (0)				
62	72+660	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (0)				
63	72+770	M1	0.00 - 1.50	GC	A-6 (1)				
64	72+820	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (1)				
65	72+970	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-6 (0)				
66	73+230	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (1)				
67	73+500	M1	0.00 - 1.50	GC	A-6 (1)				
68	73+750	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (0)				
69	73+965	M1	0.00 - 0.60	GC	A-2-4 (0)	M2	0.60 - 1.50	Bolonería	Bolonería

70	74+190	M1	0.00 - 1.50	GP-GM	A-1-a (0)				
71	74+600	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (1)				
72	74+850	M1	0.00 - 1.00	GC	A-6 (2)	M2	1.00 - 1.50	Bolonería	Bolonería
73	75+120	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-6 (1)				
74	75+400	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (1)				
75	75+620	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (0)				
76	75+870	M1	0.00 - 0.20	GC	A-2-6 (0)	M2	0.20 - 1.50	Roca	Roca
77	76+150	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-7 (1)				
78	76+400	M1	0.00 - 0.85	GC	A-2-4 (0)	M2	0.85 - 1.50	Bolonería	Bolonería
79	76+640	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (0)				
80	76+860	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-6 (1)				
81	77+090	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-4 (0)				

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

Tabla 30

Perfil estratigráfico (Km. 77+440 al Km. 84+050)

N° Cal.	Km.	M.	Prof. (h)	SUCS	AASHTO	M.	Prof. (h)	SUCS	AASHTO
82	77+440	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (1)				
83	77+660	M1	0.00 - 0.90	GC	A-2-6 (0)	M2	0.90 - 1.50	Bolonería	Bolonería
84	77+940	M1	0.00 - 0.90	SC	A-2-6 (1)	M2	0.90 - 1.50	Roca	Roca
85	78+200	M1	0.00 - 1.50	CL	A-6 (5)				
86	78+400	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-6 (1)				
87	78+880	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (1)				
88	79+000	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-6 (0)				
89	79+250	M1	0.00 - 0.90	GC	A-2-6 (1)	M2	0.90 - 1.50	Roca	Roca
90	79+465	M1	0.00 - 0.90	GC	A-2-6 (1)	M2	0.90 - 1.50	Roca	Roca
91	79+700	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (1)				
92	79+970	M1	0.00 - 0.50	GP-GM	A-1-a (0)	M2	0.50 - 1.50	Roca	Roca
93	80+215	M1	0.00 - 1.50	GP-GC	A-2-4 (0)				
94	80+460	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (0)				
95	80+700	M1	0.00 - 0.50	GC	A-2-4 (0)	M2	0.50 - 1.50	Roca	Roca
96	80+980	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-4 (0)				
97	81+230	M1	0.00 - 0.60	GC	A-2-6 (0)	M2	0.60 - 1.50	Roca	Roca
98	81+550	M1	0.00 - 0.30	GC	A-2-4 (0)	M2	0.30 - 1.50	GM	A-2-5 (0)
99	81+720	M1	0.00 - 1.50	SC	A-6 (1)				
100	82+060	M1	0.00 - 1.50	GC	A-7-6 (4)				
101	82+260	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-4 (0)				
102	82+560	M1	0.00 - 0.50	GC	A-2-6 (0)	M2	0.50 - 1.50	Roca	Roca
103	82+875	M1	0.00 - 1.50	CL	A-6 (5)				
104	83+160	M1	0.00 - 1.50	SC	A-6 (1)				
105	83+415	M1	0.00 - 1.50	SC	A-4 (2)				
106	83+660	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-6 (0)				

107	83+840	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-4 (0)				
108	84+050	M1	0.00 - 1.50	GM	A-1-b (0)				

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

Tabla 31

Perfil estratigráfico (Km. 84+300 al Km. 91+000)

Nº Cal.	Km.	M.	Prof. (h)	SUCS	AASHTO	M.	Prof. (h)	SUCS	AASHTO
109	84+300	M1	0.00 - 0.70	GM	A-1-b (0)	M2	0.70 - 1.50	Roca	Roca
110	84+590	M1	0.00 - 0.25	GC	A-2-6 (0)	M2	0.25 - 0.90	GM	A-1-b (0)
111	84+870	M1	0.00 - 0.90	GC	A-2-4 (0)	M2	0.90 - 1.50	Roca	Roca
112	85+100	M1	0.00 - 1.22	GC	A-2-6 (0)	M2	1.22 - 1.50	GC	A-2-6 (0)
113	85+350	M1	0.00 - 0.90	CL	A-6 (4)	M2	0.90 - 1.50	Roca	Roca
114	85+600	M1	0.00 - 1.50	GC	A-6 (1)				
115	86+060	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-6 (0)				
116	86+290	M1	0.00 - 1.50	GC	A-6 (2)				
117	86+510	M1	0.00 - 1.10	CL	A-6 (5)	M2	1.10 - 1.50	Bolonería	Bolonería
118	86+820	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-4 (0)				
119	87+000	M1	0.00 - 1.50	GC	A-6 (3)				
120	87+250	M1	0.00 - 0.70	SM	A-2-4 (0)	M2	0.70 - 1.50	Roca	Roca
121	87+500	M1	0.00 - 1.50	CL	A-6 (7)				
122	87+750	M1	0.00 - 1.50	CL	A-7-6 (11)				
123	88+000	M1	0.00 - 1.50	CL	A-6 (6)				
124	88+250	M1	0.00 - 1.50	CL	A-4 (4)				
125	88+500	M1	0.00 - 1.50	GC	A-6 (3)				
126	88+750	M1	0.00 - 1.50	SC	A-6 (4)				
127	89+000	M1	0.00 - 1.50	SC	A-4 (3)				
128	89+250	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-7 (1)				
129	89+500	M1	0.00 - 1.50	CL	A-6 (5)				
130	89+750	M1	0.00 - 1.50	GC	A-7-6 (2)				
131	90+000	M1	0.00 - 1.50	SC	A-6 (3)				
132	90+250	M1	0.00 - 1.50	SC	A-6 (2)				
133	90+500	M1	0.00 - 1.50	CL	A-6 (8)				
134	90+750	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-6 (1)				
135	91+000	M1	0.00 - 0.25	GC	A-6 (3)	M2	0.25 - 1.50	SC	A-6 (3)

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

Tabla 32

Perfil estratigráfico (Km. 91+250 al Km. 95+750)

Nº Cal.	Km.	M.	Prof. (h)	SUCS	AASHTO	M.	Prof. (h)	SUCS	AASHTO
136	91+250	M1	0.00 - 1.50	GM - GC	A-4 (1)				

137	91+500	M1	0.00 - 1.50	GC	A-2-4 (0)				
138	91+750	M1	0.00 - 1.50	SC	A-4 (3)				
139	92+000	M1	0.00 - 1.50	CL	A-6 (4)				
140	92+250	M1	0.00 - 1.50	CL	A-6 (5)				
141	92+500	M1	0.00 - 1.50	SC	A-6 (2)				
142	92+750	M1	0.00 - 1.50	CL	A-7-6 (8)				
143	93+000	M1	0.00 - 1.50	CL	A-7-6 (7)				
144	93+250	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-4 (0)				
145	93+500	M1	0.00 - 1.50	GC	A-4 (0)				
146	93+750	M1	0.00 - 1.50	CL	A-6 (9)				
147	94+000	M1	0.00 - 0.55	CL	A-6 (5)	M2	0.55 - 1.50	CL	A-6 (6)
148	94+250	M1	0.00 - 0.90	CL	A-6 (4)	M2	0.90 - 1.50	Bolonería	Bolonería
149	94+500	M1	0.00 - 1.50	SC	A-6 (2)				
150	94+750	M1	0.00 - 1.10	GC	A-2-6 (0)	M2	1.10 - 1.50	Roca	Roca
151	95+000	M1	0.00 - 0.80	GC	A-6 (2)	M2	0.80 - 1.50	Roca	Roca
152	95+250	M1	0.00 - 1.50	CL	A-6 (7)				
153	95+500	M1	0.00 - 1.50	SW - SC	A-1-a (0)				
154	95+750	M1	0.00 - 1.50	SC	A-2-6 (0)				

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

4.2.2.8. CBR o Valor relativo de soporte del suelo

El valor relativo de CBR cuantifica la resistencia del suelo al aplicar esfuerzos cortantes perpendiculares bajo circunstancias controladas de humedad y densidad, por ello conocer este parámetro ayudo a diagnosticar la condición de la sub rasante de fundación, la sub base y base granular del pavimento flexible.

A continuación, se presenta la Tabla 33 con el resumen de CBRs del suelo de fundación del tramo Pariacoto – Yupash, la tabla incluye el número de calicata representativa, profundidad de excavación, la clasificación SUCS y AASHTO, valores del ensayo Proctor y resultados del CBR al 95%.

Tabla 33*Resumen de CBR del Tramo Pariacoto – Yupash*

KM	Nº CALICATA	MUESTRA	PROFUND.	CLASIFICACION		PROCTOR (gr/cm3)	CBR AL 95% 0.1"
				SUCS	AASHTO		
56+750	2	M2	0.10-1.50	SM-SC	A-1-b(0)	2.095	17.00
60+000	14	M1	0.00-1.00	SM	A-1-b(0)	2.182	30.10
63+260	26	M1	0.00-1.50	SM	A-1-b(0)	2.141	22.10
65+360	34	M1	0.00-1.20	SC	A-2-4(0)	2.005	12.90
68+120	44	M1	0.00-0.95	GC	A-2-4(0)	2.233	35.50
70+295	51	M1	0.00-1.50	GC	A-2-4(0)	2.133	20.00
72+660	62	M1	0.00-1.50	GC	A-2-6(0)	2.119	25.70
74+600	71	M1	0.00-1.50	GC	A-2-6(1)	2.121	33.00
77+090	81	M1	0.00-1.50	GC	A-2-4(0)	2.214	20.00
79+700	91	M1	0.00-1.50	GC	A-2-6(1)	2.182	24.20
82+060	100	M1	0.00-1.50	GC	A-7-6(4)	2.047	13.60
84+870	111	M1	0.00-0.90	GC	A-2-4(0)	2.089	15.20
86+510	117	M1	0.00-1.10	CL	A-6 (5)	2.117	12.00
89+000	127	M1	0.00-1.50	SC	A-4 (3)	2.11	13.00
92+000	139	M1	0.00-1.50	CL	A-6 (4)	2.067	10.00
94+000	147	M1	0.00-0.55	CL	A-6 (5)	2.057	10.20
95+250	152	M1	0.00-1.50	CL	A-6 (7)	2.005	10.90

Nota: Datos adaptados del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

En el tramo Pariacoto - Yupash se distinguen dos sectores definidos por resultados del perfil estratigráfico del terreno de fundación, por ello se determinó el parámetro CBR en cada sector, los cuales se detallan a continuación:

a. CBR del Sector (Km. 56+480 al Km. 87+500)

Para la obtención del valor representativo de la capacidad admisible o de soporte del suelo se ha empleado una modalidad estadística (percentiles) fundamentado en los principios propuestos por The Asphalt Institute (USA), el cual está en función del tránsito proyectado (diseño).

El parámetro CBR obtenido de pruebas de laboratorio han sido elegidos y correlacionados en base al perfil estratigráfico, los cuales han sido desarrollados en una hoja de cálculo y se presentan resultados en el contenido de la Tabla 34.

Tabla 34

CBR Representativo (Km. 56+480 al Km. 87+500)

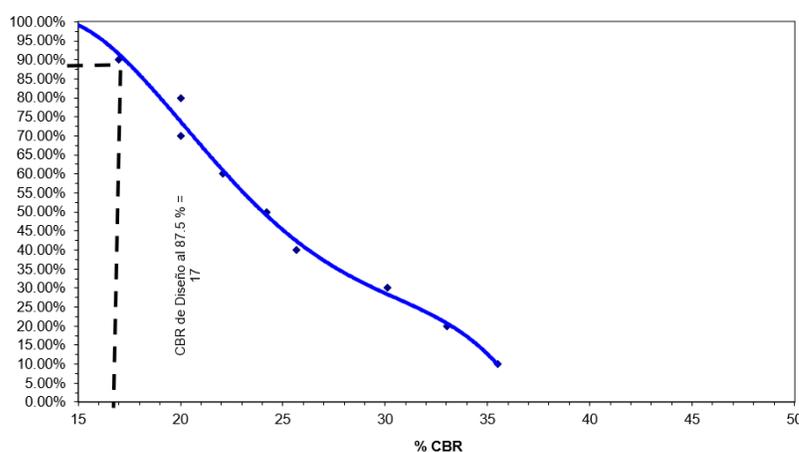
Progresiva	% CBR	Nº Calicata	Muestra	Profund.	Frec.	Frec. Acum	Perc. (%)
56+750	17.00	2	M2	0.20-1.50	1	1	10.00%
60+000	30.10	14	M1	0.00-1.00	1	2	20.00%
63+260	22.10	26	M1	0.00-1.50	1	3	30.00%
65+360	12.90	34	M1	0.00-1.20	1	4	40.00%
68+120	35.50	44	M1	0.00-0.95	1	5	50.00%
70+295	20.00	51	M1	0.00-1.50	1	6	60.00%
72+660	25.70	62	M1	0.00-1.50	1	7	70.00%
74+600	33.00	71	M1	0.00-1.50	1	8	80.00%
77+090	20.00	81	M1	0.00-1.50	1	9	90.00%
79+700	24.20	91	M1	0.00-1.50	1	10	100.00%

Nota: Información adaptado del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

Para el sector, se ha empleado un enfoque metodológico que estima los CBRs correlacionados como se observa en la Figura 34.

Figura 34

Determinación CBR de diseño (Km. 56+480 al Km. 87+500)



Nota: Gráfico adaptado del Expediente técnico, Tramo Pariacoto - Yupash.

Finalmente empleando los datos iniciales de la Tabla 34 se obtiene los siguientes valores correlacionados de CBRs, de la Figura 34 se obtiene el CBR de diseño del Km. 56+480 al Km. 87+500 y se muestran datos del CBR en la Tabla 35.

Tabla 35

CBR de Diseño (Km. 56+480 al Km. 87+500)

Número de Datos	10
Promedio	24.05
Desviación Estándar (Sn)	7.16
Desviación Estándar (Sn-1)	6.79
Coefficiente de Variación	0.28
CBR de Diseño al 87.5%	17.00

Nota: Dato del CBR, parámetro importante en el diseño (El Autor).

b. CBR del Sector (Km. 87+500 al Km. 95+805)

El parámetro CBR obtenido de las pruebas de laboratorio para este tramo han sido desarrollados y correlacionados de acuerdo al perfil estratigráfico, los cuales han sido calculados y se muestran resultados en la Tabla 36.

Tabla 36

CBR Representativo (Km. 87+500 al Km. 95+805)

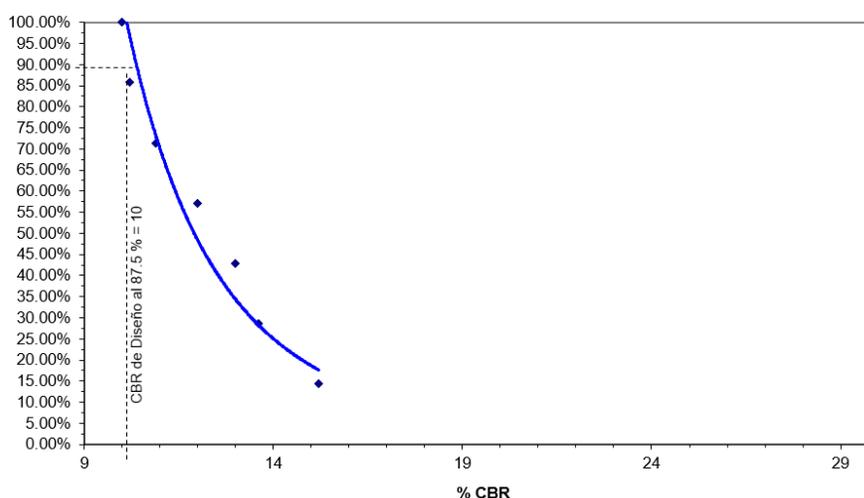
Progresiva	% CBR	Nº Calicata	Muestra	Profund.	Frec.	Frec. Acum	Perc. (%)
82+060	13.60	100	M1	0.00-1.50	1	1	14.29%
84+870	15.20	111	M1	0.00-0.90	1	2	28.57%
86+510	12.00	117	M1	0.00-1.10	1	3	42.86%
89+000	13.00	127	M1	0.00-1.50	1	4	57.14%
92+000	10.00	139	M1	0.00-1.50	1	5	71.43%
94+000	10.20	147	M1	0.00-1.50	1	6	85.71%
95+250	10.90	152	M1	0.00-1.50	1	7	100.00%

Nota: Información adaptado del Expediente técnico, Tramo Pariacoto – Yupash.

En el sector del tramo Pariacoto – Yupash, se ha usado un enfoque metodológico que emplea los CBRs correlacionados, el cual se observa en la Figura 35.

Figura 35

Determinación CBR de diseño (Km. 87+500 al Km. 95+805)



Nota: Gráfico adaptado del Expediente técnico, Tramo Pariacoto - Yupash.

Empleando los datos iniciales de la Tabla 36, se obtiene los siguientes valores correlacionados de CBRs, Finalmente de la Figura 35 se obtiene el CBR de diseño del Km. 87+500 al Km. 95+805 y se muestran datos del CBR en la Tabla 37.

Tabla 37

CBR de Diseño (Km. 87+500 al Km. 95+805)

Número de Datos	7
Promedio	12.13
Desviación Estándar (Sn)	1.92
Desviación Estándar (Sn-1)	1.78
Coefficiente de Variación	0.15
CBR de Diseño al 87.5%	10.00

Nota: Dato del CBR, parámetro importante en el diseño (El Autor).

4.3. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Para el diseño de la sección del pavimento flexible sin reforzamiento de geomallas biaxiales se aplicó el procedimiento definido por AASHTO 93 y para el pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales se empleó la metodología AASHTO R-50 (LCR, TBR, Giroud y Han) los cuales se detallan a continuación.

4.3.1. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE SIN GEOMALLAS BIAXIALES (MÉTODO AASHTO 93)

4.3.1.1. Periodo de Diseño

El periodo de diseño en este estudio se determinó de acuerdo la Guía de procedimientos AASHTO y Manual de carreteras, Sección suelos y pavimentos, se asumió un periodo de 20 años para vía rural con elevado volumen de tránsito como se detalla en el contenido de la Tabla 38.

Tabla 38

Periodo de diseño

Rural con alto volumen de tráfico:	Tiempo
Periodo de diseño:	20 años

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.3.1.2. Parámetros de Diseño

4.3.1.2.1. Ejes equivalentes (W_{18})

W_{18} , es el conjunto de pasadas o repeticiones del eje de carga equivalente de 18 Kips (8,2 Tn) para lapso establecido, el cual se determinó en base a información obtenida del Estudio de tránsito.

La Tabla 39 detalla el valor de W_{18} para un tiempo de diseño aplicable de 20 años, este valor se obtuvo del Estudio de tráfico del tramo Pariacoto – Yupash.

Tabla 39

Ejes equivalentes (W_{18})

Parámetro de Diseño:	Valor
Ejes equivalentes (W_{18}):	4.134E+06

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.3.1.2.2. Módulo de Resiliencia (M_R)

M_R , es la capacidad de resistencia del terreno de fundación o Sub-rasante, dicho valor se consiguió mediante la siguiente expresión (18) determinada de acuerdo a recomendaciones de AASHTO para diferentes tipos de CBR:

$$Mr(\text{psi}) = 2555 * CBR^{0.64} \dots (18)$$

Donde: M_r : Módulo de resiliencia

CBR: Índice CBR del suelo

El índice CBR se logró obtener en el Estudio de Suelos para dos sectores del tramo Pariacoto – Yupash, finalmente sustituyendo datos en la expresión matemática anterior se determinó el Módulo de resiliencia para cada sector.

Tabla 40

Módulo de Resiliencia (M_R)

Parámetro de Diseño:	CBR (%)	MR (PSI)
Km. 56+480 al Km. 87+500	17.00	15663.12
Km. 87+500 al Km. 95+805	10.00	11152.98

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.3.1.2.3. Confiabilidad (%R)

%R, indica el intervalo de confianza que una determinada sección estructural (Pavimento) se desempeñe apropiadamente bajo a lo planteado para las cargas de tráfico, condiciones climáticas y otros factores para el periodo que fue diseñado.

A continuación, en la Figura 36 para cada tipo de tráfico se expresa el rango de tráfico pesado indicado en Ejes Equivalentes EE.

Figura 36

Número de Repeticiones acumuladas de EE de 8.2 t, en Carril de Diseño

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T _{P5}	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T _{P6}	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T _{P7}	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T _{P8}	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
T _{P9}	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
T _{P10}	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
T _{P11}	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
T _{P12}	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
T _{P13}	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
T _{P14}	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE

Nota: Obtenida del Manual de carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Para un ESAL de diseño (W_{18}) de $4.134E+06$ obtenido del estudio de tráfico o tránsito vehicular y de acuerdo a los rangos indicados en la Figura 36 se tiene como tipo el TP7 de rango $3'000,000 < EE \leq 5'000,000$.

Seguidamente, conforme la Figura 37 se indican porcentajes definidos de niveles de confiabilidad.

Figura 37

Valores de Niveles de Confiabilidad

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	65%
	T _{P1}	150,001	300,000	70%
	T _{P2}	300,001	500,000	75%
	T _{P3}	500,001	750,000	80%
	T _{P4}	750 001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	85%
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	TP7	3,000,001	5,000,000	85%
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	90%
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	90%
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	90%
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	90%
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	95%
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	95%
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	95%
	T _{P15}		>30'000,000	95%

Nota: Obtenida del Manual de carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Finalmente, de la Figura 37 para un tipo de tráfico pesado igual a TP7 y para un tiempo vida del pavimento de 20 años se encontró el valor del nivel de confiabilidad (R) como se detalla en la Tabla 41.

Tabla 41

Nivel de Confiabilidad (R)

Tipo de Caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados		Nivel de Confiabilidad (R)
Resto de Caminos	TP7	3,000,001	5,000,000	85%

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.3.1.2.4. Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Z_R)

Z_R , es la medida de confiabilidad escogido a partir de un grupo de valores en una distribución continua o normal. A continuación, con el tipo de tráfico seleccionado anteriormente y de los datos de la Figura 38 se tiene el valor de Z_R .

Figura 38

Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Z_r) para una etapa de diseño (10 o 20 años)

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z_R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	-0.385
	T _{P1}	150,001	300,000	-0.524
	T _{P2}	300,001	500,000	-0.674
	T _{P3}	500,001	750,000	-0.842
	T _{P4}	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T _{P15}		>30'000,000	-1.645

Nota: Obtenida del Manual de carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

De acuerdo a la Figura 38 para el índice de confiabilidad elegido y el intervalo de tráfico, se obtuvo el valor de Z_R y se detalla en el contenido de la Tabla 42.

Tabla 42

Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Z_R)

Tipo de Caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados		(Z_R)
Resto de Caminos	TP7	3,000,001	5,000,000	-1.036

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.3.1.2.5. *Desviación Estándar Combinada (So)*

Se adopto S_o recomendado por el órgano del poder ejecutivo (MTC) en el Manual de carreteras. Sección Suelos y Pavimentos, puesto que este valor está comprendido entre 0.40 y 0.50.

Siendo el valor medio de 0.45 para S_o como se detalla en la Tabla 43, el cual equivale a la variación deseada en el pronóstico del tráfico y demás componentes como la fase de construcción, componentes medioambientales que afectan al pavimento.

Tabla 43

Desviación estándar combinada (S_o)

Parámetro de Diseño:	Valor
Desviación estándar combinada (S_o):	0.45

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.3.1.2.6. *Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)*

La Serviciabilidad presente (PSI) es el servicio proporcionado al peatón al desplazarse por una vía. El índice tiene un rango de 0 a 5. Un índice de 5 le corresponde una serviciabilidad optima (complejo de lograr) y un índice de 0 le corresponde lo pésimo. Si el estado de la vía disminuye por desgaste, el índice también disminuye.

a. **Serviciabilidad Inicial (P_i)**

P_i , indica la condición de servicio en que se encuentra una vía construida hace poco, de la Figura 39 se tienen los índices de serviciabilidad inicial para cada categoría de tráfico.

Figura 39

Índice de serviciabilidad inicial (Pi) según categoría de tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	75,00	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

Nota: Obtenida del Manual de carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Conforme a la Figura 39 para la categoría de tráfico seleccionado, se tiene el valor del Índice de serviciabilidad inicial (Pi) señalado en la Tabla 44.

Tabla 44

Serviciabilidad Inicial (Pi)

Tipo de Caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados		(Pi)
Resto de Caminos	TP7	3,000,001	5,000,000	4.00

Nota: Elaboración propia del Autor.

b. Serviciabilidad Final o Terminal (PT)

Pi, indica el estado en que se encuentra una vía que necesita una determinada clase de reposición o restauración, de la Figura 40 se tienen los índices de serviciabilidad terminal para cada categoría de tráfico.

Figura 40

Índice de serviciabilidad final (Pt) según categoría de tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	2.00
	T _{P1}	150,001	300,000	2.00
	T _{P2}	300,001	500,000	2.00
	T _{P3}	500,001	750,000	2.00
	T _{P4}	750 001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	2.50
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	2.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	2.50
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	2.50
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	2.50
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	2.50
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	2.50
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	3.00
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	3.00
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	3.00
	T _{P15}		>30'000,000	3.00

Nota: Obtenida del Manual de carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Acorde a la Figura 40 y según la categoría de tráfico seleccionado, se halló el valor del Índice de serviciabilidad final (Pt) como se señala en la Tabla 45.

Tabla 45

Serviciabilidad Final (P_T)

Tipo de Caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados		(P _T)
Resto de Caminos	TP7	3,000,001	5,000,000	2.50

Nota: Elaboración propia del Autor.

c. Variación de Serviciabilidad (Δ PSI)

Δ PSI, se define como la resta aritmética de la Serviciabilidad Inicial (Pi) y la Serviciabilidad Final (P_T), aplicando la diferencia se determinó la Variación de Serviciabilidad (Δ PSI) como se señala en la Tabla 46.

Tabla 46*Variación de serviciabilidad (ΔPSI)*

Parámetro de Diseño:	$\Delta PSI = (P_i) - (P_T)$
Variación de Serviciabilidad (ΔPSI):	1.50

Nota: Elaboración del Autor.

4.3.1.3. Cálculo del (SNR) Requerido

Con los resultados determinados conforme a ítems posteriores para los dos sectores definidos del Tramo Pariacoto – Yupash, se determinó el valor del número estructural (SNR) Requerido aplicando la siguiente ecuación.

$$\text{Log}(W_{18}) = Z_R * S_O + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}(M_R) - 8.07 \dots (1)$$

Seguidamente, en la Tabla 47 se indican los resultados de cada parámetro de diseño que interviene en la ecuación (1).

Tabla 47*Recopilación de parámetros de diseño del tramo Pariacoto - Yupash*

Parámetros de diseño	Valor
Ejes equivalentes (W_{18}):	4.134E+06
Módulo de Resiliencia - Km. 56+480 al Km. 87+500 (M_{R1})	15663.12
Módulo de Resiliencia - Km. 87+500 al Km. 95+805 (M_{R2})	11152.98
Nivel de Confiabilidad (R)	85%
Coficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Z_R)	-1.036
Desviación Estándar Combinada (S_O)	0.45
Serviciabilidad Inicial (P_i)	4.00
Serviciabilidad Final (P_T)	2.50
Variación de Serviciabilidad (ΔPSI)	1.50

Nota: Elaboración del Autor.

Los parámetros o variables de diseño señalados en la Tabla 47 se hallaron tomando como base las disposiciones establecidas por el Manual de carreteras. Sección Suelos y Pavimentos proporcionado por el órgano del poder ejecutivo (MTC), dichos valores de obtuvieron relacionando el eje equivalente W_{18} con la categoría de tráfico pesado que transita por la vía en diseño.

Reemplazando valores en la ecuación (1), mediante un proceso de cálculo en una hoja de Excel se determinó el SNR requerido en cada tramo. Finalmente, se generó la Tabla 48 con los valores del Número Estructural Requerido SNR (Requerido) para cada sector definido del tramo Pariacoto – Yupash.

Tabla 48

Número Estructural SNR (Requerido), Tramo Pariacoto - Yupash

Sector, Tramo Pariacoto - Yupash	SNR (Requerido)
Km. 56+480 al Km. 87+500	3.243
Km. 87+500 al Km. 95+805	3.714

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.3.1.4. Obtención de espesores del pavimento flexible

Una vez obtenido los valores del SNR (Requerido) se relacionaron los espesores de la sección vertical del pavimento por intermedio de la siguiente ecuación (2):

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

- a_1, a_2, a_3 : Coeficiente estructural de cada componente del pavimento.
- D_1, D_2, D_3 : Espesor de cada componente del pavimento.
- m_2, m_3 : Coeficiente de drenaje de cada componente del pavimento.

a. Coeficiente estructural de cada componente del pavimento

La Figura 41, muestra el valor de los coeficientes estructurales para cada componente del pavimento.

Figura 41

Coeficiente estructural de cada componente del pavimento (a_i)

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_i (cm)	OBSERVACIÓN
CAPA SUPERFICIAL			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F)	a_1	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico. Este ES un valor Máximo y de utilizarse como tal, El expediente de ingeniería debe ser explícito en cuanto a pautas de cumplimiento obligatorio como realizar : - Un control de calidad riguroso - Indicar un valor de Estabilidad Marshal, superior a 1000 kf-f - Alertar sobre la susceptibilidad al fisuramiento térmico y por fatiga (AASHTO 1993)
Carpeta Asfáltica en Frio, mezcla asfáltica con emulsión.	a_1	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico \leq 1'000,000 EE
Micropavimento 25 mm	a_1	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico \leq 1'000,000 EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico \leq 500,000 EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12 mm.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico \leq 500,000 EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) no se considerapor no tener aporte estructural			
BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico \leq 10'000,000 EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico > 10'000,000 EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a_{2a}	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm ²)	a_{2b}	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm ²)	a_{2c}	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUBBASE			
Subbase Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a_3	0.047 / cm	Capa de Subbase recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de Tráfico

Nota: Obtenida del Manual de carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

De la Figura 41, los coeficientes adoptados para componte del pavimento se expresan en el contenido de la Tabla 49.

Tabla 49*Coefficiente estructural de cada componente del pavimento*

CAPA SUPERFICIAL	BASE	SUBBASE
a1	a2	a3
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F)	Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS
Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico	Capa de Base recomendada para Tráfico ≤ 5'000,000 EE	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico ≤ 15'000,000 EE
0.170	0.052	0.047

Nota: Adaptado por el Autor.

b. Coeficiente de drenaje de cada componente del pavimento (mi)

Para obtener el coeficiente de drenaje, se tomó en cuenta el coeficiente propuesto por el Manual de carreteras, Sección suelos y pavimentos del órgano del poder ejecutivo (MTC), dicho Manual nos proporciona un valor de (mi) para Sub-base y Base granular no tratada de 1.00 para pavimentos flexibles.

Tabla 50*Coefficientes de drenaje de las capas del pavimento*

Coeficiente de drenaje Base (m2)	Coeficiente de drenaje Sub Base (m3)
1.00	1.00

Nota: Elaboración propia del Autor.

c. Cálculo del (SNR) Propuesto

Con los resultados obtenidos en las Tablas 49 y 50 para los dos sectores definidos del Tramo Pariacoto – Yupash, se determinó el valor del número estructural (SNR) Propuesto aplicando la ecuación (2).

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

Siguiendo lo especificado se aplicó la expresión matemática (2), lo cual nos dio los siguientes valores de SNR (Requerido) y espesores de cada componente del pavimento (cm) asumidos por el autor con el propósito de que el pavimento sea funcional, estructural y tenga una mejor funcionalidad durante su periodo de uso.

Se debe cumplir $SNR \text{ (Propuesto)} > SNR \text{ (Requerido)}$, los resultados del SNR (Propuesto) para cada sector del Tramo Pariacoto – Yupash se detallan en el contenido de la Tabla 51 y la Tabla 52.

Tabla 51

Número Estructural SNR (Propuesto), Km. 56+480 al Km. 87+500

Descripción	Espesor di (cm)	(ai)	(mi)	(di*ai*mi)	SNR (Propuesto)	SNR (Requerido)
Carpeta Asfáltica	7.5	0.17		1.275		
Base	20	0.052	1.00	1.040	3.255	3.243
Sub Base	20	0.047	1.00	0.940		

Nota: El SNR (Propuesto) tiene muchas soluciones para cada espesor del pavimento que proporcionan una solución adecuada.

Tabla 52

Número Estructural SNR (Propuesto), Km. 87+500 al Km. 95+805

Descripción	Espesor di (cm)	(ai)	(mi)	(di*ai*mi)	SNR (Propuesto)	SNR (Requerido)
Carpeta Asfáltica	7.5	0.17		1.275		
Base	20	0.052	1.00	1.040	3.725	3.714
Sub Base	30	0.047	1.00	1.410		

Nota: El SNR (Propuesto) tiene muchas soluciones para cada espesor del pavimento que proporcionan una solución adecuada.

d. Espesor de cada componente del pavimento flexible sin refuerzo

Finalmente, la Tabla 53 y Tabla 54 contiene los espesores que componen el pavimento flexible sin reforzamiento de geomallas biaxiales para cada sector definido del tramo Pariacoto – Yupash.

Tabla 53

Espesores del Pavimento sin refuerzo “AASHTO”, Km. 56+480 al Km. 87+500

Tramo Pariacoto – Yupash, Km. 56+480 al Km. 87+500	
Descripción:	AASHTO 93
Capa de Asfalto (cm)	7.5
Capa Base (cm)	20
Capa Sub Base (cm)	20

Nota: Elaboración propia del Autor.

Tabla 54

Espesores del Pavimento sin refuerzo “AASHTO”, Km. 87+500 al Km. 95+805

Tramo Pariacoto – Yupash, Km. 87+500 al Km. 95+805	
Descripción:	AASHTO 93
Capa de Asfalto (cm)	7.5
Capa Base (cm)	20
Capa Sub Base (cm)	30

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.3.2. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS BIAXIALES

(AASHTO– R50)

4.3.2.1. Diseño de Pavimento Flexible con LCR

A continuación, se muestran los pasos para determinar el número estructural y el diseño de pavimento requerido utilizando las fórmulas del método AASHTO R-50 y la introducción del término Layer Coeficiente Ratio (LCR).

4.3.2.1.1. Geomalla Biaxial BXSQ2020 Tipo A (20KN/m)

Para diseñar la configuración estructural del pavimento reforzado con geomalla nos basamos en las especificaciones técnicas de la geomalla biaxial BXSQ2020 (Tipo A) adquirida de Tensar International Corporation (Tensar), la cual tiene entre sus propiedades mecánicas una resistencia última o máxima de 20 kN/m.

Tabla 55

Propiedades de la Geomalla Biaxial BXSQ2020

Propiedades de la Geomalla Biaxial	Unidades	Valores MD1	Valores XMD1
Dimensiones de abertura	mm/(pulgadas)	38 (1.5)	38 (1.5)
Grosor de la costilla	mm/(pulgadas)	1.1 (0.04)	0.8 (0.03)
Resistencia a la tracción al 2% de def.	kN/m (lb/pie)	6.5 (450)	6.5 (450)
Resistencia a la tracción al 5% de def.	kN/m (lb/pie)	13 (890)	13 (890)
Resistencia última a la tracción	kN/m (lb/pie)	20 (1370)	20 (1370)
Integridad estructural			
Eficiencia de unión	%		93
Rigidez general a la flexión	mg-cm		700,000
Estabilidad de abertura	mN/grado		0.45
Durabilidad			
Resistencia al daño de la instalación	%SC/%SW/%GP		95 / 93 / 90
Resistencia a degradación a largo plazo	%		100
Resistencia a la degradación UV	%		100

Nota: Adaptado de Especificaciones técnicas del producto (Tensar).

4.3.2.1.2. LCR para Pavimentos reforzados

El aporte estructural de la geomalla biaxial en la estructura del pavimento flexible se puede determinar aumentando el coeficiente de tensión o esfuerzo de la base granular de la vía con la introducción del LCR de la geomalla biaxial en la ecuación tradicional del número estructural (SN).

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \dots (2)$$

Se convierte en:

$$SN = a_1D_1 + LCR * a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \dots (4)$$

Donde el LCR, valor que se encuentra entre 1.3 – 1.7 dependiendo del CBR la subrasante.

a. SN según la metodología AASHTO

De la Tabla 51 y la Tabla 52 se tienen los siguientes valores determinados por el método AASHTO 93.

Para el Km. 56+480 al Km. 87+500:

$$SN = 0.17 * (7.5) + 0.052 * (20) * 1 + 0.047 * (20) * 1$$

$$SN = 3.255$$

Para el Km. 87+500 al Km. 95+805:

$$SN = 0.17 * (7.5) + 0.052 * (20) * 1 + 0.047 * (30) * 1$$

$$SN = 3.725$$

b. Determinación del espesor equivalente sustituyendo la base granular

Después de obtenido los valores del SN (Propuesto) para cada tramo, se reemplazó la base granular por componente de subbase granular, de este modo se determinó los espesores equivalentes (D'3).

$$SN = a_1 D_1 + a_3 D'_3 m_3$$

Para el Km. 56+480 al Km. 87+500:

$$D'_3 = \frac{3.255 - 0.17 * (7.5)}{0.047 * 1}$$

$$D'_3 = 42.13 \text{ cm}$$

Para el Km. 87+500 al Km. 95+805:

$$D'_3 = \frac{3.725 - 0.17 * (7.5)}{0.047 * 1}$$

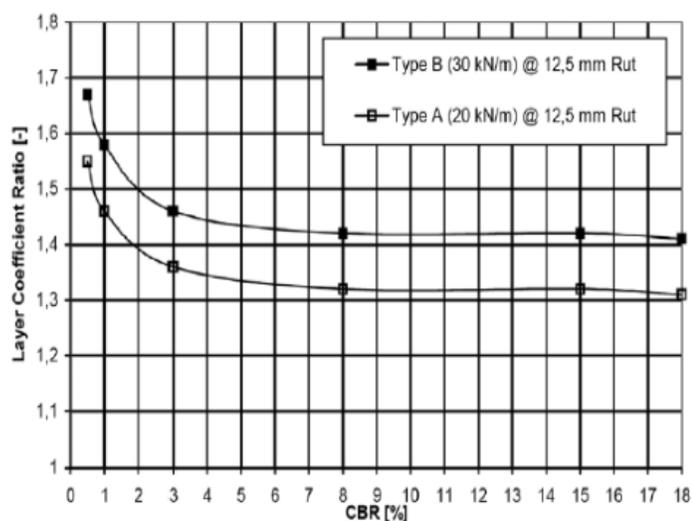
$$D'_3 = 52.13 \text{ cm}$$

c. Determinación del nuevo espesor de la Sub-base con una geomalla biaxial

De acuerdo con las propiedades de la geomalla biaxial Tensar BXSQ2020 de 20 kN/m (Tipo A), se calculó el coeficiente de contribución de la geomalla en la Figura 42 para cada sector del tramo Pariacoto – Yupash acorde a su CBR.

Figura 42

Ábaco de relación LCR vs CBR



Nota: Obtenido de la Guía AASHTO para vías flexibles.

De la Figura 42 se tienen los valores del coeficiente de contribución de la geomalla biaxial Tensar BXSQ2020, 20 kN/m (Tipo A) y se presentan en la Tabla 56.

Tabla 56

Valor del coeficiente "LCR" del Tramo Pariacoto - Yupash

Sector: Tramo Pariacoto - Yupash	CBR (%)	"LCR"
Km. 56+480 al Km. 87+500	17.00	1.34
Km. 87+500 al Km. 95+805	10.00	1.35

Nota: Elaboración propia del Autor.

Luego se debe tener en cuenta la siguiente relación, donde el Número de Estructura Reforzada (SN_r) es igual al Número de Estructura sin refuerzo (SN):

$$SN_r = SN$$

Teniendo en cuenta esta relación se procedió a calcular el espesor de la nueva capa granular introduciendo un refuerzo de geomalla biaxial.

$$SN = a_1 D_1 + a_3 * LCR * D_{3r} * m_3$$

$$D_{3r} = \frac{SN_r - a_1 D_1}{a_3 * LCR * m_3}$$

Para el Km. 56+480 al Km. 87+500:

$$D_{3r} = \frac{3.255 - 0.17 * (7.5)}{0.047 * 1.34 * 1}$$

$$D_{3r} = 31.44 \text{ cm}$$

Para el Km. 87+500 al Km. 95+805:

$$D_{3r} = \frac{3.725 - 0.17 * (7.5)}{0.047 * 1.35 * 1}$$

$$D_{3r} = 38.61 \text{ cm}$$

Determinación del Número estructural con reforzamiento de geomallas biaxiales:

$$SN_{gr} = a_3 * D_{3r} * m_3$$

Para el Km. 56+480 al Km. 87+500:

$$SN_{gr} = 0.047 * 31.44 * 1$$

$$SN_{gr} = 1.478$$

Para el Km. 87+500 al Km. 95+805:

$$SN_{gr} = 0.047 * 38.61 * 1$$

$$SN_{gr} = 1.815$$

d. Determinación de espesores nuevos usando del Número Estructural del componente Sub base

Teniendo en cuenta esta relación se procedió a determinar los nuevos espesores.

$$SN_{gr} = a_2 * D_{2r} * m_2 + a_3 * D_{3r} * m_3$$

La ecuación tiene dos incógnitas, por lo que se sugiere que el espesor de la sección granular de la base no debe encontrarse por debajo de 15cm o 6 pulgadas.

$$D_{2r} = 15.00 \text{ cm}$$

Reemplazando valores en la anterior, para cada sector del tramo Pariacoto – Yupash se tiene lo siguiente.

Para el Km. 56+480 al Km. 87+500:

$$1.478 = 0.052 * (15) * 1 + 0.047 * D_{3r} * 1$$

$$D_{3r} = 14.84 \approx 15.00 \text{ cm}$$

Para el Km. 87+500 al Km. 95+805:

$$1.815 = 0.052 * (15) * 1 + 0.047 * D_{3r} * 1$$

$$D_{3r} = 22.02 \approx 22.00 \text{ cm}$$

Finalmente, los espesores de cada componente o sección del pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales se detallan en la Tabla 57 y la Tabla 58.

Tabla 57

Espesores del Pavimento con refuerzo “LCR”, Km. 56+480 al Km. 87+500

Tramo Pariacoto - Yupash, Km. 56+480 al Km. 87+500		
Descripción:	AASHTO 93	AASHTO R-50 “LCR”
Carpeta Asfáltica (cm)	7.5	7.5
Capa Base (cm)	20	15
Capa Sub Base (cm)	20	15

Nota: Se verifica la disminución del espesor del pavimento por la incorporación de una geomalla biaxial (El Autor).

Tabla 58

Espesores del Pavimento con refuerzo “LCR”, Km. 87+500 al Km. 95+805

Tramo Pariacoto - Yupash, Km. 87+500 al Km. 95+805		
Descripción:	AASHTO 93	AASHTO R-50 “LCR”
Carpeta Asfáltica (cm)	7.5	7.5
Capa Base (cm)	20	15
Capa Sub Base (cm)	30	22

Nota: Se verifica la disminución del espesor del pavimento por la incorporación de una geomalla biaxial (El Autor).

4.3.2.2. Diseño de Pavimento Flexible con TBR

A continuación, se muestran los pasos para determinar el número equivalente estructural y el diseño pavimentos requeridos utilizando las expresiones matemáticas del método AASHTO R-50 y la introducción del término Traffic Benefit Ratio (TBR).

4.3.2.2.1. TBR para Pavimentos reforzados

El TBR representa el aumento del número de periodos de carga para lograr una falla determinada con anterioridad, para el caso de pavimentos reforzados (Orrego, 2014) utiliza la siguiente ecuación.

$$W_{18(Reforzado)} = \frac{W_{18(Sin Reforzar)}}{TBR} \dots (3)$$

Donde: W18: Número equivalente de ejes determinado a partir del tránsito

TBR: Relación de Trafico - beneficio

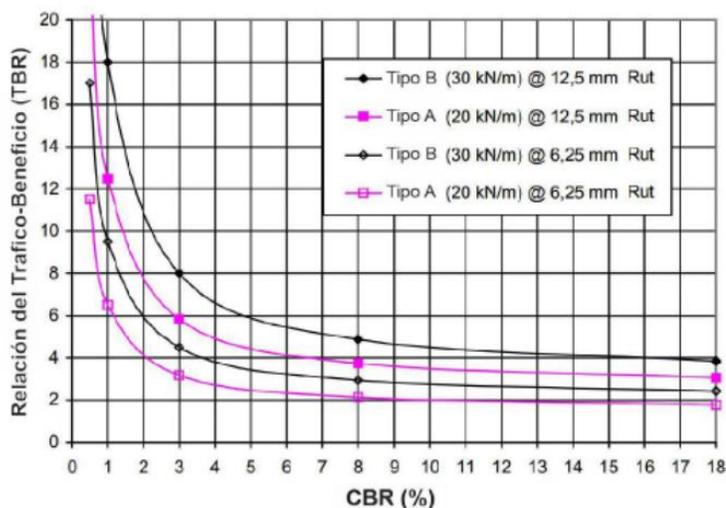
Zornberg (2013), menciona que los geotextiles pueden tener un TBR que oscila entre 1.5 a 10 y para geomallas oscila entre 1.5 y 70, esto se ha determinado con base a ensayos de laboratorio y en estudios especializados de campo efectuados por distintos fabricantes de Geosintéticos.

a. Determinación de relación de Trafico – Beneficio (TBR)

Se consideró la utilización de una geomalla biaxial Tensor BXSQ2020, 20 kN/m (Tipo A), el valor del coeficiente de relación de Trafico – Beneficio se determinó de la Figura 43 para cada sector del tramo Pariacoto – Yupash de acuerdo al CBR.

Figura 43

Ábaco de relación TBR vs CBR



Nota: Obtenido de la Guía AASHTO para vías flexibles.

La Figura 43 muestra los valores del coeficiente TBR para la geomalla biaxial Tensar BXSQ2020 de 20 kN/m (Tipo A) y se detallan en la Tabla 59.

Tabla 59

Valor del coeficiente "TBR" del Tramo Pariacoto - Yupash

Sector: Tramo Pariacoto - Yupash	CBR (%)	"TBR"
Km. 56+480 al Km. 87+500	17.00	2.80
Km. 87+500 al Km. 95+805	10.00	3.30

Nota: Elaboración propia del Autor.

b. Determinación de Numero de repeticiones reforzado $W_{18(Reforzado)}$

Para la determinación o cálculo del número equivalente de repeticiones con reforzamiento de geomallas biaxiales se tiene:

Km. 56+480 al Km. 87+500:

$$W_{18(Reforzado)} = \frac{4.134E + 06}{2.80}$$

$$W_{18(Reforzado)} = 1.477E + 06$$

Km. 87+500 al Km. 95+805:

$$W_{18(Reforzado)} = \frac{4.134E + 06}{3.30}$$

$$W_{18(Reforzado)} = 1.253E + 06$$

c. SN según la metodología AASHTO

Después de obtener el valor de $W_{18(Reforzado)}$ para cada sector, se procedió con el diseño sugerido por la guía AASHTO 93. Los valores de cada parámetro de diseño incluidos en la Ecuación (1) se muestran a continuación.

Para el Km. 56+480 al Km. 87+500:

Tabla 60

Parámetros de Diseño para W₁₈ Reforzado, Km. 56+480 al Km. 87+500

Parámetro de diseño:	Valor
Ejes equivalentes (W ₁₈ Reforzado):	1.477E+06
Módulo de Resiliencia - Km. 56+480 al Km. 87+500 (M _{R1})	15663.12
Nivel de Confiabilidad (R)	85%
Coficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Z _R)	-1.036
Desviación Estándar Combinada (S _o)	0.45
Serviciabilidad Inicial (P _i)	4.00
Serviciabilidad Final (P _T)	2.50
Variación de Serviciosabilidad (ΔPSI)	1.50

Nota: Obtención propia del Autor.

Reemplazando valores en la ecuación (1) del método AASHTO 93, y mediante un proceso de cálculo en una hoja de Excel se determinó el Número Estructural Requerido reforzado para el Km. 56+480 al Km. 87+500.

$$SNR_{requerido(Reforzado)} = 2.713$$

Para el Km. 87+500 al Km. 95+805:

Tabla 61

Parámetros de Diseño para W₁₈ Reforzado, Km. 87+500 al Km. 95+805

Parámetro de diseño:	Valor
Ejes equivalentes (W ₁₈ Reforzado):	1.253E+06
Módulo de Resiliencia - Km. 87+500 al Km. 95+805 (M _{R2})	11152.98
Nivel de Confiabilidad (R)	85%
Coficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Z _R)	-1.036
Desviación Estándar Combinada (S _o)	0.45
Serviciabilidad Inicial (P _i)	4.00
Serviciabilidad Final (P _T)	2.50
Variación de Serviciosabilidad (ΔPSI)	1.50

Nota: Obtención propia del Autor.

De la ecuación (1) del método AASHTO 93, y mediante un proceso de cálculo en una hoja de Excel se determinó el Número Estructural Requerido reforzado para el Km. 87+500 al Km. 95+805.

$$SNR_{requerido(Reforzado)} = 3.021$$

d. Determinación de nuevos espesores en función del Número Estructural reforzado

Teniendo en cuenta esta relación se procedió a determinar los nuevos espesores.

$$SNR_{requerido(Reforzado)} = SNR_{Propuesto(Reforzado)}$$

De la Tabla 49 y la Tabla 50 obtenidos en el diseño por AASHTO 93, se tienen los valores del coeficiente principal estructural de cada componente del pavimento y los coeficientes de drenaje, los cuales tienen los siguientes valores.

$$a_1 = 0.17 \quad m_1 = 1.00$$

$$a_2 = 0.052 \quad m_2 = 1.00$$

$$a_3 = 0.047$$

Ecuación para obtener el espesor de cada componente del pavimento.

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

La ecuación tiene tres incógnitas, por lo tanto, se asumió que el espesor de la capa de asfalto sea igual al encontrado en el método propuesto por AASHTO 93 y que el espesor granular de la Base no debe encontrarse por debajo de 15cm o 6 pulgadas como recomienda el Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos.

$$D_{1r} = 7.50 \text{ cm}$$

$$D_{2r} = 15.00 \text{ cm}$$

Reemplazando valores en la ecuación anterior, para cada sector del tramo Pariacoto – Yupash se tiene lo siguiente.

Para el Km. 56+480 al Km. 87+500:

$$2.713 = 0.17 * (7.5) + 0.052 * (15) * 1 + 0.047 * D_{3r} * 1$$

$$D_{3r} = 14.00 \approx 15.00 \text{ cm}$$

Para el Km. 87+500 al Km. 95+805:

$$3.021 = 0.17 * (7.5) + 0.052 * (15) * 1 + 0.047 * D_{3r} * 1$$

$$D_{3r} = 20.55 \approx 21.00 \text{ cm}$$

Finalmente, los espesores de cada componente del pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales se detallan en la Tabla 62 y Tabla 63.

Tabla 62

Espesores del Pavimento con refuerzo “TBR”, Km. 56+480 al Km. 87+500

Tramo Pariacoto - Yupash, Km. 56+480 al Km. 87+500		
Descripción:	AASHTO 93	AASHTO R-50 “TBR”
Capa de Asfalto (cm)	7.5	7.5
Capa Base (cm)	20	15
Capa Sub Base (cm)	20	15

Nota: Se verifica la disminución del espesor del pavimento por la incorporación de una geomalla biaxial (El Autor).

Tabla 63

Espesores del Pavimento con refuerzo “TBR”, Km. 87+500 al Km. 95+805

Tramo Pariacoto - Yupash, Km. 87+500 al Km. 95+805		
Descripción:	AASHTO 93	AASHTO R-50 “TBR”
Capa de Asfalto (cm)	7.5	7.5
Capa Base (cm)	20	15
Capa Sub Base (cm)	30	21

Nota: Se verifica la disminución del espesor del pavimento por la incorporación de una geomalla biaxial (El Autor).

4.3.2.3. Diseño de Pavimento Flexible con Giroud y Han

El enfoque de diseño Giroud y Han entrelaza el confinamiento producido entre la restricción creada por la geomalla y la capa de material colocada sobre la geomalla, porque sabemos que el suelo, cuando se somete a las cargas generadas por los neumáticos, tiende a deformarse, causando marcas en la superficie de la pista, al aplicar el refuerzo con geomallas este ahuellamiento se reduce exponencialmente.

4.3.2.3.1. Parámetros de Diseño

a. Cargas de tráfico

La carga por eje representa la carga generada por un sistema dual de ruedas, y la carga por rueda (P) es la carga generada de una de los neumáticos, el número de pasadas representa el ESAL de diseño determinado en el Estudio de tráfico y la profundidad máxima de la banda de rodadura es el espacio vertical entre el punto más bajo de la banda de rodadura y la línea que se desarrolla entre los puntos más altos, valores obtenidos del Reglamento Nacional de Vehículos.

b. Valor relativo de soporte del suelo (CBR)

El CBR es un parámetro de diseño fundamental en el enfoque de diseño según Giroud y Han, debido a que depende de la profundidad del suelo de fundación, este valor fue determinado en la investigación del suelo del presente estudio.

c. Propiedades de la Geomalla

De acuerdo a las especificaciones técnicas de una geomalla biaxial BXSQ2020 (Tipo A) adquirida de Tensar International Corporation (Tensar), esta tiene entre sus características mecánicas de tracción una resistencia límite de 20 kN/m.

Tabla 64*Parámetros de diseño para método de Giroud y Han*

Carga por Tráfico	VALOR
Carga por eje (18 kip)	80 kN
Carga por rueda (9 kip)	40 kN
Número de pases (ESAL)	4.134E+06
Máxima profundidad de la huella (S)	30.48 mm
Valor de soporte relativo (CBR)	
CBR de la subrasante, tramo más crítico	10.00 %
CBR de la subbase granular	40.00 %
CBR de la base granular	80.00 %
Propiedades de la geomalla de refuerzo	
Geomalla Biaxial BXSQ2020	Tipo A
Resistencia Máxima a la tensión	20 kN
Dimensión de la Abertura	38 mm
Estabilidad de abertura	0.45 mN/grado
Eficacia de la unión	93%
Factores de capacidad	
Para pavimentos con geomalla	Nc = 5.71
Para pavimentos sin geomalla	Nc = 3.14

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.3.2.3.2. Radio de Contacto

Para determinar el radio de contacto (r), se reemplazaron datos de la carga de la rueda (P) de 9,000 lb (40 kN) y la presión de neumáticos (p) de 80 lb/in² (550 kpa), ambos datos utilizados para calibrar según la metodología de diseño Giroud - Han.

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi p}} = \sqrt{\frac{40 \text{ kN}}{\pi(550 \text{ kpa})}} = 0.152 \text{ m}$$

4.3.2.3.3. Módulo de proporción

Se utilizó la siguiente ecuación para determinar el módulo proporcional (R_E):

$$R_E = \frac{E_{bc}}{E_{sg}} = \frac{3.48 * CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}}$$

Donde: CBR_{bc} : CBR de la base igual a 80.0 %

CBR_{sg} : CBR de la subrasante igual a 10.0 %

R_E : Si el valor es mayor a 5, el resultado se considera $R_E = 5$.

Reemplazando valores en la ecuación anterior se tiene:

$$R_E = \frac{3.48 * 80.0^{0.3}}{10.0} = 1.296 < 5$$

4.3.2.3.4. Verificación de capacidad de resistencia de la Subrasante

Para verificar la capacidad de resistencia se tiene la siguiente ecuación:

$$P_{h=0,(\sin \text{refuerzo})} = \left[\frac{S}{f_s} \right] \pi r^2 N_c f_c CBR_{sg}$$

Donde: $P_{h=0}$: Capacidad de la subrasante

S: Ahuellamiento máximo igual a 30.48 mm

f_s : Ahuellamiento de referencia igual a 75.00 mm

N_c : Factor de carga sin geomalla igual a 3.14

f_c : 20 kN para CBR entre 5% y 10%

Reemplazando valores en la ecuación anterior se tiene:

$$P_{h=0,(\sin \text{refuerzo})} = \left[\frac{30.48}{75.00} \right] \pi * 0.152^2 * 3.14 * 20 * 10$$

$$P_{h=0,(\sin \text{refuerzo})} = 18.525 \text{ kN} < 40 \text{ kN}$$

Por lo tanto, la capacidad de la subrasante de 18.525 kN no puede resistir la carga aplicada por el tránsito de vehículos, ya que es inferior a la carga aplicada por una rueda de 40 kN sobre una carretera pavimentada.

4.3.2.3.5. Factor de corrección

Para calcular el factor de corrección, tenemos la siguiente expresión matemática:

$$C_f = (0.661 - 1.006 * J^2)$$

El factor de corrección y el módulo J de la geomalla biaxial están relacionados directamente, el valor del módulo J es distinto para cada tipo de geomalla y se determina en base a ensayos calificados realizados por los proveedores o fabricantes.

$$C_f = 0.672, J = 0, \text{ para la capa base no reforzada}$$

$$C_f = 0.457, J = 0.45 \text{ mN/grado, para la capa base reforzada}$$

4.3.2.3.6. Fórmula de Diseño

El espesor de diseño (h) se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$h = \frac{0.868 + (C_f) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{1 + 0.204(R_E - 1)} \left(\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{s}{f_s} \left[1 - 0.9e^{-\left(\frac{r}{h}\right)^2} \right] N_c f_c CBR_{sg}} - 1}} \right) r \dots (11)$$

4.3.2.3.7. Diseño de vía no reforzada

Aplicando la fórmula (11), se tiene como valor $N_c = 3.14$ para pavimentos sin refuerzo, módulo $J = 0$, con factor de corrección $C_f = 0.672$, se determinó el espesor de agregado para un pavimento sin refuerzo mediante una hoja de cálculo en Excel.

$$h = \frac{0.868 + (0.672) \left(\frac{0.152}{h}\right)^{1.5} \log 2.93E + 06}{1 + 0.204(1.296 - 1)} \left(\sqrt{\frac{\frac{40}{\pi * 0.152^2}}{\frac{30.48}{75.00} \left[1 - 0.9e^{-\left(\frac{0.152}{h}\right)^2} \right] (3.14)(20)(10)} - 1}} \right) * 0.152$$

$$h = 0.565 \text{ metros}$$

4.3.2.3.8. Diseño de vía reforzada

Utilizando la fórmula (11), se tiene el valor de $N_c = 5.71$ para pavimentos con geomalla, módulo $J = 0.45$, con factor de corrección $C_f = 0.457$, se determinó el espesor compuesto con una geomalla biaxial para pavimento con refuerzo mediante una hoja de cálculo en Excel.

$$h = \frac{0.868 + (0.457) \left(\frac{0.152}{h}\right)^{1.5} \log 2.93E + 06}{1 + 0.204(1.296 - 1)} \left(\sqrt{\frac{\frac{40}{\pi * 0.152^2}}{\frac{30.48}{75.00} \left[1 - 0.9e^{-\left(\frac{0.152}{h}\right)^2} \right] (5.71)(20)(10)} - 1} \right) * 0.152$$

$$h = 0.410 \text{ metros}$$

4.3.2.3.9. Comparación de espesores de diseño

Después de obtener el espesor de la capa granular base para pavimentos sin refuerzo y con refuerzo de geomallas, se observa que el espesor final varía mucho cuando se utiliza una geomalla biaxial, el espesor se reduce en un 28.07% a continuación, se muestran resultados en la Tabla 65 y la sección del pavimento en la Figura 44.

Tabla 65

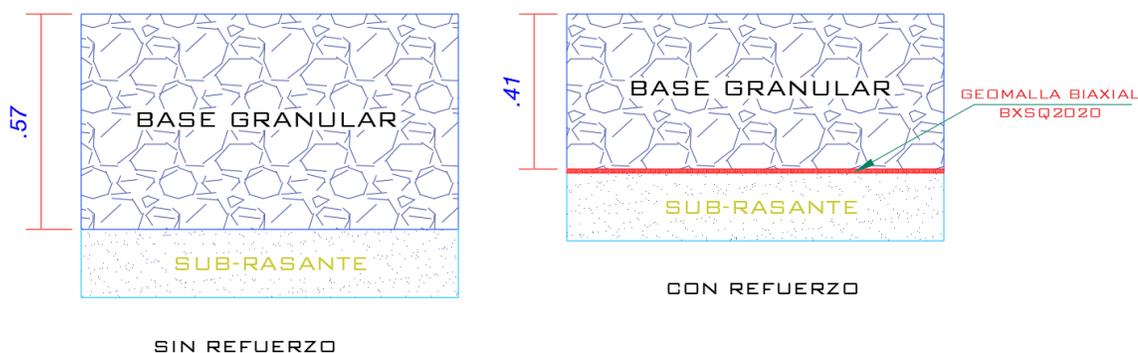
Comparación de espesores de diseño (Giroud y Han)

Base Granular de la vía:	(m)	(cm)
Sin geomalla biaxial reforzada	0.565	57
Con geomalla biaxial reforzada	0.410	41

Nota: La metodología de diseño Giroud y Han se aplicó en el Km. 87+500 al Km. 95+80 tramo más crítico de la vía Pariatoco – Yupash.

Figura 44

Comparación de espesores granulares según Giroud y Han



Nota: Realización propia del Autor.

4.4. MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE

La modelización numérica o llamado también modelado numérico es un método basado en el cálculo numérico mediante programas o Softwares que permiten modelar estructuras o elementos para simular comportamientos al aplicar acciones en un tiempo determinado.

Para la modelización numérica del pavimento flexible sin geomallas biaxiales y con geomallas biaxiales se utilizó el Software Plaxis 2D, el cual cuenta con un sistema computacional de elementos finitos que está estructurado especialmente para analizar esfuerzos, deformaciones e interacciones suelo – estructura.

4.4.1. PARÁMETROS PARA LA MODELIZACIÓN NUMÉRICA

Los parámetros utilizados para el modelado numérico de la sección estructural del pavimento flexible se detallan a continuación.

4.4.1.1. Tipo de material de la configuración del pavimento

Para cada componente del pavimento flexible el tipo de material se consideró de acuerdo a datos del Estudio de suelos y Canteras del Expediente técnico del Tramo Pariacoto – Yupash, presentado en el contenido de la Tabla 66.

Tabla 66

Tipo de material de la configuración del pavimento

Tipo de Material:	Tipo de suelo (Clasificación SUCS)			
	Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Km. 56+480 al Km. 87+500	-	GW	GW - GP	GM - GC/SM - SC
Km. 87+500 al Km. 95+805	-	GW	GW - GP	CL - ML

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.4.1.2. Modelo del Material

De acuerdo a lineamientos y publicaciones de diferentes investigadores como: “Modelación numérica de un pavimento con capas estabilizadas mediante el uso de asfaltos naturales y/o provenientes de derrames de petróleo” realizado por Cristian Gamboa Castellanos y Wilmer Camargo Banderas (2021), “Análisis comparativo de pavimento flexible con y sin geomalla multiaxial, av. Defensores del Morro, Chorrillos – Lima 2021”, realizado por Jhonny Bryan Espinoza Pocomucha (2021), “Diseño de pavimento flexible reforzado con geomallas para la reducción de la estructura del pavimento”, realizado por Hinosgar Aleksandrovich Hinostrza Molina (2018), donde como sabemos el Asfalto tiene un comportamiento visco-elástico en dichas investigaciones se considera al Asfalto como un modelo elástico lineal y para los componentes base y subbase granular, subrasante el modelo Mor Coulomb el cual adoptaremos para la modelización numérica.

Tabla 67

Modelo de material de cada componente del pavimento

Tipo de Material:	Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Modelo de diseño:	Lineal elástico	Morh Coulomb	Morh Coulomb	Morh Coulomb

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.4.1.3. CBR del suelo

El CBR de la capa sub-rasante se determinó durante el estudio de suelos del tramo Pariacoto – Yupash detallados en la Tabla 35 y Tabla 37, para la modelización del pavimento se trabajó con el CBR de la sub-rasante más crítico de 10%, y de la Tabla 49, la sub base tiene un CBR de 40% y la base un CBR de 80%.

4.4.1.4. Módulo de Elasticidad (E)

En este estudio, considerando el costo de los ensayos triaxiales y el tamaño de la sección estudiada, para determinar el módulo elástico o también conocido como módulo dinámico, se empleó las correlaciones dadas por AASHTO relacionados con el CBR de diseño, se muestran las ecuaciones utilizadas.

$$E_{SUBRASANTE}(MPa) = 10 * CBR$$

$$E_{SUBBASE}(MPa) = 36 * CBR^{0.30}$$

$$E_{BASE}(MPa) = 29.4 * CBR^{0.4358}$$

En la Figura 45 se muestran los valores comunes de Módulos de Elasticidad de los materiales empleados para cada componente de un pavimento flexible.

Figura 45

Módulos elásticos (E) típicos en materiales para pavimentación

Material	Rango (MPa)	Valor típico (MPa)
Carpeta Asfáltica Convencional	2000-4000	3000
Carpeta Asfáltica con asfalto modificado	4000-6000	5000
Base estabilizada con cemento	750-2000	1500
Base estabilizada con asfalto	500-1500	1000
Base Hidráulica	270-350	310
Subrasante	190-260	220

Nota: Obtenido de (Coria & Hernández & Garnica, 2018, p. 10).

Para realizar el diseño de la sección estructural del pavimento de acuerdo a la Tabla 49 se asumió que la superficie de rodadura para nuestro diseño sea una capa de asfalto caliente con un módulo de 2,965 MPa (430,000 PSI) y a una temperatura 20 °C (68 °F).

Seguidamente, se muestran los valores cálculos al reemplazar en las ecuaciones indicadas, el cálculo se realizó para cada sector definido del Tramo Pariacoto – Yupash, y se presentan en el contenido de la Tabla 68.

Tabla 68

Módulo elástico (E) de cada componente del pavimento

Tipo de Material:	Módulo de Elasticidad (kN/m ²)			
	Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Km. 56+480 al Km. 87+500	296,500	198,479	108,873	100,000
Km. 87+500 al Km. 95+805	296,500	198,479	108,873	100,000

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.4.1.5. Coeficiente de Poisson (ν)

La Figura 46 muestra los valores comunes o típicos de la relación de Poisson (ν) de cada material utilizado en las capas de un pavimento flexible.

Figura 46

Coefficientes de Poisson (ν) típicos en materiales para pavimentación

Material	Rango	Valor típico
Carpeta Asfáltica Convencional	0.15-0.45	0.30
Carpeta Asfáltica con asfalto modificado	0.15-0.30	0.20
Base estabilizada con cemento	0.15-0.30	0.20
Base estabilizada con asfalto	0.15-0.45	0.30
Base Hidráulica	0.30-0.40	0.35
Subrasante	0.30-0.50	0.40

Nota: Obtenido de (Coria & Hernández & Garnica, 2018, p. 11).

Por otro lado, la relación de Poisson tiene poca influencia en el cálculo matemático de deflexiones y deformaciones, el uso de valores ponderados simples es aceptable para

toda la estructura. En general se utilizan valores entre 0,35 y 0,40 para determinar la fuerza de compresión en la subrasante y la fuerza de tensión en las capas de asfalto (Montejo, 1998, p. 553).

Los valores específicos se eligieron en base a la experiencia y un estudio exhaustivo de datos de prueba reales.

Tabla 69

Coefficiente de Poisson (ν) de cada componente del pavimento

Tipo de material:	Coeficiente de Poisson (ν)			
	Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Km. 56+480 al Km. 87+500	0.40	0.35	0.35	0.27
Km. 87+500 al Km. 95+805	0.40	0.35	0.35	0.26

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.4.1.6. Peso específico seco de cada componente del pavimento

Para la obtención del Peso específico seco de cada material se tuvo en cuenta datos de ensayos realizados en la Cantera Casa Blanca y los resultados del Anexo 03. Estudio de suelos y canteras, los resultados obtenidos se presentan en el contenido de la Tabla 70.

Tabla 70

Peso específico seco de las capas del pavimento

Tipo de Material:	Peso específico seco (kN/m ³)			
	Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Km. 56+480 al Km. 87+500	26.78	21.68	21.22	19.09
Km. 87+500 al Km. 95+805	26.78	21.68	21.22	18.48

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.4.1.7. Peso específico saturado de cada componente del pavimento

Para obtener el Peso específico saturado del Asfalto, Base, Sub Base y Subrasante se tuvo en cuenta los ensayos realizados en la Cantera Casa Blanca y datos del Anexo 03.

Tabla 71

Peso específico saturado de las capas del pavimento

Tipo de Material:	Peso específico saturado (kN/m ³)			
	Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Km. 56+480 al Km. 87+500	26.78	23.08	22.34	21.38
Km. 87+500 al Km. 95+805	26.78	23.08	22.34	20.84

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.4.1.8. Cohesión de la estructura del pavimento

Para la estimación del parámetro de cohesión se recurrió a la bibliografía técnica tomando como referencia valores basados en la experiencia y ensayos especializados de otras investigaciones relacionadas a la modelización numérica de pavimentos.

Tabla 72

Cohesión de cada componente del pavimento

Tipo de material:	Cohesión (kN/m ²)			
	Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Km. 56+480 al Km. 87+500	-	20.00	0.00	14.60
Km. 87+500 al Km. 95+805	-	20.00	0.00	22.40

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.4.1.9. Ángulo de fricción de la estructura del pavimento

Para la estimación del parámetro del ángulo de fricción o también llamado ángulo de rozamiento interno se recurrió a la Figura 47, donde se muestran valores recomendados de las propiedades típicas de suelos.

Se estimó de acuerdo al tipo de suelo de la configuración estructural del pavimento, los valores se presentan en el contenido de la Tabla 73.

Figura 47*Propiedades típicas de suelos compactados*

PROPIEDADES TÍPICAS DE SUELOS COMPACTADOS (NAVFAC, 1971)					
Símbolo del grupo	Tipo de suelo	Cohesión (compactado) t/m ²	Cohesión (saturado) t/m ²	Angulo roz. int. efect. ϕ° grados	tg ϕ°
GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y de arena	0	0	> 38°	> 0,79
GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y de arena	0	0	> 37°	> 0,74
GM	Gravas limosas, mezclas de grava-arena-limo mal graduadas			> 34°	> 0,67
GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena-arcilla mal graduadas			> 31°	> 0,60
SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava	0	0	38°	0,79
SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava	0	0	37°	0,74
SM	Arenas limosas, mezclas de arena-limo mal graduadas	5,13	2,05	34°	0,67
SM-SC	Mezclas de arena-limo-arcilla con finos poco plásticos	5,13	1,46	33°	0,66
SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena-arcilla	7,57	1,12	31°	0,60
ML	Limos inorgánicos y limos arcillosos	6,83	0,93	32°	0,62
ML-CL	Mezcla de limo inorgánico y arcilla	6,59	2,24	32°	0,62
CL	Arcillas inorgánicas poco plásticas o de plasticidad mediana	8,79	1,32	28°	0,54
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas poco plásticas	—	—	—	—
MH	Limos arcillosos inorgánicos, suelos limosos	7,32	2,05	25°	0,47
CH	Arcillas inorgánicas muy plásticas	10,5	1,12	19°	0,35
OH	Arcillas orgánicas y arcillas limosas	—	—	—	—

Nota: Obtenido de (NAVFAC, 1971)

Tabla 73*Ángulo de fricción (ϕ) de las capas del pavimento*

Tipo de Material:	Ángulo de Fricción ϕ (°)			
	Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Km. 56+480 al Km. 87+500	-	40°	38°	33°
Km. 87+500 al Km. 95+805	-	40°	38°	32°

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.4.1.10. Ángulo de dilatación de la estructura del pavimento

De acuerdo a la clasificación U.S.C.S de suelos, estos materiales se clasifican mayoritariamente como GP y GW. Del análisis de las deformaciones verticales medidas en aquellos ensayos es que se dispuso de ese registro, se comprueba un comportamiento

netamente dilatante, de modo que se han estimado, según el nivel de confinamiento, ángulos de dilatación de entre 3° y 9°. (Sánchez & López & Laina & Jiménez, 2016)

Por otro lado A. Bernal (2013) en “Análisis teórico de la capacidad de carga de los suelos parcialmente saturado” considera que la dilatación va a ser un 10% del ángulo de fricción interna de los suelos. Dicha consideración es la que se tomó para el análisis del suelo objeto de estudio y para su modalización numérica.

Tabla 74

Ángulo de dilatación (ψ) de las capas del pavimento

Tipo de Material:	Ángulo de dilatación ψ (°)			
	Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Km. 56+480 al Km. 87+500	-	4°	3.8°	3.3°
Km. 87+500 al Km. 95+805	-	4°	3.8°	3.2°

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.4.1.11. Coeficiente de permeabilidad de la estructura del pavimento

Para la estimación del parámetro de permeabilidad del Asfalto, como sabemos el comportamiento de la carpeta asfáltica tiende a ser menos permeable en la medida que aumenta la cantidad de cemento asfáltico y el tamaño granulométrico en la mezcla de asfalto se hace más densa, para esta investigación se estimó considerar la permeabilidad ideal dado que con este valor no se afecta a la subbase y base granular.

Se presenta valores representativos de coeficientes de permeabilidad en la Figura 48 basados en la clasificación SUCS de suelos, propuestos por Braja Das (2001), en Principios de ingeniería de cimentaciones.

Figura 48

Valores de coeficientes de permeabilidad

PERMEABILIDAD EN EL SUELO (k)		
Tipo de suelo	Clasificación SUCS (ASTM D2487)	Coefficiente de permeabilidad (m/s)
Gravas mal gradadas	GP	$K > 10^{-4}$
Gravas bien gradadas	GW	$K > 10^{-4}$
Gravas limosas	GM	$10^{-5} < K < 10^{-8}$
Gravas arcillosas	GC	$10^{-8} < K < 10^{-10}$
Arenas mal gradadas	SP	$K > 10^{-5}$
Arenas bien gradadas	SW	$K > 10^{-5}$
Arenas limosas	SM	$10^{-5} < K < 10^{-8}$
Arenas arcillosas	SC	$10^{-8} < K < 10^{-10}$
Limos baja plasticidad	ML	$10^{-5} < K < 10^{-8}$
Limos alta plasticidad	MH	$10^{-6} < K < 10^{-8}$
Arcillas baja plasticidad	CL	$10^{-8} < K < 10^{-10}$
Arcillas alta plasticidad	CH	$10^{-8} < K < 10^{-10}$

Nota: Obtenido de Principio de ingeniería de cimentaciones (Braja, 2001)

Los valores del coeficiente de permeabilidad (K) fueron estimados de la Figura 48, en función al tipo de suelo de cada componente estructural del pavimento.

Tabla 75

Coefficiente de permeabilidad (K) de cada componente del pavimento

Tipo de Material:	Coeficiente de permeabilidad K (m/s)			
	Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Km. 56+480 al Km. 87+500	-	10^{-4}	10^{-4}	10^{-6}
Km. 87+500 al Km. 95+805	-	10^{-4}	10^{-4}	10^{-8}

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.4.1.12. Parámetros elásticos de la Geomalla Biaxial BXSQ2020

Como sabemos la propiedad de la geomalla biaxial se basa en su rigidez axial (EA) y está representada por la siguiente ecuación:

$$EA = T/\varepsilon$$

Donde:

T: Es la resistencia a la tracción, este valor es proporcionado por el fabricante.

ϵ : Es la extensión relativa que varía entre 0.05% y 2%

Para la presente investigación se utilizó la Geomalla Biaxial BXSQ2020 que tiene una resistencia ultima a la tracción de 20 kN/m valor proporcionado por la Empresa Tensar International Corporation, asimismo se tomó el valor de 0.1% para el ϵ de la geomalla y un valor de 0.25 para el Coeficiente de Poisson, debido a que han sido usados y justificados por los investigadores citados para definir el modelo del material.

Tabla 76

Parámetros elásticos de la Geomalla Biaxial BXSQ2020

	EA (kN/m)	ν
Geomalla Biaxial BXSQ2020	20,000	0.25

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.4.1.13. Cargas aplicadas al pavimento flexible

Finalmente, para la modelización numérica del pavimento flexible sin y con geomallas biaxiales, se consideró diferentes cargas de 9kip (40 kN), 18kip (18kN), 26kip (116kN), 200 kN y 400 kN, ya que al emplear una carga de valor pequeño no se distinguen los cambios en las deformaciones, esfuerzos y deflexiones, por ello para la modelización con el software Plaxis 2D se asumió el valor de 400 kN.

Tabla 77

Carga aplicada al pavimento flexible, Tramo Pariacoto - Yupash

	(kN)
Carga aplicada al pavimento por eje	400.00

Nota: Elaboración propia del Autor.

4.4.2. MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE SIN GEOMALLAS BIAXIALES

4.4.2.1. Modelización numérica sin refuerzo del Km. 56+480 al Km. 87+500

En seguida se precisan los parámetros empleados en la modelización numérica de la sección estructural de un pavimento flexible desde el km. 56+480 hasta km. 87+500 del tramo Pariacoto - Yupash.

Tabla 78

Propiedades de los materiales sin refuerzo, Km. 56+480 al Km. 87+500

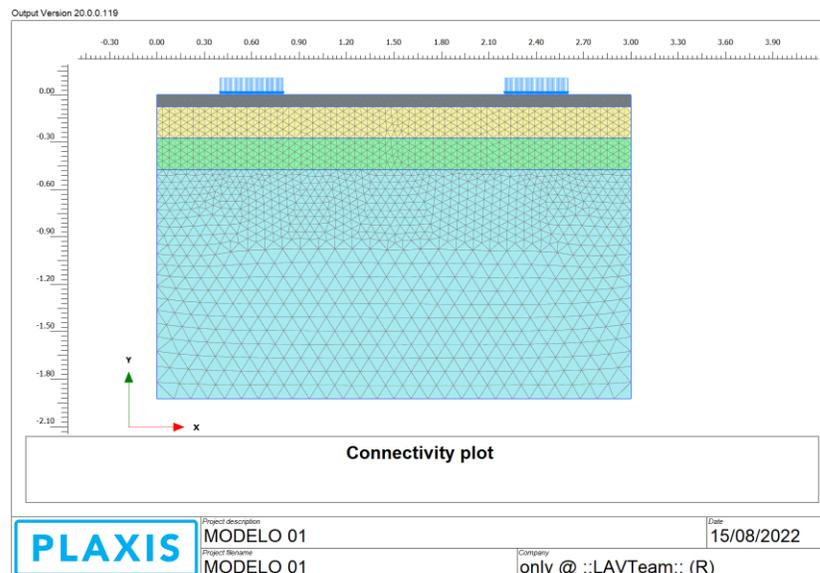
Tipo de Material		Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Tipo de suelo (SUCS)		-	GW	GW - GP	GM - GC/ SM - SC
Modelo del material		Lineal elástico	Morh Coulomb	Morh Coulomb	Morh Coulomb
Espesor Modelo 1 (Sin geomalla)	(m)	0.075	0.20	0.20	1.45
Capacidad resistente (CBR)	(%)	-	80	40	17
Módulo de elasticidad (E)	(kN/m ²)	296,500	198,479	108,873	100,000
Coefficiente de poisson (ν)		0.40	0.35	0.35	0.27
Peso específico seco (PE seco)	(kN/m ³)	26.78	21.68	21.22	19.09
Peso específico saturado (PE sat)	(kN/m ³)	26.78	23.08	22.34	21.38
Cohesión (C)	(kN/m ²)	-	20.0	0	14.60
Ángulo de fricción (Ø)	(°)	-	40°	38°	33°
Ángulo de dilatación (ψ)	(°)	-	4°	3.8°	3.3°
Coefficiente de permeabilidad (K)	(k)	-	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶

Nota: Elaboración propia del Autor.

En el software Plaxis 2D, se asignaron las propiedades de cada material que aparecen en la Tabla 78, se aplicó una carga distribuida de 400 kN/m² por cada llanta que corresponde a un eje dual, luego el software Plaxis 2D que consta de un sistema de CAD grafico la sección vertical del modelo geométrico del pavimento sin geomallas biaxiales, así mismo se discretizo por elementos finitos a través de una cuadrícula o mallado como se observa a través de la Figura 49.

Figura 49

Discretización del pavimento sin refuerzo, Km. 56+480 al Km. 87+500

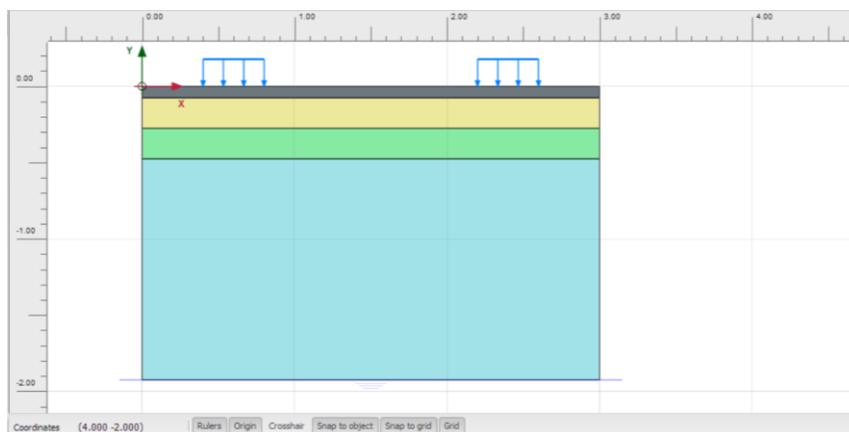


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Después se asignaron las condiciones iniciales conforme a la Figura 50 y luego se realizó la comprobación de las fases de construcción del Modelo 01 acorde la Figura 51.

Figura 50

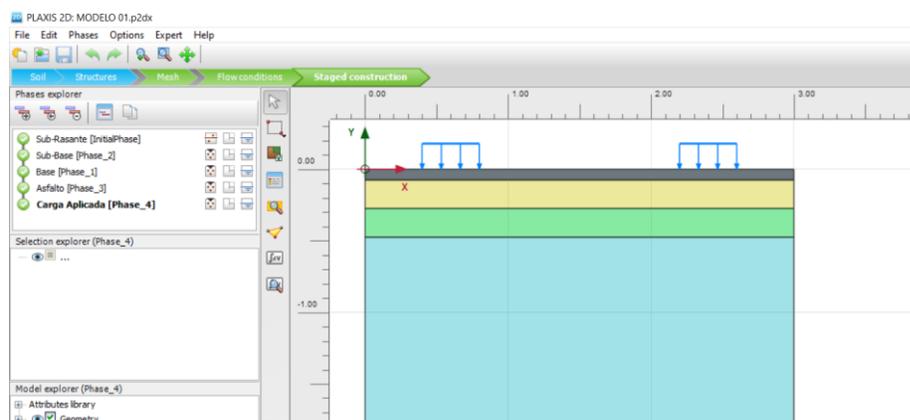
Condiciones iniciales pavimento sin refuerzo, Km. 56+480 al Km. 87+500



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor)

Figura 51

Comprobación de las fases de construcción, Km. 56+480 al Km. 87+500

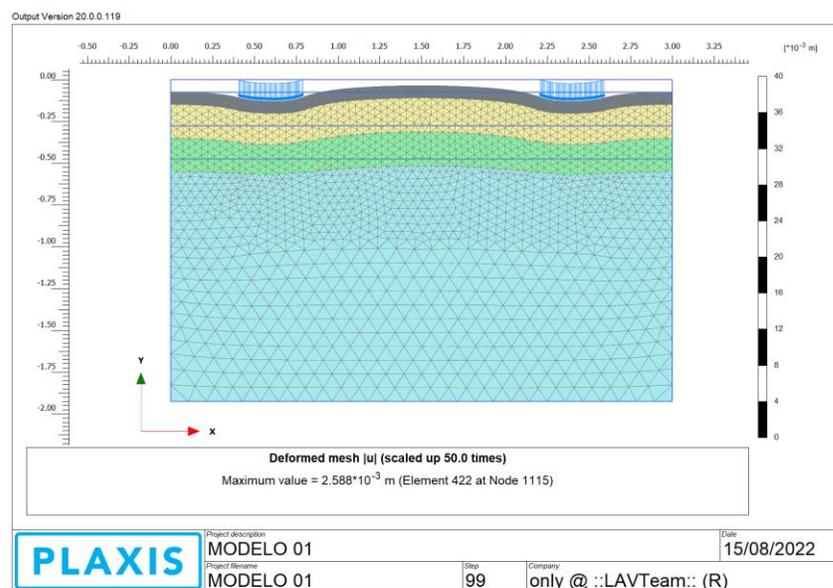


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Finalmente, se procedió a efectuar los cálculos y la entrega de reportes de deformaciones, desplazamientos y esfuerzos totales que se muestra a continuación.

Figura 52

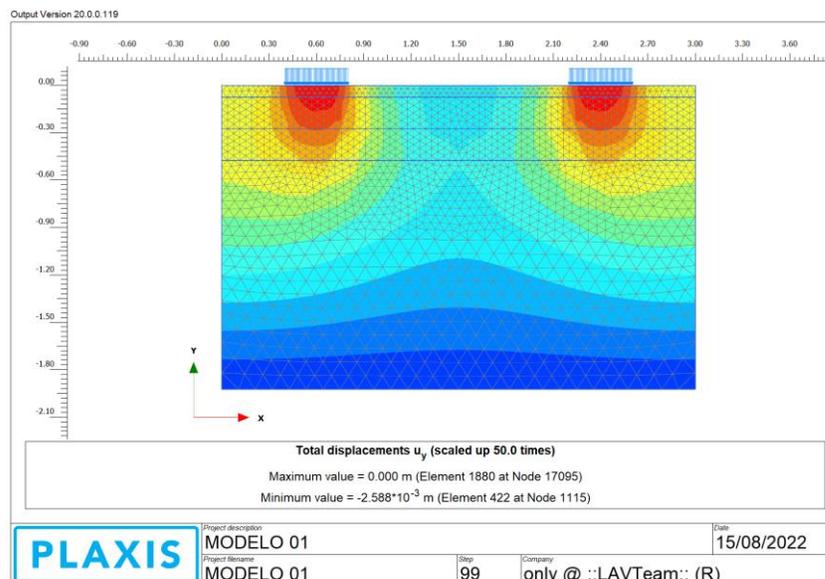
Deformaciones totales sin refuerzo, Km. 56+480 al Km. 87+500



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Figura 53

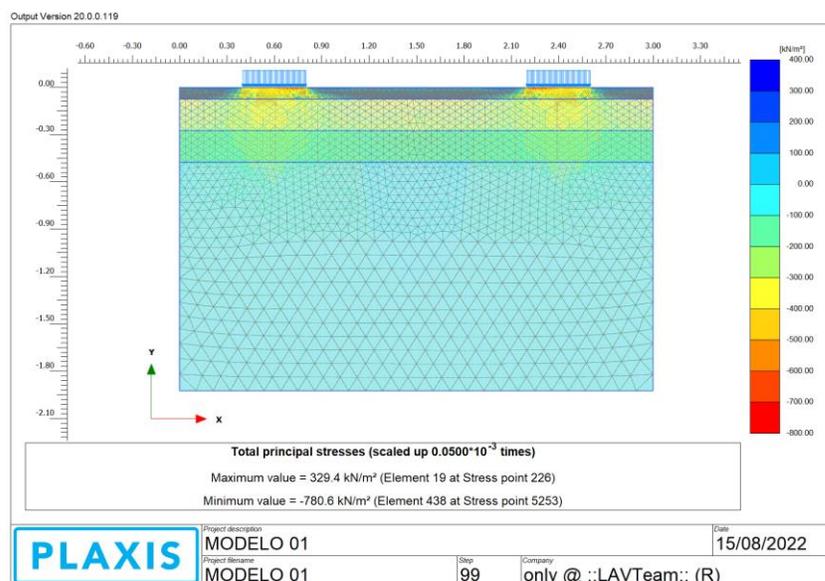
Desplazamientos totales sin refuerzo, Km. 56+480 al Km. 87+500



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Figura 54

Esfuerzos totales sin refuerzo, Km. 56+480 al Km. 87+500



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

4.4.2.2. Modelización numérica sin refuerzo del Km. 87+500 al Km. 95+805

Inicialmente, se precisan los parámetros empleados en la modelización numérica de la sección estructural de un pavimento flexible desde el km. 87+500 hasta el km. 95+805 del tramo Pariacoto – Yupash sin reforzamiento de geomallas biaxiales correspondiente a la vía Casma – Huaraz.

Tabla 79

Propiedades de los materiales sin refuerzo, Km. 87+500 al Km. 95+805

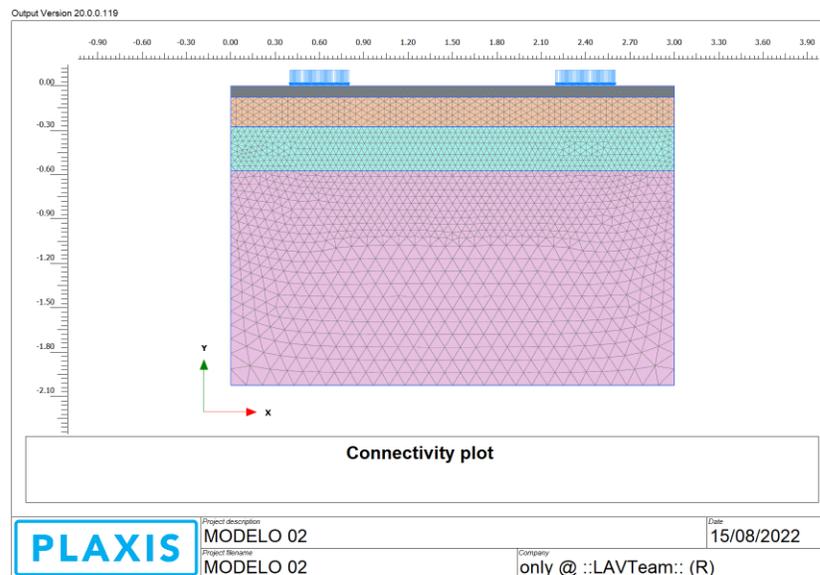
Tipo de Material		Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Tipo de suelo (SUCS)		-	GW	GW - GP	CL - ML
Modelo del material		Lineal elástico	Morh Coulomb	Morh Coulomb	Morh Coulomb
Espesor Modelo 2 (Sin geomalla)	(m)	0.075	0.20	0.30	1.45
Capacidad resistente (CBR)	(%)	-	80	40	10
Módulo de Elasticidad (E)	(kN/m ²)	296,500	198,479	108,873	100,000
Coefficiente de Poisson (ν)		0.40	0.35	0.35	0.26
Peso específico seco (PE seco)	(kN/m ³)	26.78	21.68	21.22	18.48
Peso específico saturado (PE sat)	(kN/m ³)	26.78	23.08	22.34	20.84
Cohesión (C)	(kN/m ²)	-	20.0	0	22.4
Ángulo de fricción (Ø)	(°)	-	40°	38°	32°
Ángulo de dilatación (ψ)	(°)	-	4°	3.8°	3.2°
Coefficiente de permeabilidad (K)	(k)	-	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁸

Nota: Elaboración propia del Autor.

En el software Plaxis 2D, en el ítem Soil se asignaron las propiedades de cada material que aparece en la Tabla 79, seguidamente en el ítem Structures del software se asignó la sección vertical geométrica del pavimento y se agregó la carga distribuida de 400 kN/m² por cada eje y en el ítem Mesh se discretizó por elementos finitos a través de un mallado o cuadrícula como se observa a través de la Figura 55.

Figura 55

Discretización del pavimento sin refuerzo, Km. 87+500 al Km. 95+805

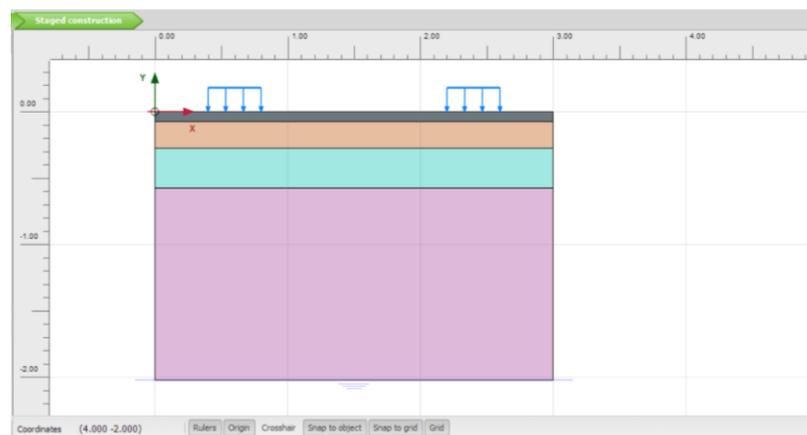


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Después se asignaron las condiciones iniciales conforme a la Figura 56 y luego se realizó la comprobación de las fases de construcción del Modelo 02 acorde la Figura 57.

Figura 56

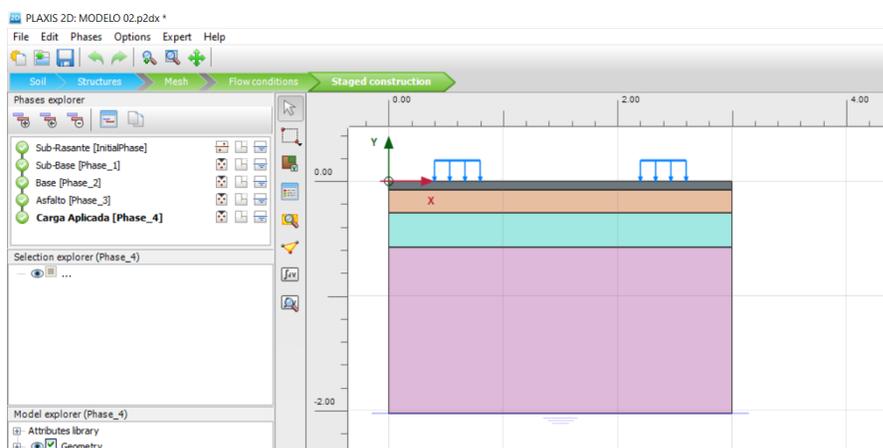
Condiciones iniciales pavimento sin refuerzo, Km. 87+500 al Km. 95+805



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor)

Figura 57

Comprobación de las fases de construcción, Km. 87+500 al Km. 95+805

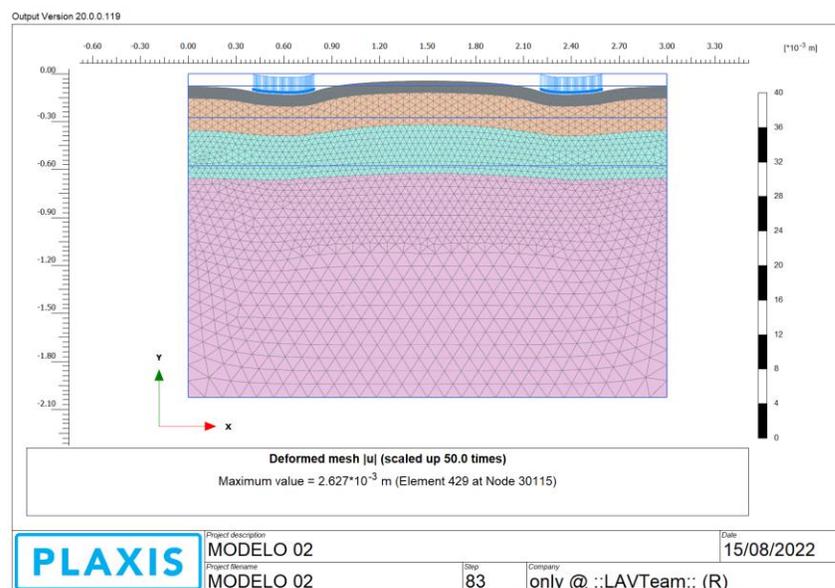


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Finalmente, se procedió a efectuar los cálculos respectivos y la entrega de reportes de deformaciones, desplazamientos y esfuerzos totales de dicho tramo.

Figura 58

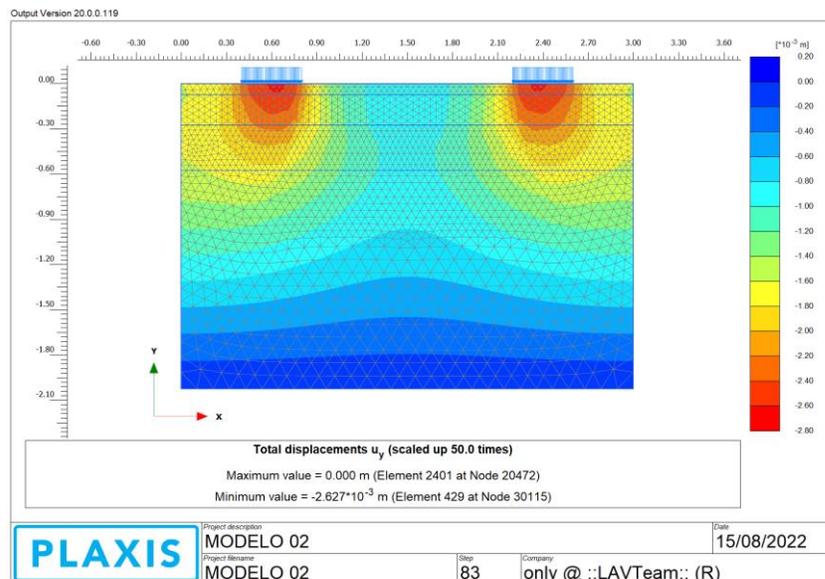
Deformaciones totales sin refuerzo, Km. 87+500 al Km. 95+805



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Figura 59

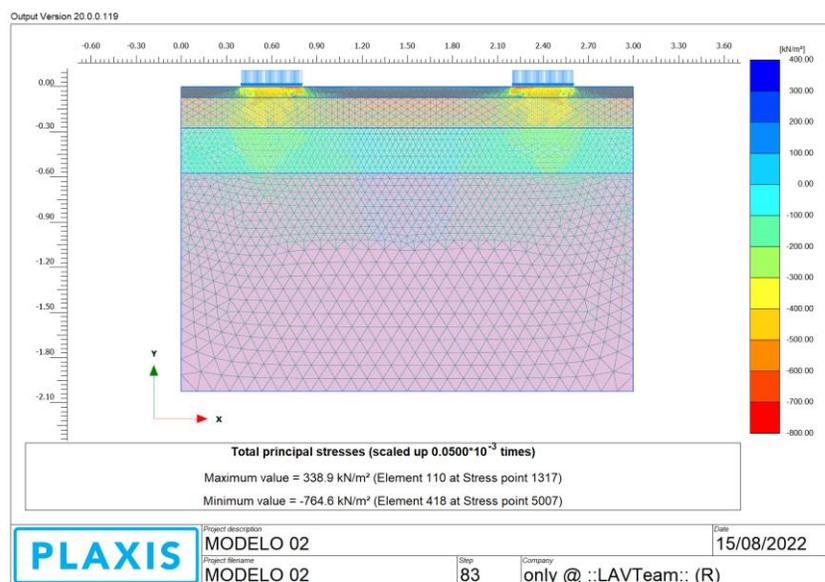
Desplazamientos totales sin refuerzo, Km. 87+500 al Km. 95+805



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Figura 60

Esfuerzos totales sin refuerzo, Km. 87+500 al Km. 95+805



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

4.4.3. MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS BIAXIALES

4.4.3.1. Modelización numérica con refuerzo del Km. 56+480 al Km. 87+500

La Tabla 80 presenta los parámetros utilizados para la modelización numérica del pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales del Km. 56+480 al Km. 87+500.

Tabla 80

Propiedades de materiales con reforzamiento, Km. 56+480 al Km. 87+500

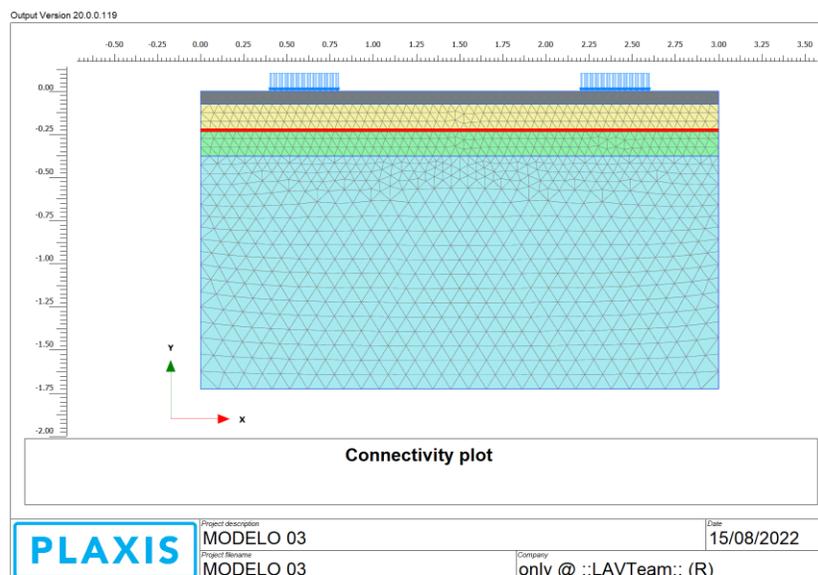
Tipo de Material		Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Tipo de suelo (SUCS)		-	GW	GW - GP	GM - GC/ SM - SC
Modelo del material		Lineal elástico	Morh Coulomb	Morh Coulomb	Morh Coulomb
Espesor Modelo 3 (Con geomalla)	(m)	0.075	0.15	0.15	1.35
Capacidad resistente (CBR)	(%)	-	80	40	17
Módulo de elasticidad (E)	(kN / m ²)	296,500	198,479	108,873	100,000
Coefficiente de poisson (ν)		0.40	0.35	0.35	0.27
Peso específico seco (PE seco)	(kN / m ³)	26.78	21.68	21.22	19.09
Peso específico saturado (PE sat)	(kN / m ³)	26.78	23.08	22.34	21.38
Cohesión (C)	(kN / m ²)	-	20.0	0	14.60
Ángulo de fricción (Ø)	(°)	-	40°	38°	33°
Ángulo de dilatación (ψ)	(°)	-	4°	3.8°	3.3°
Coefficiente de permeabilidad (K)	(k)	-	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶
		EA (kN/m)	ν		
Geomalla Biaxial BXSQ2020		20,000	0.25		
		(kN)	(kN)		
Carga aplicada al pavimento por eje		400	400		

Nota: Elaboración propia del Autor.

Ya en el interfaz del software Plaxis 2D, se asignaron las propiedades de cada material que aparece en la Tabla 80 y también se asignaron las propiedades elásticas de la Geomalla Biaxial en el interfaz de la base y sub base, se aplicó la carga distribuida por eje de 400 kN/m², luego el software Plaxis 2D grafico la sección vertical del modelo geométrico del pavimento con geomallas biaxiales y se discretizo por elementos finitos a través de un mallado o cuadrícula como se observa a través de la Figura 61.

Figura 61

Discretización con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 56+480 al Km. 87+500

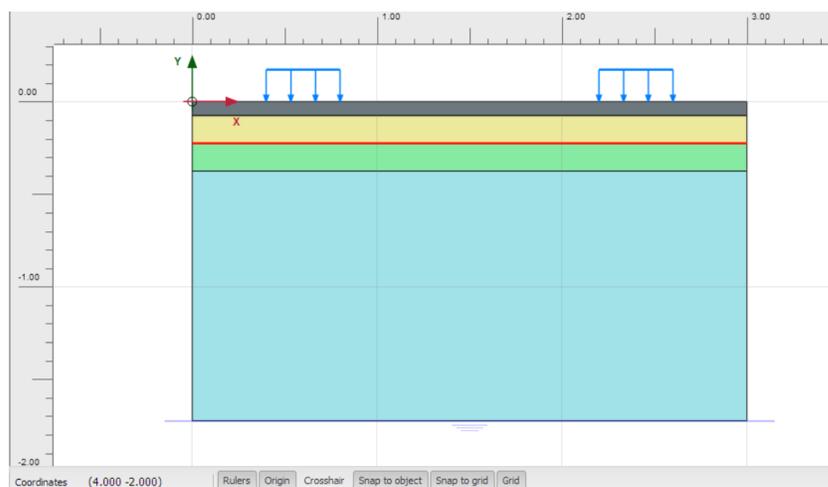


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Después se asignaron las condiciones iniciales conforme a la Figura 62 y luego se realizó la comprobación de las fases de construcción del Modelo 03 acorde la Figura 63.

Figura 62

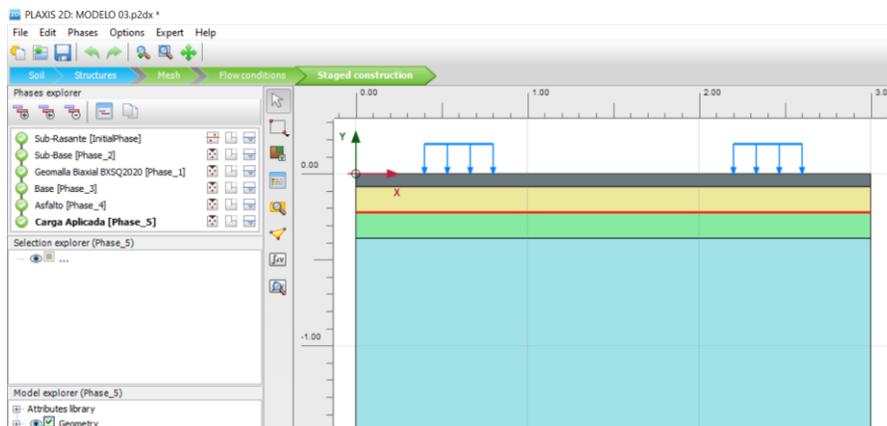
Condiciones iniciales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 56+480 al Km. 87+500



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Figura 63

Comprobación de fases con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 56+480 al Km. 87+500

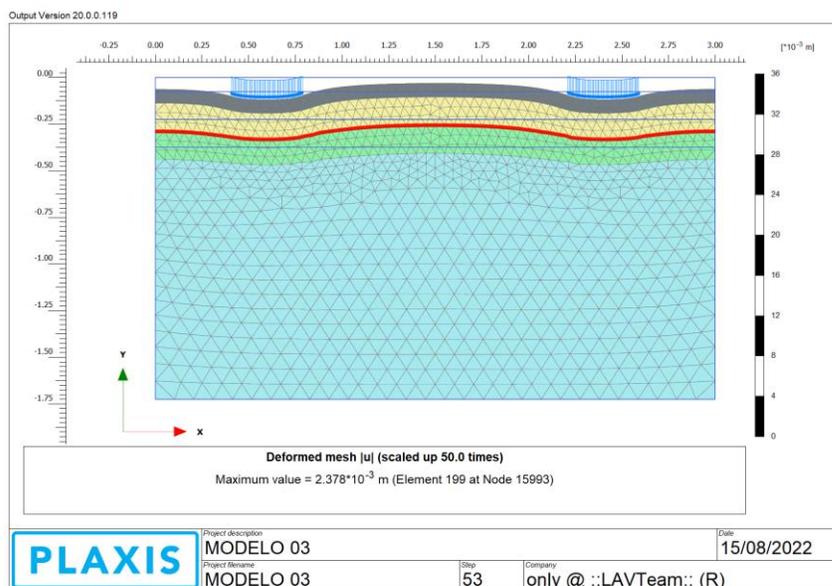


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Para la geomalla en la interfaz base y sub base se realizaron la entrega de cálculos y resultados de deformaciones, desplazamientos y esfuerzos totales.

Figura 64

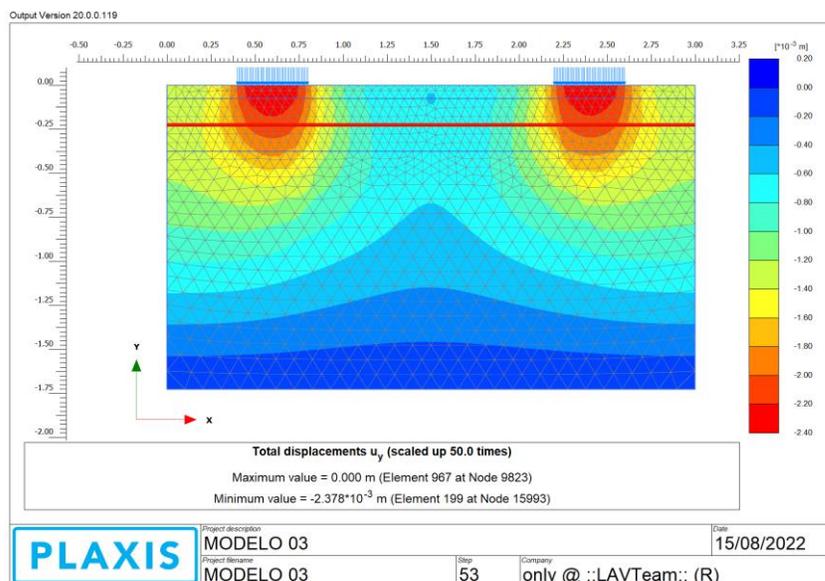
Deformaciones totales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 56+480 al Km. 87+500



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Figura 65

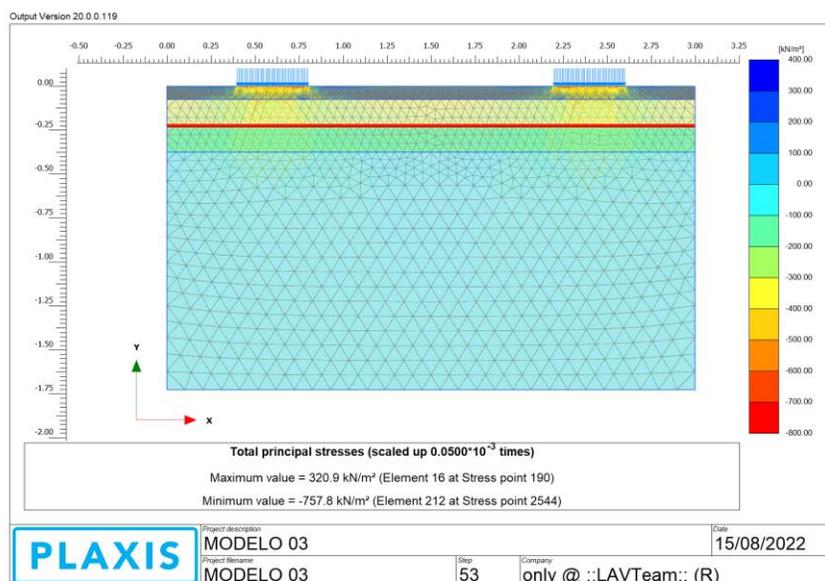
Desplazamientos totales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 56+480 al Km. 87+500



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Figura 66

Esfuerzos totales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 56+480 al Km. 87+500

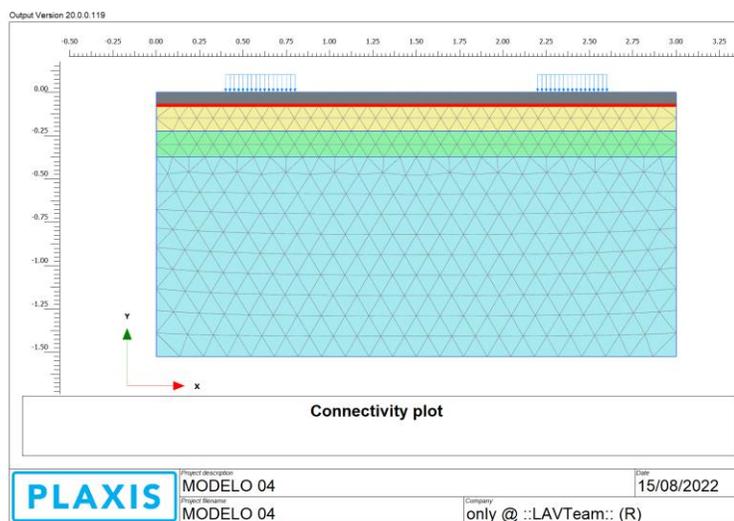


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Para la geomalla biaxial entre la capa de asfalto y la base se aplicó una carga distribuida de 400 kN/m² por eje, se graficó la sección vertical y se discretizo el modelo.

Figura 67

Discretización con refuerzo (Asfalto – Base), Km. 56+480 al Km. 87+500

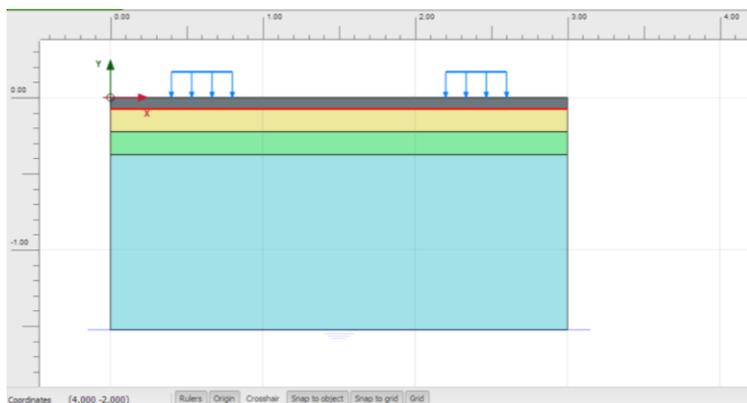


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Se asignaron las condiciones iniciales conforme a la Figura 68 y luego se realizó la comprobación de las fases de construcción del Modelo 04 acorde la Figura 69.

Figura 68

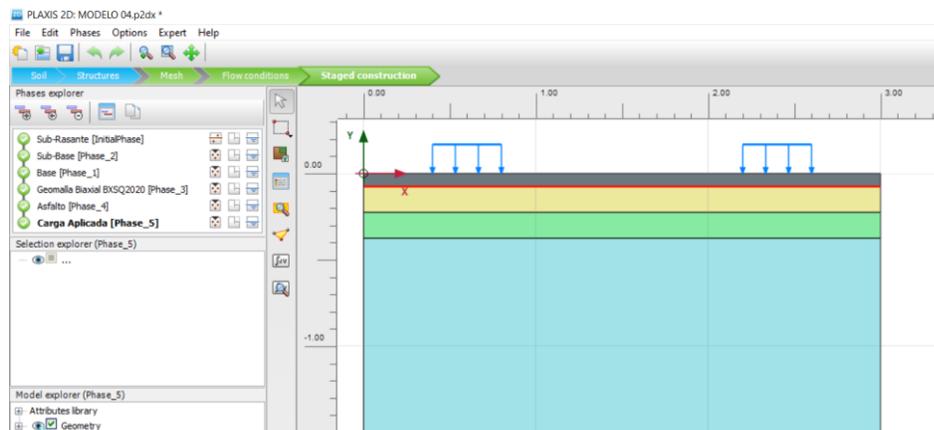
Condiciones iniciales con refuerzo (Asfalto – Base), Km. 56+480 al Km. 87+500



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Figura 69

Comprobación de fases con refuerzo (Asfalto – Base), Km. 56+480 al Km. 87+500

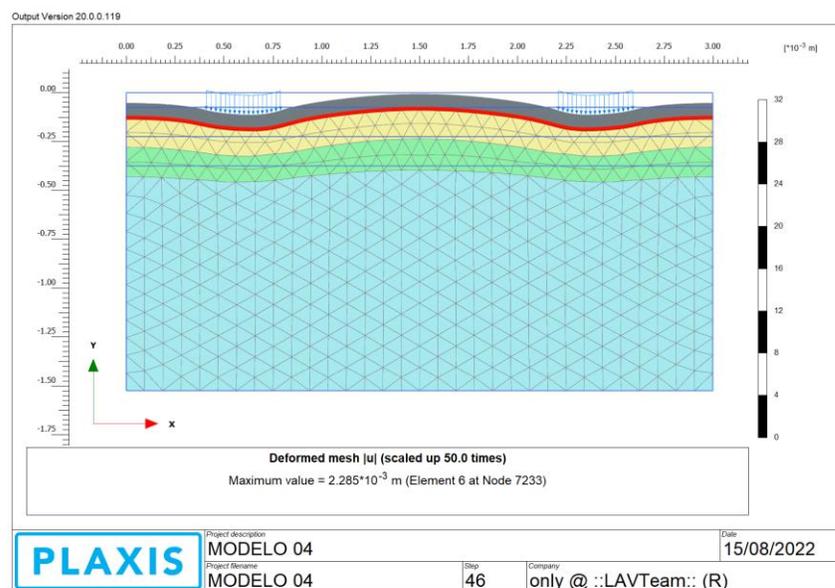


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Para la geomalla entre el Asfalto y la Base, se procedió a realizar los cálculos y la entrega de resultados de deformaciones, desplazamientos y esfuerzos totales.

Figura 70

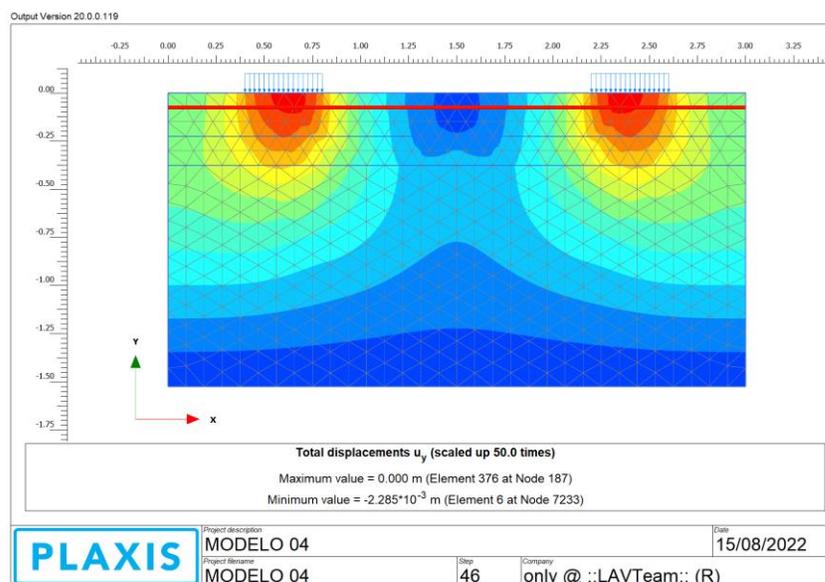
Deformaciones totales con refuerzo (Asfalto - Base), Km. 56+480 al Km. 87+500



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D, Geomalla entre el Asfalto y la Base.

Figura 71

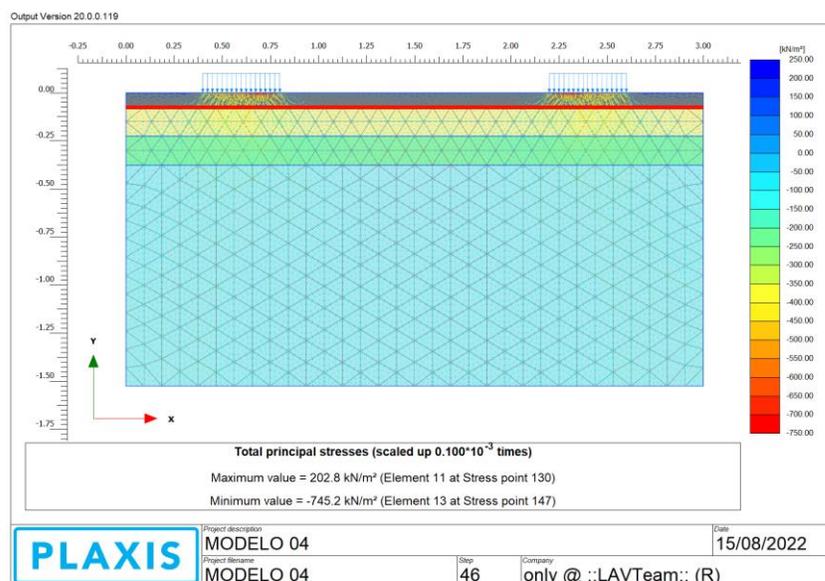
Desplazamientos totales con refuerzo (Asfalto - Base), Km. 56+480 al Km. 87+500



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D, Geomalla entre el Asfalto y la Base.

Figura 72

Esfuerzos totales con refuerzo (Asfalto - Base), Km. 56+480 al Km. 87+500



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D, Geomalla entre el Asfalto y la Base.

4.4.3.2. Modelización numérica con refuerzo del Km. 87+500 al Km. 95+805

La Tabla 81 presenta los parámetros utilizados para la modelización numérica del pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales del Km. 87+500 al Km. 95+805.

Tabla 81

Propiedades de materiales con reforzamiento, Km. 87+500 al Km. 95+805

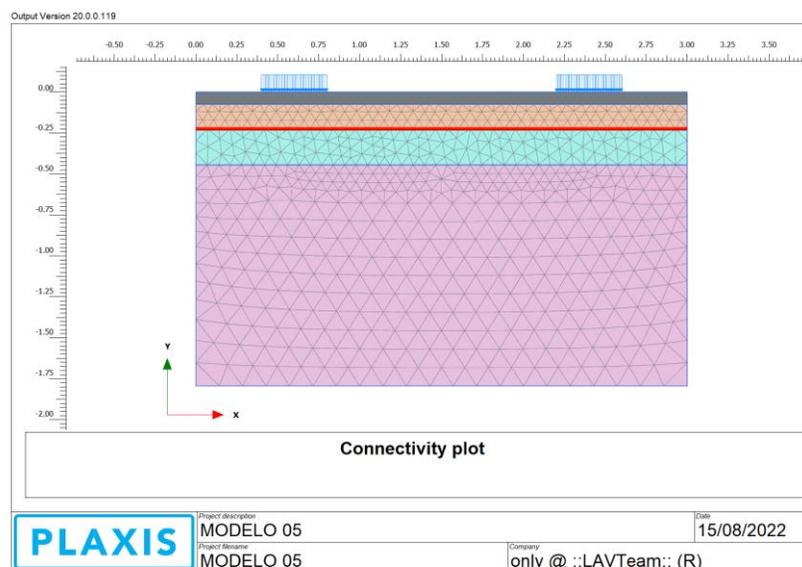
Tipo de Material		Asfalto	Base	Sub Base	Subrasante
Tipo de suelo (SUCS)		-	GW	GW - GP	CL - ML
Modelo del material		Lineal elástico	Morh Coulomb	Morh Coulomb	Morh Coulomb
Espesor Modelo 5 (Con geomalla)	(m)	0.075	0.15	0.22	1.35
Capacidad resistente (CBR)	(%)	-	80	40	10
Módulo de elasticidad (E)	(kN / m ²)	296,500	198,479	108,873	100,000
Coefficiente de poisson (ν)		0.40	0.35	0.35	0.26
Peso específico seco (PE seco)	(kN / m ³)	26.78	21.68	21.22	18.48
Peso específico saturado (PE sat)	(kN / m ³)	27.11	23.08	22.34	20.84
Cohesión (C)	(kN / m ²)	-	20.0	0	22.40
Ángulo de fricción (Ø)	(°)	-	40°	38°	32°
Ángulo de dilatación (ψ)	(°)	-	4°	3.8°	3.2°
Coefficiente de permeabilidad (K)	(k)	-	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁸
		EA (kN/m)	ν		
Geomalla Biaxial BXSQ2020		20,000	0.25		
		(kN)	(kN)		
Carga aplicada al pavimento por eje		400	400		

Nota: Elaboración propia del Autor.

Ya en el interfaz del software Plaxis 2D, se asignaron las propiedades de cada material o componente que se detallan en la Tabla 81 y las propiedades elásticas de la Geomalla Biaxial en medio de la base y sub base, se aplicó la carga distribuida por eje de 400 kN/m², luego el software Plaxis 2D grafico la sección vertical del modelo geométrico del pavimento con geomallas biaxiales y se discretizo por elementos finitos a través de un mallado o cuadrícula como se observa a través de la Figura 73.

Figura 73

Discretización con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 87+500 al Km. 95+805

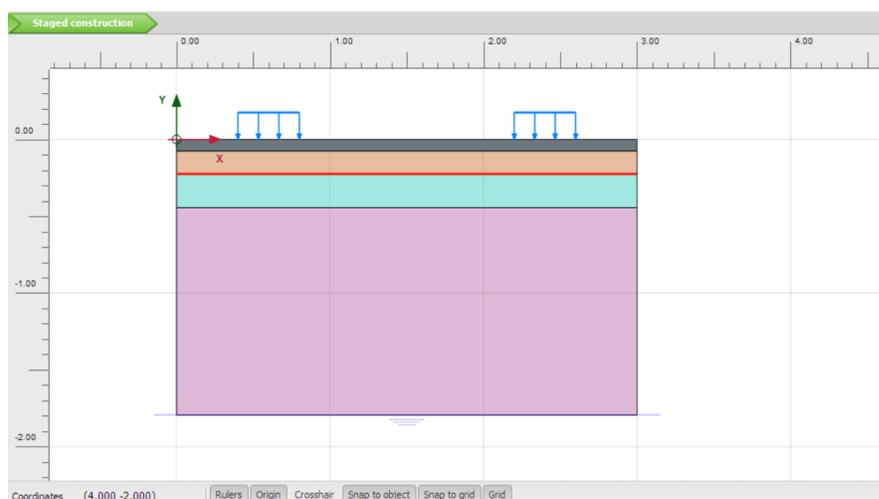


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Después se asignaron las condiciones iniciales conforme a la Figura 74 y luego se realizó la comprobación de las fases de construcción del Modelo 05 acorde la Figura 75.

Figura 74

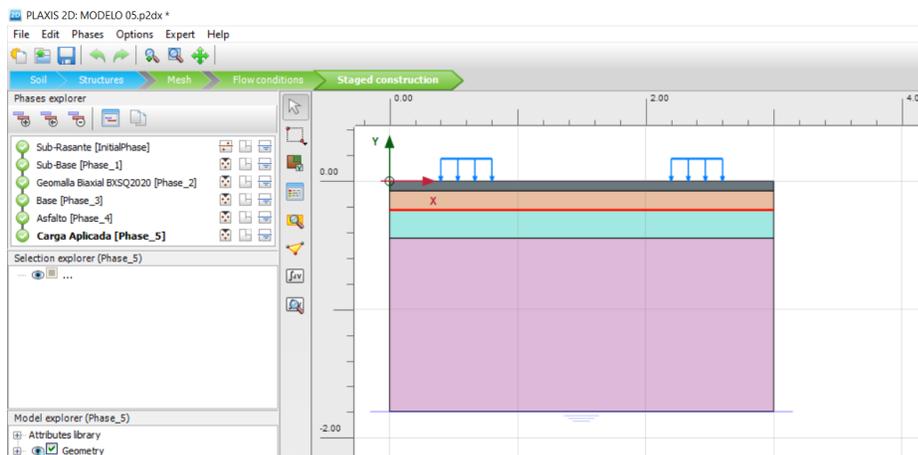
Condiciones iniciales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 87+500 al Km. 95+805



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Figura 75

Comprobación de fases con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 87+500 al Km. 95+805

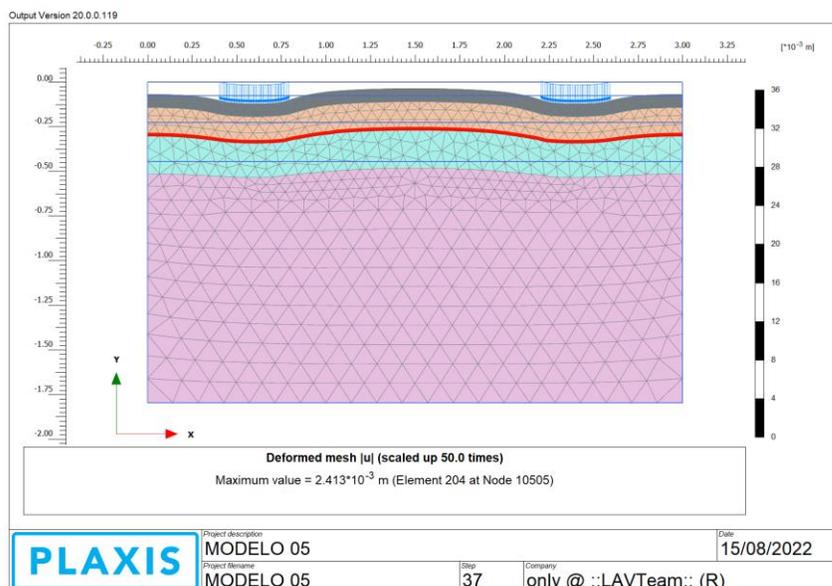


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Para la geomalla entre la base y sub base se realizaron la entrega de cálculos y resultados de deformaciones, desplazamientos y esfuerzos totales.

Figura 76

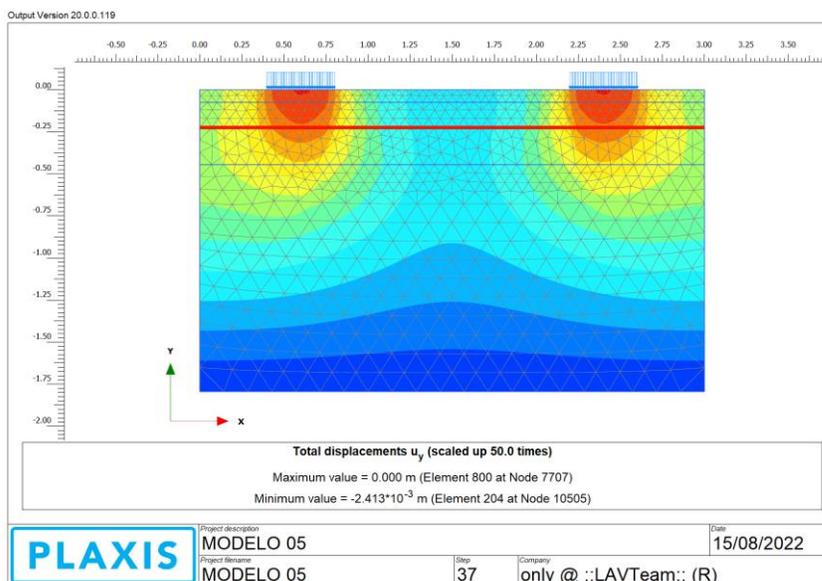
Deformaciones totales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 87+500 al Km. 95+805



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Figura 77

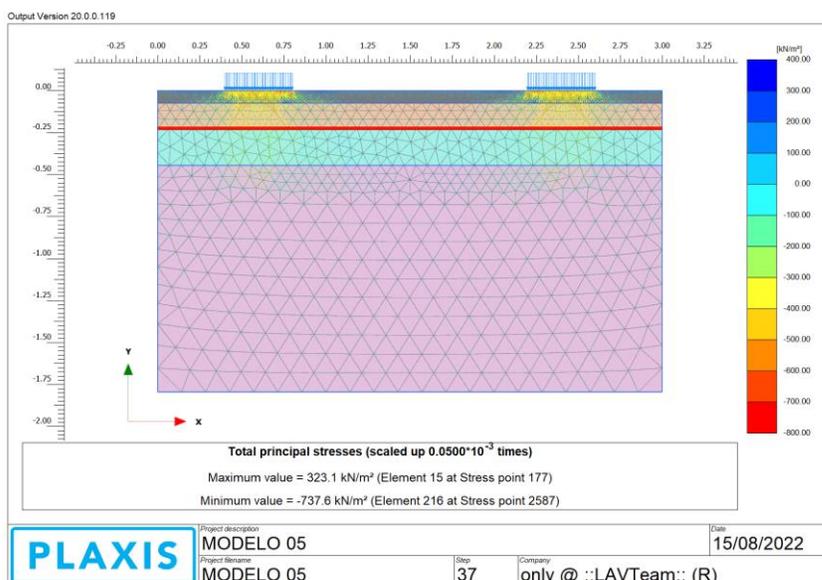
Desplazamientos totales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 87+500 al Km. 95+805



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Figura 78

Esfuerzos totales con refuerzo (Base – Sub Base), Km. 87+500 al Km. 95+805

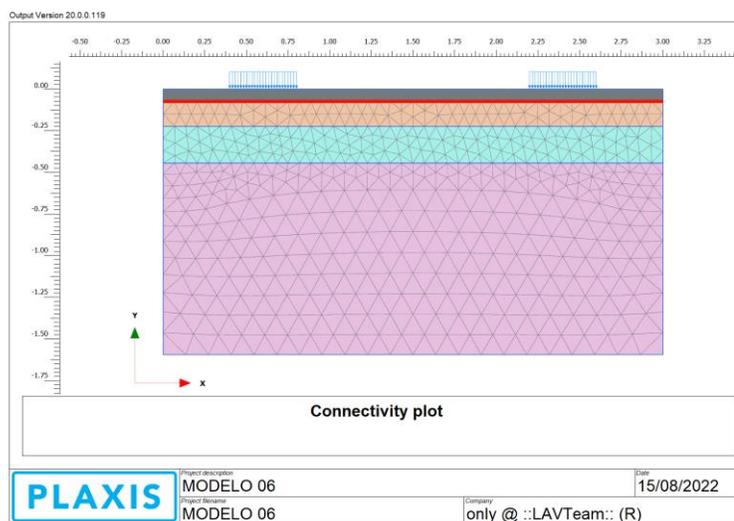


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Para la geomalla biaxial entre la capa de asfalto y la base se aplicó una carga de 400 kN/m² por eje, se graficó la sección vertical y se discretizó el Modelo 06.

Figura 79

Discretización con refuerzo (Asfalto – Base), Km. 87+500 al Km. 95+805

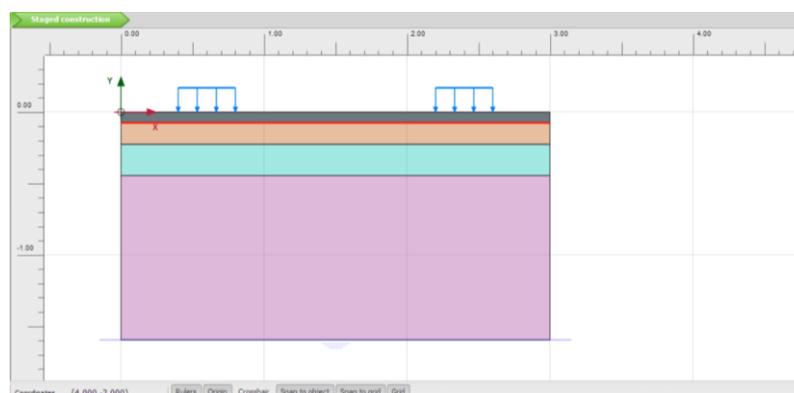


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Se asignaron las condiciones iniciales conforme a la Figura 80 y luego se realizó la comprobación de las fases de construcción del Modelo 06 acorde la Figura 81.

Figura 80

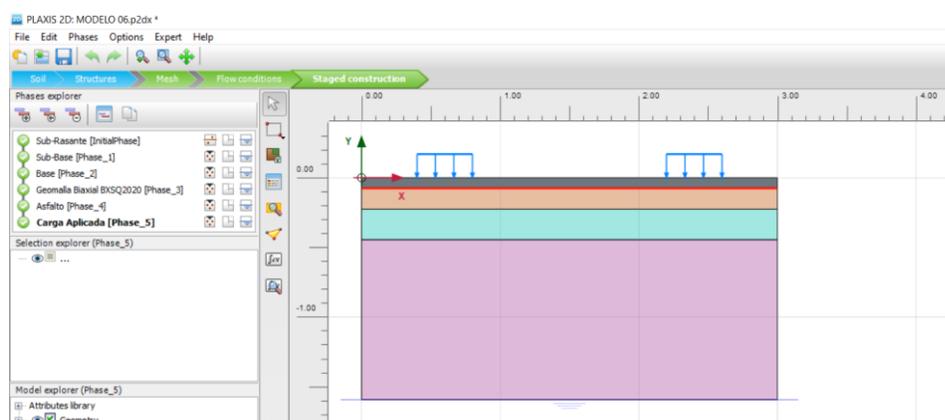
Condiciones iniciales con refuerzo (Asfalto – Base), Km. 87+500 al Km. 95+805



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Figura 81

Comprobación de fases con refuerzo (Asfalto – Base), Km. 87+500 al Km. 95+805

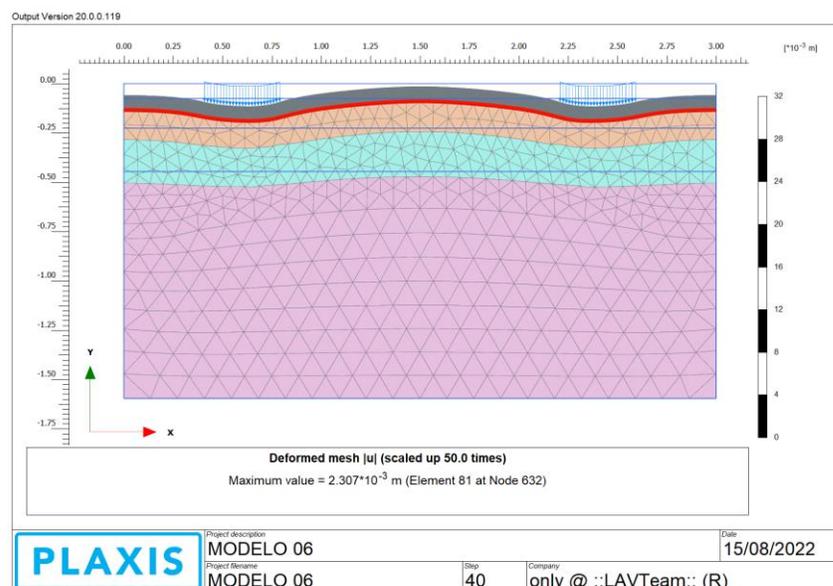


Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D (El Autor).

Para la geomalla entre el Asfalto y la Base, se procedió a realizar los cálculos y la entrega de resultados de deformaciones, desplazamientos y esfuerzos totales.

Figura 82

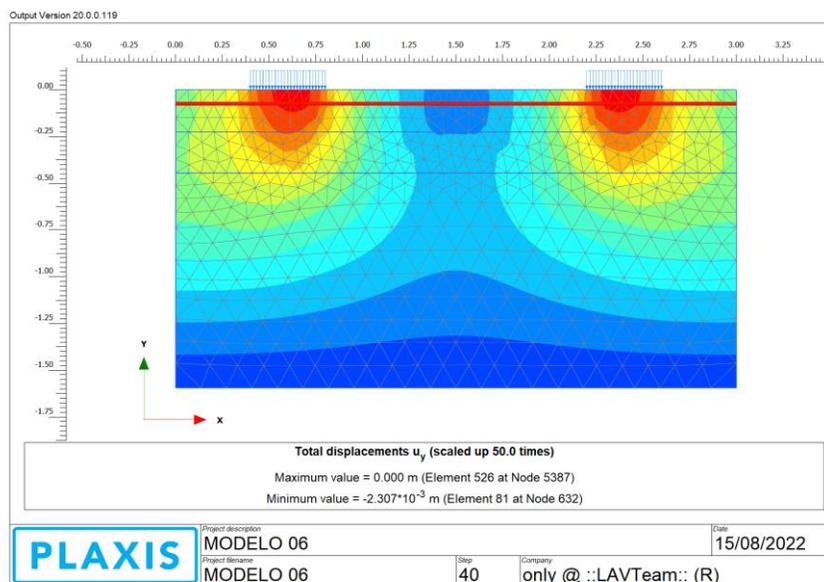
Deformaciones totales con refuerzo (Asfalto - Base), Km. 87+500 al Km. 95+805



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D, Geomalla entre el Asfalto y la Base.

Figura 83

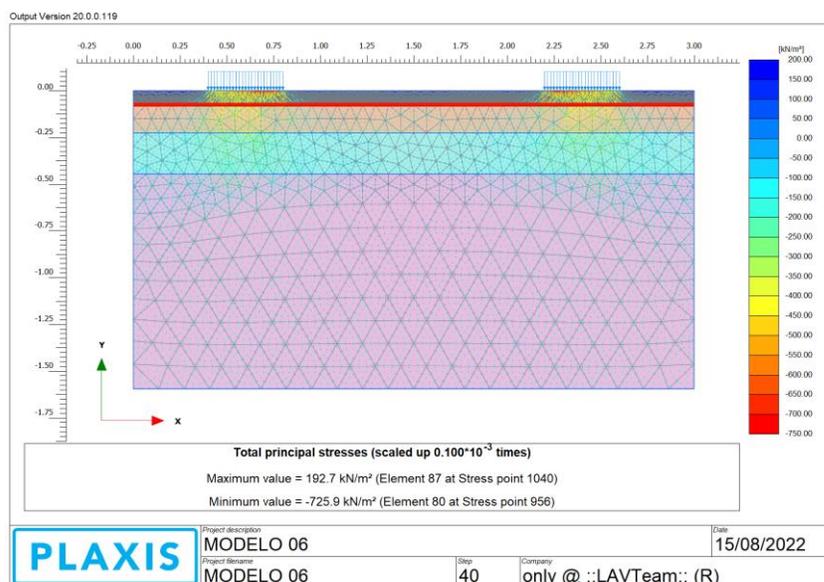
Desplazamientos totales con refuerzo (Asfalto - Base), Km. 87+500 al Km. 95+805



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D, Geomalla entre el Asfalto y la Base.

Figura 84

Esfuerzos totales con refuerzo (Asfalto - Base), Km. 87+500 al Km. 95+805



Nota: Obtenido del Software Plaxis 2D, Geomalla entre el Asfalto y la Base.

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. RESULTADOS DEL DISEÑO

5.1.1. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE SIN GEOMALLAS

BIAXIALES

A continuación, se presenta la Tabla 82 con resultados de espesores de cada componente estructural del pavimento flexible del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma – Huaraz determinado según procedimientos del método AASHTO 93.

Tabla 82

Espesores finales según AASHTO 93

Descripción:	Tramo Pariacoto - Yupash (AASHTO 93)	
	Km. 56+480 al Km. 87+500	Km. 87+500 al Km. 95+805
Capa de Asfalto (cm)	7.5	7.5
Capa Base (cm)	20	20
Capa Sub Base (cm)	20	30

Nota: Elaboración propia del Autor.

5.1.2. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS

BIAXIALES

A continuación, se presenta la Tabla 83 (Sector 01) y la Tabla 84 (Sector 02) con resultados de espesores de cada componente estructural del pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma – Huaraz determinado según procedimientos del método AASHTO R-50.

Tabla 83

Espesores finales del Km. 56+480 al Km. 87+500 según AASHTO R-50

Tramo Pariacoto - Yupash, Km. 56+480 al Km. 87+500		
Descripción:	AASHTO R-50 “LCR”	AASHTO R-50 “TBR”
Capa de Asfalto (cm)	7.5	7.5
Capa Base (cm)	15	15
Capa Sub Base (cm)	15	15

Nota: Se verifica la disminución del espesor del pavimento por la incorporación de una geomalla biaxial (El Autor).

Tabla 84

Espesores finales del Km. 87+500 al Km. 95+805 según AASHTO R-50

Tramo Pariacoto - Yupash, Km. 87+500 al Km. 95+805		
Descripción:	AASHTO R-50 “LCR”	AASHTO R-50 “TBR”
Capa de Asfalto (cm)	7.5	7.5
Capa Base (cm)	15	15
Capa Sub Base (cm)	22	21

Nota: Se verifica la disminución del espesor del pavimento por la incorporación de una geomalla biaxial (El Autor).

También se presenta resultados del espesor obtenido para la base granulada en pavimentos sin refuerzo y con refuerzo de geomallas según la Metodología Giroud y Han que se aplicó en el tramo más crítico de la vía Pariacoto – Yupash, Km. 87+500 al Km. 95+80, los valores se presentan apropiadamente en el contenido de la Tabla 85.

Tabla 85

Espesores finales del tramo más crítico según Giroud y Han

Km. 87+500 al Km. 95+805 (Según Giroud y Han)		
Base Granular de la vía:	(m)	(cm)
Sin geomalla biaxial reforzada	0.565	57
Con geomalla biaxial reforzada	0.410	41

Nota: Se verifica la reducción del espesor de la base granular del tramo más crítico del tramo Pariacoto - Yupash.

5.2. RESULTADOS DE LA MODELIZACIÓN NUMÉRICA

5.2.1. MODELO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE SIN GEOMALLAS BIAXIALES

Seguidamente, se presenta un contenido sintetizado de resultados de deformaciones, desplazamientos, esfuerzos máximos y esfuerzos mínimos del pavimento flexible sin geomallas biaxiales del tramo Pariacoto – Yupash determinados en el software Plaxis 2D, dichos valores se presentan en el contenido de la Tabla 86.

Tabla 86

Resultados del Modelo 01 y Modelo 02 sin reforzamiento

	Modelo 01	Modelo 02
Descripción:	Km. 56+480 al Km. 87+500	Km. 87+500 al Km. 95+805
Deformación (m)	2.588E-03	2.627E-03
Desplazamiento vertical (m)	-2.588E-03	-2.627E-03
Esfuerzo máximo (kN/m ²)	329.4	338.9
Esfuerzo mínimo (kN/m ²)	-780.6	-764.6

Nota: Elaboración propia del Autor.

5.2.2. MODELO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS

BIAXIALES

Finalmente, se presenta un contenido sintetizado de resultados de deformaciones, desplazamientos, esfuerzos máximos y esfuerzos mínimos del pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales del tramo Pariacoto – Yupash determinados en el software Plaxis 2D, dichos valores se presentan en el contenido de la Tabla 87 y Tabla 88 teniendo en cuenta la ubicación asignada de la geomalla.

Tabla 87

Resultados del Modelo 03 y Modelo 04 con reforzamiento

Km. 56+480 al Km. 87+500		
	Modelo 03	Modelo 04
Ubicación de geomalla:	Entre Base y Sub base	Entre Asfalto y Base
Deformación (m)	2.378E-03	2.285E-03
Desplazamiento vertical(m)	-2.378E-03	-2.285E-03
Esfuerzo máximo (kN/m ²)	320.9	202.8
Esfuerzo mínimo (kN/m ²)	-757.8	-745.2

Nota: Elaboración propia del Autor.

Tabla 88

Resultados del Modelo 05 y Modelo 06 con reforzamiento

Km. 87+500 al Km. 95+805		
	Modelo 05	Modelo 06
Ubicación de geomalla:	Entre Base y Sub base	Entre Asfalto y Base
Deformación (m)	2.413E-03	2.307E-03
Desplazamiento vertical(m)	-2.413E-03	-2.307E-03
Esfuerzo máximo (kN/m ²)	323.1	192.7
Esfuerzo mínimo (kN/m ²)	-737.6	-725.9

Nota: Elaboración propia del Autor.

5.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo al “Expediente técnico definitivo de rehabilitación y mejoramiento del tramo: Pariacoto – Yupash, carretera Casma – Huaraz” realizado por Provias Nacional que pertenece al Órgano Ejecutivo (MTC) en el año 2008 el número equivalente de repetición EAL (8.2 tn) para 20 años de diseño fue $9.91E+05$ y para el actual estudio realizado en el año 2022 el número equivalente de repetición EAL (8.2 tn) para 20 años de diseño es $4.134E+06$, evidenciándose un notablemente crecimiento del tráfico vehicular en dicha carretera.

La aplicación de procedimientos según la Metodología AASHTO 93 descrita por el Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos nos permitió determinar el espesor de cada componente del pavimento sin reforzamiento y se realizó una comparación con los espesores obtenidos en el “Expediente técnico definitivo de rehabilitación y mejoramiento del tramo: Pariacoto – Yupash”, los valores se expresan en el contenido de la Tabla 89 a continuación.

Tabla 89

Comparación de espesores, según AASHTO 93

Descripción:	Tramo Pariacoto - Yupash			
	Diseño según el Expediente Técnico		Diseño según el Autor	
	Km. 56+480 al Km. 87+500	Km. 87+500 al Km. 95+805	Km. 56+480 al Km. 87+500	Km. 87+500 al Km. 95+805
Capa de Asfalto (cm)	7.5	7.5	7.5	7.5
Capa Base (cm)	15	15	20	20
Capa Sub Base (cm)	15	20	20	30
SNPropuesto	2.700	3.008	3.255	3.725

Nota: Elaboración propia del Autor.

Según la Metodología AASHTO R-50, se determinó el espesor de cada componente que configuran el pavimento con reforzamiento de geomallas biaxiales y se realizó una comparación con los espesores obtenidos de acuerdo a la Metodología AASHTO 93.

Tabla 90

Comparación de espesores, según AASHTO 93 y AASHTO R-50

Descripción:	Tramo Pariacoto - Yupash					
	AASHTO 93		AASHTO R-50 "LCR"		AASHTO R-50 "TBR"	
	Km. 56+480 al Km. 87+500	Km. 87+500 al Km. 95+805	Km. 56+480 al Km. 87+500	Km. 87+500 al Km. 95+805	Km. 56+480 al Km. 87+500	Km. 87+500 al Km. 95+805
Capa de Asfalto (cm)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Capa Base (cm)	20	20	15	15	15	15
Capa Sub Base (cm)	20	30	15	22	15	21

Nota: Elaboración propia del Autor.

Como se puede observar, al incorporar una geomalla biaxial a la configuración de un pavimento permite reducir el espesor en capas granulares como Base y Sub Base, además se optó por mantener constante el espesor de la capa de asfalto como parte del diseño y recomendaciones realizadas por otros autores.

- En el km 56+480 al Km. 87+500, con la incorporación de la Geomalla Biaxial BXSQ2020 se ha reducido el espesor en la Base de 20 cm a 15 cm, también la Sub Base de un espesor de 20 cm a 15 cm.
- En el km 87+500 al Km. 95+805, con la incorporación de la Geomalla Biaxial BXSQ2020 se ha reducido el espesor en la Base de 20 cm a 15 cm, también la Sub Base de un espesor de 30 cm a 22 cm para un enfoque de diseño con "LCR" y un espesor de 21 cm para un diseño con "TBR".

Para la reducción del espesor en la configuración del pavimento, el enfoque de diseño consideró la geomalla biaxial en el interfaz Base y Sub Base, sin embargo, durante el proceso modelización numérica se colocó la geomalla en distintas posiciones para observar cómo varían las deformaciones, desplazamientos y esfuerzos máximos y mínimos. Los resultados y las correspondientes comparaciones de cada modelo sin y con refuerzo de geomalla biaxial se presentan a continuación:

Tabla 91

Comparación de resultados, Modelo 01 con Modelo 03 y Modelo 04

	Km. 56+480 al Km. 87+500		
	Modelo 01	Modelo 03	Modelo 04
Ubicación de la Geomalla:	Sin geomalla biaxial	Entre la Base y Sub Base	Entre el Asfalto y la Base
Deformación (m)	2.588E-03	2.378E-03	2.285E-03
Desplazamiento vertical (m)	-2.588E-03	-2.378E-03	-2.285E-03
Esfuerzo máximo (kN/m ²)	329.4	320.9	202.8
Esfuerzo mínimo (kN/m ²)	-780.6	-757.8	-745.2

Nota: Elaboración propia del Autor.

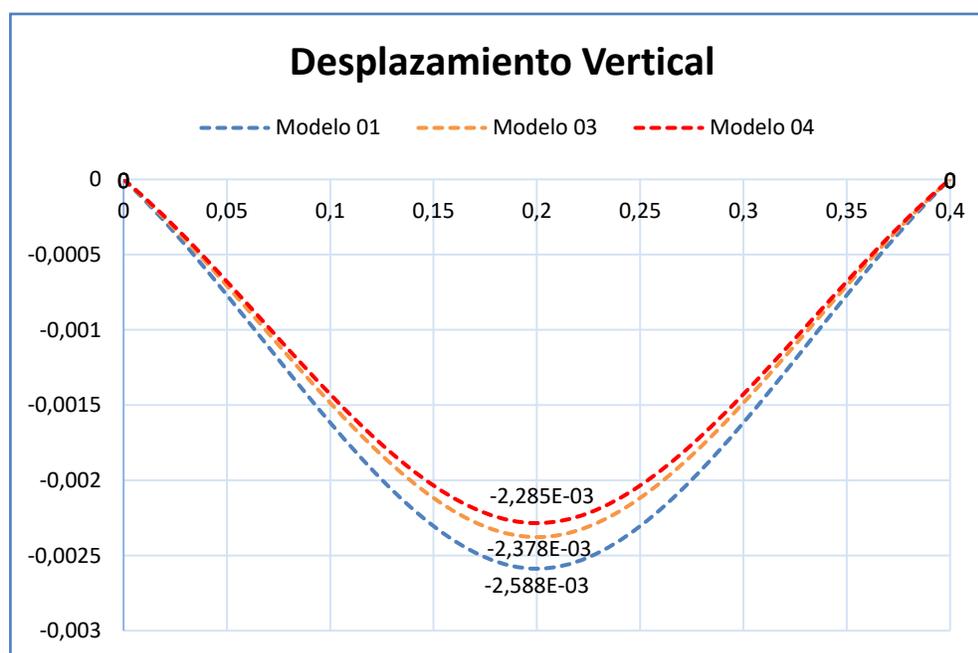
- Al aplicar una carga de 400 kN/m² por eje, para el Modelo 01 sin reforzamiento se tiene como desplazamiento vertical -2.588 mm, para el Modelo 03 al incorporar la geomalla en el interfaz Base y Sub base se tiene como desplazamiento vertical -2.378 mm, y finalmente para el Modelo 04 al incorporar la geomalla entre el Asfalto y la Base se tiene como desplazamiento vertical -2.285 mm, donde se puede apreciar que al reforzar el pavimento la deformación y el desplazamiento vertical disminuyen.
- En el Modelo 01 sin reforzamiento se tiene un esfuerzo máximo de 329.4 kN/m², en el Modelo 03 al incorporar la geomalla en el interfaz Base y Sub base se tiene

un esfuerzo máximo de 320.9 kN/m², y finalmente en el Modelo 04 al incorporar la geomalla entre el Asfalto y la Base se tiene un esfuerzo máximo de 202.8 kN/m², donde se puede apreciar que al reforzar el pavimento los esfuerzos máximos y mínimos disminuyen.

Los valores de desplazamientos verticales fueron establecidos en la Figura 85, basados en el modelo de cada configuración estructural del pavimento.

Figura 85

Desplazamiento vertical máximo, Km. 56+480 al Km. 87+500



Nota: Elaboración propia del Autor.

Seguidamente, se muestra la Tabla 92 con los resultados de deformaciones, desplazamientos verticales, esfuerzos máximos y mínimos para cada modelo del km. 87+500 al km. 95+805 del Tramo Pariacoto – Yupash.

Tabla 92

Comparación de resultados, Modelo 02 con Modelo 05 y Modelo 06

	Km. 87+500 al Km. 95+805		
	Modelo 02	Modelo 05	Modelo 06
Ubicación de la Geomalla:	Sin geomalla biaxial	Entre la Base y Sub Base	Entre el Asfalto y la Base
Deformación (m)	2.627E-03	2.413E-03	2.307E-03
Desplazamiento vertical (m)	-2.627E-03	-2.413E-03	-2.307E-03
Esfuerzo máximo (kN/m ²)	338.9	323.1	192.7
Esfuerzo mínimo (kN/m ²)	-764.6	-737.6	-725.9

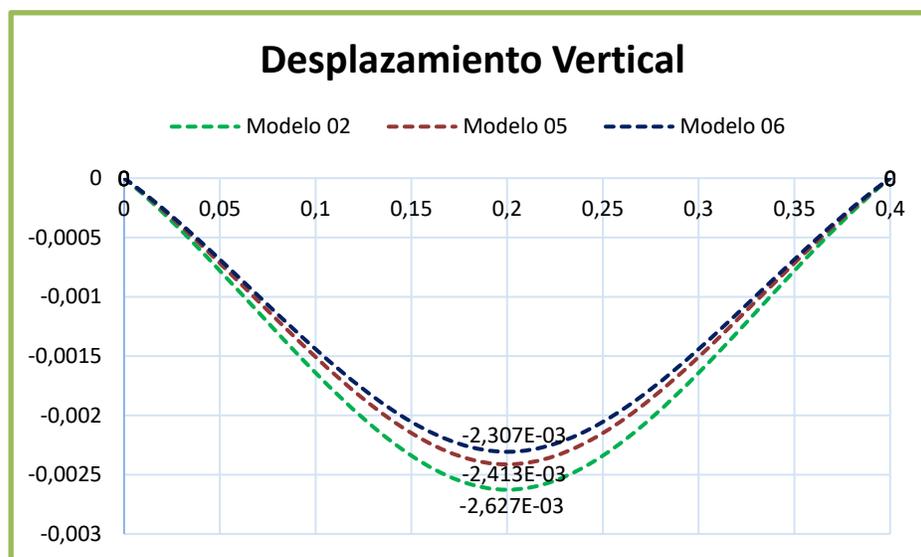
Nota: Elaboración propia del Autor.

- Para una carga de 400 kN/m² por eje para el Modelo 02 sin reforzamiento se tiene como desplazamiento vertical -2.627 mm, para el Modelo 05 con la geomalla en el interfaz Base y Sub base se tiene como desplazamiento vertical -2.413 mm, y finalmente para el Modelo 06 con la geomalla entre el Asfalto y la Base se tiene como desplazamiento vertical -2.307 mm, se puede apreciar que al reforzar el pavimento la deformación y el desplazamiento vertical disminuye.
- Para Modelo 02 sin reforzamiento se tiene un esfuerzo máximo de 338.9 kN/m², para el Modelo 05 con la geomalla en el interfaz Base y Sub base se tiene un esfuerzo máximo de 323.1 kN/m², y finalmente para el Modelo 06 con la geomalla entre el Asfalto y la Base se tiene un esfuerzo máximo de 192.7 kN/m², donde se puede apreciar que al reforzar el pavimento los esfuerzos máximos y mínimos disminuyen.

Los valores de desplazamientos verticales fueron establecidos en la Figura 86, basados en el modelo de cada configuración estructural del pavimento.

Figura 86

Desplazamiento vertical máximo, Km. 87+500 al Km. 95+805



Nota: Elaboración propia del Autor.

Finalmente, de la Figura 85 y la Figura 86, podemos apreciar que existe una mayor reducción del desplazamiento vertical en el Modelo 04 y Modelo 06 que incluyen a la geomalla biaxial entre el Asfalto y la Base, esto se debe a la existencia de un material de separación (Geomalla biaxial BXSQ2020) el cual permite conservar la resistencia del material granular al impedir la migración de partículas finas y permite distribuir adecuadamente los esfuerzos en la estructura.

5.4. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

5.4.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS GENERAL PLANTEADA

- La modelización numérica con el software Plaxis 2D y diseño del espesor de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales con AASHTO 93 y AASHTO R-50 ha servido para verificar que efectivamente al reforzar el

pavimento flexible con una geomalla biaxial **influye en la reducción del espesor** de cada componente del pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz, validando así nuestra hipótesis general.

5.4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS PLANTEADAS

- 1. Existen parámetros de diseño relevantes como el Número de repetición EE (ESAL), CBR de la Sub-rasante, Resistencia a tracción de la geomalla biaxial BXSQ2020, Coeficiente LCR, TBR entre otros** que influyen relevantemente en la Modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz, validando así nuestra hipótesis específica 01.
- 2. El espesor del pavimento se reduce notablemente con la incorporación de la geomalla biaxial BXSQ2020**, mediante la Modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz, validando así nuestra hipótesis específica 02.
- 3. El uso del Software Plaxis 2D permite mostrar adecuadamente valores de deformaciones, desplazamientos, esfuerzos máximos y mínimos** por medio de la Modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz, validando así nuestra hipótesis específica 03.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a la modelización numérica y diseño del espesor de cada componente del pavimento flexible, se tiene que al reforzar el pavimento con una geomalla biaxial BXSQ2020 Tipo A influye considerablemente en la reducción del espesor en el pavimento en un 25% para el diseño con “LCR” y en un 30% para un diseño con “TBR”, además de aumentar la resistencia a la tensión del pavimento y generar una mejor distribución de esfuerzos bajo una carga vertical.
2. Los parámetros de diseño son relevantes en la modelización numérica y diseño del espesor del pavimento flexible puesto que influyen de manera directa, del Estudio de tránsito vehicular se tiene el Número de repetición EAL (8.2 tn) de $4.134E+06$, del Estudio de suelos se logró obtener el CBR y el tipo de suelo. El Km. 56+480 al Km. 87+500 presenta un 17.0% de CBR y una distribución de material de gravas limosos arcillosos (GM - GC/SM – SC) y el Km. 87+500 al Km. 95+805 presenta un 10.0% de CBR y la distribución de material de arcillosos limosos de mediana a baja plasticidad (CL - ML) y de la geomalla biaxial BXSQ2020 se tiene una resistencia a la tensión de 20 kN/m.
3. En este estudio el espesor de cada componente del pavimento, se determinó mediante procedimientos del método AASHTO 93 para pavimentos sin reforzamiento y el método AASHTO R-50 para pavimentos con reforzamiento,

por ello para el km 56+480 al Km. 87+500 con la incorporación de la Geomalla Biaxial BXSQ2020 se ha reducido el espesor de 20 cm a 15 cm en la Base - Sub base y para el km 87+500 al Km. 95+805 se ha reducido el espesor de 20 cm a 15 cm en la Base, la Sub base de 30 cm a 22 cm para el diseño con “LCR” y un espesor de 21 cm para un diseño con “TBR”.

4. Se logró analizar con éxito seis distintos modelos generados en el Software Plaxis 2D en su versión 20.0.0.119 para dos dimensiones, al aplicar una carga de 400 kN/m² por eje, para el Modelo 01 sin reforzamiento se tiene un desplazamiento vertical de -2.588 mm y un esfuerzo máximo de 329.4 kN/m² y en el Modelo 04 al incorporar la geomalla entre el Asfalto y la Base se tiene un desplazamiento vertical de -2.285 mm y esfuerzo máximo de 202.8 kN/m², para el Modelo 02 sin reforzamiento se tiene un desplazamiento vertical de -2.627 mm y un esfuerzo máximo de 338.9 kN/m² y finalmente para el Modelo 06 con la geomalla entre el Asfalto y la Base se tiene un desplazamiento vertical de -2.307 mm y un esfuerzo máximo de 192.7 kN/m², donde se puede apreciar que al reforzar el pavimento la deformación, el desplazamiento vertical disminuyen en 11.70% para el Modelo 04 y 12.18% para el Modelo 06 y los esfuerzos disminuyen en un 38.43% para el Modelo 04 y en un 43.14% para el Modelo 06.

6.2. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda colocar la geomalla biaxial en el interfaz Asfalto y la Base granular para garantizar una mejor resistencia y una adecuada estabilidad del pavimento, además de evitar una contaminación y segregación del material granular, su forma de aplicación es factible y sencilla.
2. El uso de geomallas se viene desarrollando con mayor incidencia en la actualidad, siendo un material que brinda excelentes beneficios a corto y largo plazo, porque permite la reducción de espesores, mejora la distribución de esfuerzos, alarga la vida útil, por ello se recomienda su aplicación en las obras de infraestructura vial de nuestra región y el interior del país.
3. Para futuras investigaciones se recomienda considerar la colocación de geomallas triaxiales u otros Geosintéticos en cada interfaz que componen el pavimento flexible a través de un modelo matemático, que permita comparar variables de reducción de espesor, factibilidad técnica y económica de una geomalla triaxial frente al uso de una geomalla biaxial.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Alvarado, S. A. (2012). *Análisis técnico sobre el uso de geomallas de refuerzo para la pavimentación y repavimentación de carreteras*. [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica].
Obtenido de Repositorio Institucional UN. <https://hdl.handle.net/2238/6073>
- Barry, C. (2010). *Geogrids in Roadway and Pavement Systems*. Global Synthetics Pty Ltd .
- Becerra, M. (2012). *Tópicos de Pavimentos de Concreto. Diseño, Construcción y Supervisión*. Flujo Libre.
- Berg, R. R. (2000). *Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base/Subbase Courses of Pavement Structures*. AASHTO Committee 4E.
- Caballeros, E. A. (2006). *Utilización de la geomalla como refuerzo de la estructura del pavimento flexible*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Copyright PLAXIS. (2004). *Reference Manual*. editado por R.B.J. Brinkgreve Delft University of Technology & PLAXIS b.v, The Netherlands.
- Díaz, Y., & López, E. (2008). *Plaxis como herramienta de modelación para la solución de algunos problemas geotécnicos reales en la ciudad de Punta Arenas*. [Tesis de pregrado, Universidad de Magallanes].
- Escobar, L., & Huincho, J. (2017). *Diseño de pavimento flexible, bajo influencia de parámetros de diseño debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa – Sachapite, Huancavelica*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Obtenido de Repositorio Institucional UN.
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1388>
- Flores, L. (2012). *Evaluación estructural de pavimentos flexibles de carreteras de bajo volumen de tránsito*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Obtenido de Repositorio Institucional UN. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1136>
- Gavilanes, N. E. (2012). *Diseño de la estructura de pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua - La Maná*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Obtenido de Repositorio Institucional UN.
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6427>

- Geoscan, C. (29 de enero de 2015). *El Método de los Elementos Finitos*. [Mensaje de Blog], Recuperado de <http://geoscan.es/el-metodo-de-los-elementos-finitos/>.
- Geosistemas PAVCO. (2012). *Manual de diseño con geosintéticos*. Departamento de Ingeniería y Geosistemas.
- Granados, J. E. (2018). *Inventario de condición del pavimento flexible, carretera Casma - Huaraz del km. 132+000 al km. 137+000 para el mantenimiento o conservación vial usando el manual del MTC*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Obtenido de Repositorio Institucional UN. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2769>
- Hinostraza, H. A. (2018). *Diseño de pavimento flexible reforzado con geomallas para la reducción de la estructura del pavimento*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Obtenido de Repositorio Institucional UN. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2784>
- Jordan, C. A., & Suárez, J. M. (2017). *Diseño de pavimentos flexibles con el uso de Geosintéticos como refuerzo aplicado en las vías de acceso a la ciudadela la Milina del Cantón Salinas*. [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Obtenido de Repositorio Institucional UN. <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4098>
- Kari, M., & Olortegui, J. R. (2019). *Propuesta de diseño de pavimento flexible reforzado con Geomalla en la interfaz subrasante - subbase utilizando la metodología Giroud – Han, para mejorar el tramo de la carretera(vía)*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Obtenido de Repositorio Institucional UN. <http://hdl.handle.net/10757/626363>
- Lizarraga, J. M. (2013). *Diseño y construcción de pavimentos flexibles aplicando geomallas de polipropileno como sistema de reforzamiento estructural*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Obtenido de Repositorio Institucional UN. https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000704215
- Lozano, R. A. (2019). *Evaluación del pavimento flexible de la carretera PE-14 km 0+000 al km 3+000, Casma, Ancash-2019, propuesta de mejora*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Obtenido de Repositorio Institucional UN. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/37397>
- Menéndez, J. (2009). *Ingeniería de Pavimentos. Materiales, Diseño y Conservación*. Editorial ICG.

- Minaya, S., & Ordoñez, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Fondo Editorial ICG.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos*. R.D. N° 10-2014-MTC/14.
- Montejo, A. (1998). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Universidad Católica de Colombia.
- Norma CE.010. (2010). *Pavimentos Urbanos*. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima-Perú.
- Núñez, A. (2016). *Optimización de espesores de pavimentos con aplicación de Geo-Sintéticos*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Obtenido de Repositorio Institucional UN. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2056>
- Oregon, E. V. (2018). *Propuesta del mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales en suelos de bajo valor de Soporte California – distrito de Ahuac*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Obtenido de Repositorio Institucional UN. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/5165>
- Orrego, D. A. (2014). *Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Obtenido de Repositorio Institucional UN. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5419>
- Ramallo, R. (2012). *Análisis del método AASHTO 2008 (MEPDG) en pavimentos flexibles*. [Trabajo de pregrado, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho].
- Rico, A., & Del Castillo, H. (1984). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Vol.2*. Editorial Limusa.
- Sanchez, S., López, J., Laina, C., & Jimenéz, A. (2016). Caracterización de suelos granulares gruesos. El caso de la Grava de Lima. *Simposio sobre reconocimiento, tratamiento y mejora del terreno*. La Coruña: pp. 305-312.
- Valenzuela, J. (1993). *Actualización de coeficientes de daño para el diseño de pavimentos flexibles*. [Tesis de pregrado, Universidad de Sonora].
- Zornberg, J. G., & Gupta, R. (2010). Geosynthetics in pavements: North American contributions. *9th International Conference on Geosynthetics*. Brazil: pp. 379-400.

ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO:

“MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAXIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Problema Principal:	Objetivo general:	Hipótesis general:	Variable dependiente:	
¿Cómo influirá la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022?	Realizar la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.	La modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales influye en la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del espesor en el pavimento. Indicadores: <ul style="list-style-type: none"> Espesor de sub base (cm) Espesor de base (cm) Espesor de carpeta asfáltica (cm) 	Tipo de investigación: - Investigación Aplicada Nivel de investigación: - Descriptivo Diseño de investigación: - Cuantitativo - No experimental - Transversal
Problemas específicos:	Objetivos específicos:	Hipótesis específicas:	Variables independientes:	
1. ¿Cuáles son los parámetros de diseño relevantes, en la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022?	1. Determinar los parámetros de diseño relevantes, en la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.	1. Existen parámetros de diseño relevantes, en la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.	<ul style="list-style-type: none"> Modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales. Indicadores: <ul style="list-style-type: none"> Periodo de diseño (años) Transito (ESALS) Confiabilidad R (%) Desviación normal estándar (Zr) Niveles de serviciabilidad Po y Pt (PSI) Propiedades de los materiales (CBR) Coefficientes estructurales Drenaje (Cd) Numero estructural (SNr) Espesor geomalla Resistencia Geomalla (kg/cm3) Deformación (µm/m) Esfuerzo (kN/m2) Deflexión (mm) 	Ámbito de estudio: - Tramo Pariacoto - Yupash Población: - Carretera Casma – Huaraz, tramo Pariacoto – Yupash Km 56+480 al Km 95+805. Muestra: - Carretera Km 56+480 al Km 95+805, muestreo a juicio no probabilístico a criterio del investigador. Técnicas de recolección de datos: - Análisis documental, estudio de tráfico y datos del expediente técnico. Instrumentos: - Ficha de registro de campo. Técnicas de procesamiento y análisis de datos: - Hojas de Cálculo (Diseño) - Plaxis 2D (Modelización)
2. ¿Cuál será el espesor del pavimento, mediante la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022?	2. Determinar el espesor del pavimento, mediante la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.	2. El espesor del pavimento se reduce, mediante la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.		
3. ¿El uso del Software Plaxis 2D permitirá una adecuada modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022?	3. Describir el uso del Software Plaxis 2D para la modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.	3. El uso del Software Plaxis 2D permite una adecuada modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento del tramo Pariacoto - Yupash de la carretera Casma - Huaraz - 2022.		

PROPÓSITO DE ESTUDIO: MODELIZACIÓN Y DISEÑO LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA DE TRANSPORTES LUGAR: TRAMO PARIACOTO - YUPASH



ANEXO 02: ESTUDIO DE TRÁFICO



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - DOMINGO

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
 TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
 ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
 UBICACIÓN: PARIACOTO
 SENTIDO: CASMA
 FECHA: 10/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	3	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-2	2	0	0	1	3	0	2	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
2-3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3-4	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
4-5	3	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5-6	7	0	2	4	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
6-7	9	0	4	6	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7-8	12	2	3	9	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
8-9	10	3	2	7	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
9-10	11	4	8	3	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
10-11	14	3	6	2	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11-12	18	2	7	7	1	0	3	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12-13	30	7	8	15	2	0	2	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	
13-14	21	13	11	9	6	0	4	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14-15	18	10	13	7	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15-16	31	4	12	9	1	0	5	0	0	4	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
16-17	14	5	7	6	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
17-18	25	9	14	10	4	0	1	0	0	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	
18-19	24	6	5	8	1	0	3	0	1	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
19-20	30	7	3	9	1	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20-21	14	3	6	1	1	0	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21-22	12	1	2	1	2	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22-23	7	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23-24	9	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
TOTAL	327	79	118	114	37	0	44	2	1	41	7	3	1	0	4	1	3	5	1	0	1	4



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - DOMINGO

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: HUARAZ
FECHA: 10/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
			Pick Up	Panel	Rural		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
0-1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1-2	4	0	0	0	1	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2-3	3	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-4	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4-5	4	0	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6	6	0	2	4	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6-7	10	3	5	6	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7-8	15	2	4	9	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8-9	13	4	2	4	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9-10	8	0	3	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	8	6	3	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
11-12	12	1	3	6	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	14	4	13	5	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	10	6	7	3	3	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
14-15	11	4	5	4	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0
15-16	21	3	9	6	1	0	2	0	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
16-17	24	7	10	9	5	0	3	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	41	10	24	22	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	30	1	13	10	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	24	5	9	9	3	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
20-21	12	2	9	3	1	0	2	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
21-22	11	2	3	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22-23	5	0	3	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
23-24	7	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	298	60	129	106	34	0	30	6	0	31	4	1	1	0	0	0	7	7	1	0	1	3



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - DOMINGO

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
 TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
 ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
 UBICACIÓN: PARIACOTO
 SENTIDO: AMBOS
 FECHA: 10/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
			Pick Up	Panel	Rural		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
0-1	4	0	1	0	2	0	1	2	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1-2	6	0	0	1	4	0	2	4	0	3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
2-3	5	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-4	5	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
4-5	7	0	1	0	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6	13	0	4	8	2	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
6-7	19	3	9	12	4	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7-8	27	4	7	18	2	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
8-9	23	7	4	11	2	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
9-10	19	4	11	5	4	0	2	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
10-11	22	9	9	6	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
11-12	30	3	10	13	1	0	3	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	44	11	21	20	3	0	4	0	0	5	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
13-14	31	19	18	12	9	0	6	0	0	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
14-15	29	14	18	11	3	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0
15-16	52	7	21	15	2	0	7	0	0	6	2	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	2
16-17	38	12	17	15	7	0	6	0	0	4	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
17-18	66	19	38	32	6	0	3	0	0	4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
18-19	54	7	18	18	2	0	4	0	1	2	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
19-20	54	12	12	18	4	0	4	0	0	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
20-21	26	5	15	4	2	0	3	0	0	5	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
21-22	23	3	5	1	3	0	3	0	0	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22-23	12	0	4	0	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
23-24	16	0	4	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
TOTAL	625	139	247	220	71	0	74	8	1	72	11	4	2	0	4	1	10	12	2	0	2	7



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - LUNES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: CASMA
FECHA: 11/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	3	0	2	1	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-2	2	0	0	2	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
2-3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3-4	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4-5	2	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5-6	10	0	3	3	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
6-7	11	0	2	3	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7-8	12	2	4	4	1	0	1	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
8-9	10	4	2	2	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
9-10	8	5	2	1	1	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10-11	12	0	2	3	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
11-12	18	4	5	6	2	0	2	0	0	4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
12-13	30	6	9	8	2	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
13-14	20	9	8	9	7	0	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14-15	15	8	14	7	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15-16	30	5	13	6	1	0	3	0	0	3	1	2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
16-17	15	4	8	6	2	0	3	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17-18	26	8	12	5	5	0	3	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
18-19	31	5	8	5	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
19-20	25	9	10	4	1	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20-21	11	5	7	4	1	0	1	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21-22	9	2	3	2	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22-23	8	0	2	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23-24	7	0	4	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
TOTAL	320	76	121	81	35	0	42	2	0	44	9	5	1	1	2	0	2	6	0	0	1	4



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - LUNES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: HUARAZ
FECHA: 11/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
			Pick Up	Panel	Rural		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
0-1	1	0	2	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1-2	1	0	1	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2-3	2	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-4	3	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4-5	3	0	1	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5-6	8	0	1	2	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-7	11	4	4	3	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7-8	19	1	5	6	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8-9	14	3	3	2	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-10	9	1	3	3	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	8	4	5	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	15	1	4	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	17	5	12	4	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13-14	28	4	8	4	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
14-15	10	3	6	5	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	18	5	8	3	1	0	2	0	0	3	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
16-17	24	6	12	4	6	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	27	10	25	4	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	31	3	12	10	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
19-20	22	6	10	5	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
20-21	11	3	8	6	1	0	2	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	8	1	4	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	4	1	4	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	6	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
TOTAL	300	62	141	67	35	0	33	5	0	31	3	2	0	0	0	0	5	3	1	0	0	4



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - LUNES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: AMBOS
FECHA: 11/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	4	0	4	2	2	0	2	3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
1-2	3	0	1	2	1	0	3	2	0	3	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
2-3	4	0	1	0	0	0	1	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3-4	6	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
4-5	5	0	1	0	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
5-6	18	0	4	5	3	0	3	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
6-7	22	4	6	6	3	0	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
7-8	31	3	9	10	2	0	3	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
8-9	24	7	5	4	2	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
9-10	17	6	5	4	3	0	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10-11	20	4	7	4	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
11-12	33	5	9	9	2	0	2	0	0	6	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
12-13	47	11	21	12	3	0	4	0	0	6	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
13-14	48	13	16	13	9	0	3	0	0	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
14-15	25	11	20	12	5	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15-16	48	10	21	9	2	0	5	0	0	6	1	3	0	0	1	0	0	2	0	0	2	
16-17	39	10	20	10	8	0	6	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17-18	53	18	37	9	7	0	5	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
18-19	62	8	20	15	2	0	5	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	
19-20	47	15	20	9	3	0	5	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
20-21	22	8	15	10	2	0	3	0	0	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21-22	17	3	7	3	2	0	3	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22-23	12	1	6	0	2	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23-24	13	1	6	0	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
TOTAL	620	138	262	148	70	0	75	7	0	75	12	7	1	1	2	0	7	9	1	0	1	8



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - MARTES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: CASMA
FECHA: 12/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	2	0	1	1	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-2	2	0	0	0	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-3	3	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3-4	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-5	3	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6	8	0	2	2	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6-7	10	0	1	3	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
7-8	11	1	3	3	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8-9	9	2	2	2	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-10	8	4	4	0	1	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	10	1	5	4	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11-12	18	3	5	4	2	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
12-13	30	5	8	5	2	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	20	6	6	5	5	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	17	7	15	4	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	28	5	12	8	1	0	1	0	0	1	1	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
16-17	15	2	7	4	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	27	10	13	6	4	0	1	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
18-19	25	2	5	7	1	0	3	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
19-20	16	5	12	5	1	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	9	4	6	4	1	0	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	5	1	1	6	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	5	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	2	0	3	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
TOTAL	284	59	113	75	32	0	39	1	0	35	7	4	1	0	2	0	2	6	0	0	0	3



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - MARTES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: HUARAZ
FECHA: 12/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	3	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
1-2	1	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		
2-3	1	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3-4	2	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
4-5	2	0	1	1	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
5-6	5	0	1	3	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
6-7	10	3	5	3	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
7-8	18	2	5	4	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0		
8-9	12	4	3	3	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
9-10	9	0	4	2	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10-11	7	3	7	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
11-12	13	2	4	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
12-13	15	6	9	4	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		
13-14	25	3	9	6	2	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1		
14-15	10	3	6	4	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
15-16	15	6	8	6	1	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1		
16-17	21	5	11	4	5	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
17-18	25	9	24	5	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
18-19	25	6	13	7	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
19-20	19	7	10	8	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
20-21	12	3	8	3	1	0	2	0	0	2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0		
21-22	8	1	5	2	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0		
22-23	3	1	2	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
23-24	2	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		
TOTAL	263	65	141	71	34	0	33	5	0	30	3	2	1	0	1	0	7	4	1	0	1	3



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - MARTES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: AMBOS
FECHA: 12/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	5	0	2	1	2	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
1-2	3	0	0	0	1	0	3	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
2-3	4	0	2	0	0	0	1	2	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
3-4	3	0	2	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
4-5	5	0	1	1	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
5-6	13	0	3	5	3	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
6-7	20	3	6	6	3	0	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
7-8	29	3	8	7	2	0	3	0	0	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	
8-9	21	6	5	5	2	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9-10	17	4	8	2	3	0	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10-11	17	4	12	6	2	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
11-12	31	5	9	8	2	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
12-13	45	11	17	9	3	0	4	0	0	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
13-14	45	9	15	11	7	0	2	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
14-15	27	10	21	8	5	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
15-16	43	11	20	14	2	0	3	0	0	3	1	3	0	0	1	0	0	2	0	0	2	
16-17	36	7	18	8	7	0	6	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17-18	52	19	37	11	6	0	3	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
18-19	50	8	18	14	2	0	5	0	0	1	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
19-20	35	12	22	13	3	0	5	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20-21	21	7	14	7	2	0	3	0	0	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
21-22	13	2	6	8	2	0	3	0	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
22-23	8	2	3	0	2	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23-24	4	1	5	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	
TOTAL	547	124	254	146	66	0	72	6	0	65	10	6	2	0	3	0	9	10	1	0	1	6



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - MIÉRCOLES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: CASMA
FECHA: 13/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1-2	1	0	1	0	0	0	2	1	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2-3	2	0	2	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-4	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-5	3	0	1	1	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6	7	0	1	2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6-7	9	1	2	2	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7-8	11	0	2	4	1	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8-9	8	3	2	2	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9-10	7	3	3	2	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	10	2	6	5	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11-12	18	1	4	7	2	0	3	0	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
12-13	32	6	5	5	3	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
13-14	16	3	7	7	4	0	1	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	18	7	15	3	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	30	4	12	7	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
16-17	15	1	8	5	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	24	9	14	10	4	0	1	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	29	3	7	4	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
19-20	19	2	10	5	1	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	9	3	3	5	1	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	10	2	1	0	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	3	2	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	5	0	3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	290	52	111	77	33	0	36	2	0	38	6	3	2	1	2	0	2	5	0	0	1	4



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - MIÉRCOLES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: HUARAZ
FECHA: 13/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	1	0	3	1	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
1-2	2	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
2-3	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3-4	3	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
4-5	1	0	2	1	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
5-6	5	0	2	4	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6-7	10	4	4	3	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7-8	16	1	6	4	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
8-9	13	3	3	3	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9-10	7	2	3	3	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10-11	8	4	6	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11-12	15	1	5	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12-13	17	5	10	4	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13-14	25	5	11	4	2	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	
14-15	11	4	5	5	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
15-16	15	5	7	5	2	0	2	0	1	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
16-17	20	6	10	4	5	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
17-18	25	12	22	6	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18-19	28	7	14	2	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
19-20	21	6	11	5	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
20-21	13	4	6	3	1	0	2	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21-22	10	2	4	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
22-23	4	0	2	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23-24	2	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	273	73	138	63	34	0	34	5	1	32	3	1	1	0	1	1	4	5	1	0	1	5



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - MIÉRCOLES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: AMBOS
FECHA: 13/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	3	0	4	1	2	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
1-2	3	0	1	0	0	0	3	3	0	3	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
2-3	3	0	2	0	1	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-4	5	0	1	0	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4-5	4	0	3	2	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5-6	12	0	3	6	2	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6-7	19	5	6	5	4	0	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
7-8	27	1	8	8	2	0	3	1	0	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
8-9	21	6	5	5	2	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9-10	14	5	6	5	3	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	18	6	12	7	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11-12	33	2	9	10	2	0	3	0	0	4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
12-13	49	11	15	9	4	0	4	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13-14	41	8	18	11	6	0	2	0	0	2	3	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
14-15	29	11	20	8	4	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
15-16	45	9	19	12	3	0	3	0	1	4	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	1
16-17	35	7	18	9	7	0	6	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
17-18	49	21	36	16	6	0	3	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	57	10	21	6	2	0	4	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1
19-20	40	8	21	10	3	0	5	0	0	4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
20-21	22	7	9	8	2	0	3	0	0	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	20	4	5	1	2	0	3	0	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
22-23	7	2	3	1	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	7	2	4	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	563	125	249	140	67	0	70	7	1	70	9	4	3	1	3	1	6	10	1	0	2	9



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - JUEVES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: CASMA
FECHA: 14/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	3	1	1	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-2	2	0	0	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-3	2	0	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3-4	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-5	4	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5-6	10	0	3	2	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-7	10	1	1	4	1	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
7-8	11	1	3	3	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8-9	8	1	3	4	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9-10	7	3	5	2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10-11	11	0	5	5	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11-12	20	4	6	5	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
12-13	30	4	9	7	2	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	21	4	5	5	3	0	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	19	6	14	6	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
15-16	31	6	13	7	1	0	1	0	0	3	1	2	0	0	2	0	0	1	0	0	0	1
16-17	15	3	8	5	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	32	8	12	5	4	0	3	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
18-19	29	3	6	6	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
19-20	16	1	8	7	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	9	3	8	4	1	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	8	2	2	2	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	6	0	1	0	1	0	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	2	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	308	51	118	82	31	0	38	1	0	40	5	4	1	0	3	0	3	5	0	0	1	4



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - JUEVES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ

TRAMO: PARIACOTO - YUPASH

ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA

UBICACIÓN: PARIACOTO

SENTIDO: HUARAZ

FECHA: 14/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	2	0	2	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
1-2	2	0	1	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
2-3	3	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3-4	3	0	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
4-5	5	1	1	1	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5-6	7	0	1	2	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6-7	10	2	6	5	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
7-8	20	1	6	4	1	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8-9	12	5	2	4	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9-10	8	1	3	5	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10-11	7	2	6	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11-12	15	1	5	3	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12-13	16	5	10	4	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
13-14	32	5	6	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	
14-15	12	2	10	1	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
15-16	18	7	10	5	3	0	2	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
16-17	21	4	12	4	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17-18	25	9	15	9	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
18-19	31	5	12	4	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
19-20	20	8	9	6	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20-21	14	2	9	3	1	0	2	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21-22	6	1	5	4	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
22-23	4	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23-24	3	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	296	61	137	66	34	0	34	5	0	33	3	2	1	0	1	0	7	3	1	0	0	3



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - JUEVES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAXIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: AMBOS
FECHA: 14/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	5	1	3	0	2	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
1-2	4	0	1	1	1	0	3	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
2-3	5	0	2	2	0	0	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
3-4	5	0	3	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
4-5	9	1	1	1	4	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
5-6	17	0	4	4	3	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6-7	20	3	7	9	3	0	3	0	0	2	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	
7-8	31	2	9	7	2	0	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8-9	20	6	5	8	2	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
9-10	15	4	8	7	3	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
10-11	18	2	11	7	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
11-12	35	5	11	8	2	0	3	0	0	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
12-13	46	9	19	11	3	0	4	0	0	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
13-14	53	9	11	5	5	0	2	0	0	3	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	
14-15	31	8	24	7	5	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	
15-16	49	13	23	12	4	0	3	0	0	6	1	3	0	0	2	0	0	1	0	0	2	
16-17	36	7	20	9	4	0	6	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17-18	57	17	27	14	6	0	5	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	
18-19	60	8	18	10	2	0	3	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	
19-20	36	9	17	13	3	0	5	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20-21	23	5	17	7	2	0	3	0	0	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21-22	14	3	7	6	2	0	3	0	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
22-23	10	0	2	0	2	0	3	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23-24	5	0	5	0	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
TOTAL	604	112	255	148	65	0	72	6	0	73	8	6	2	0	4	0	10	8	1	0	1	7



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - VIERNES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: CASMA
FECHA: 15/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	3	0	3	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-2	2	0	1	1	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-3	3	0	2	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-4	5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
4-5	3	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5-6	10	1	2	5	3	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
6-7	14	2	3	3	1	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
7-8	15	3	2	4	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8-9	9	2	1	4	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
9-10	6	3	2	2	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10-11	12	1	3	5	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
11-12	17	2	6	5	3	0	3	0	0	3	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
12-13	35	6	6	6	2	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13-14	25	7	7	5	6	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14-15	18	9	12	5	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15-16	32	6	11	7	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
16-17	19	1	8	6	2	0	3	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
17-18	25	7	13	4	6	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18-19	30	7	9	5	1	0	3	0	0	1	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	
19-20	21	10	12	4	2	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20-21	12	6	6	4	1	0	2	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21-22	9	2	2	6	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22-23	5	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
23-24	3	0	5	2	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	333	75	117	84	38	0	41	2	0	43	8	3	0	0	2	0	2	6	0	0	0	5



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - VIERNES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ

TRAMO: PARIACOTO - YUPASH

ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA

UBICACIÓN: PARIACOTO

SENTIDO: HUARAZ

FECHA: 15/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	2	0	1	1	1	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
1-2	1	0	2	1	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
2-3	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
3-4	2	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4-5	3	0	2	1	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
5-6	6	0	2	2	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
6-7	11	0	5	4	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7-8	15	2	6	6	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8-9	10	4	3	4	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
9-10	9	2	2	3	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
10-11	8	3	4	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11-12	15	2	5	5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12-13	14	4	13	4	1	0	2	0	0	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
13-14	25	3	7	5	3	0	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
14-15	13	2	5	4	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
15-16	19	4	9	4	1	0	2	0	0	3	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	
16-17	25	5	11	6	8	0	4	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
17-18	24	12	22	5	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18-19	32	1	13	8	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
19-20	25	5	9	3	2	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
20-21	17	1	8	4	1	0	2	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21-22	8	1	3	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
22-23	5	1	4	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
23-24	4	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	294	52	139	76	36	0	36	6	0	34	5	2	1	1	0	0	5	5	2	0	1	3



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - VIERNES

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: AMBOS
FECHA: 15/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	5	0	4	2	1	0	1	4	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
1-2	3	0	3	2	1	0	4	2	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
2-3	4	0	2	0	1	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
3-4	7	0	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
4-5	6	0	2	1	2	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
5-6	16	1	4	7	5	0	3	0	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
6-7	25	2	8	7	3	0	3	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
7-8	30	5	8	10	2	0	3	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8-9	19	6	4	8	2	0	3	0	0	5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	
9-10	15	5	4	5	3	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
10-11	20	4	7	8	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
11-12	32	4	11	10	3	0	3	0	0	5	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
12-13	49	10	19	10	3	0	4	0	0	6	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
13-14	50	10	14	10	9	0	3	0	0	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
14-15	31	11	17	9	4	0	4	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
15-16	51	10	20	11	2	0	4	0	0	4	0	1	0	0	1	0	0	3	0	0	0	
16-17	44	6	19	12	10	0	7	0	0	4	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
17-18	49	19	35	9	7	0	5	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18-19	62	8	22	13	2	0	5	0	0	2	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	2	
19-20	46	15	21	7	4	0	5	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
20-21	29	7	14	8	2	0	4	0	0	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21-22	17	3	5	7	2	0	3	0	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
22-23	10	1	5	0	2	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
23-24	7	0	6	4	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	627	127	256	160	74	0	77	8	0	77	13	5	1	1	2	0	7	11	2	0	1	8



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - SÁBADO

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: CASMA
FECHA: 16/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
			Pick Up	Panel	Rural		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
0-1	4	0	2	1	2	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1-2	4	0	1	0	2	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2-3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3-4	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-5	5	0	0	1	3	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6	8	0	1	2	2	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6-7	10	0	5	4	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7-8	15	1	4	7	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8-9	13	1	1	4	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9-10	12	3	7	1	1	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
10-11	10	4	5	5	1	0	2	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	15	2	6	4	1	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	30	8	9	10	2	0	2	0	0	3	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13-14	25	10	13	7	7	0	3	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	25	8	12	6	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15-16	32	3	13	10	1	0	3	0	0	3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
16-17	15	4	8	6	2	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	29	8	15	7	3	0	1	0	0	4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
18-19	24	5	6	8	2	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
19-20	30	6	4	7	2	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
20-21	15	4	5	4	0	0	2	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	13	1	4	1	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
22-23	8	0	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	10	1	2	0	0	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	357	69	126	95	39	0	47	1	0	47	7	3	1	0	3	0	3	5	1	0	0	4



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - SÁBADO

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: HUARAZ
FECHA: 16/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
	Pick Up	Panel	Rural	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
0-1	2	0	0	0	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1-2	4	0	0	1	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-3	4	1	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-4	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
4-5	4	0	2	1	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6	7	0	3	2	2	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6-7	10	2	6	5	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7-8	19	0	5	6	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
8-9	11	3	2	4	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
9-10	9	2	5	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	9	4	3	3	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
11-12	14	2	6	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	20	5	7	5	1	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13-14	10	6	7	4	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
14-15	12	4	5	3	2	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
15-16	25	2	8	4	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
16-17	29	6	16	5	3	0	3	0	0	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	39	12	21	19	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	30	2	12	12	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	24	4	8	9	1	0	3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
20-21	14	1	10	3	2	0	2	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	5	0	3	2	2	0	1	0	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	3	0	2	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	5	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	312	56	132	94	33	0	33	5	0	36	4	2	1	0	3	0	4	4	0	0	1	5



CONTEO Y CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO - SÁBADO

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
 TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
 ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
 UBICACIÓN: PARIACOTO
 SENTIDO: AMBOS
 FECHA: 16/07/2022

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
			Pick Up	Panel	Rural		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
0-1	6	0	2	1	4	0	3	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
1-2	8	0	1	1	2	0	2	2	0	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2-3	7	1	0	0	0	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3-4	5	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
4-5	9	0	2	2	4	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6	15	0	4	4	4	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
6-7	20	2	11	9	3	0	4	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7-8	34	1	9	13	4	0	4	0	0	3	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
8-9	24	4	3	8	2	0	3	0	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
9-10	21	5	12	3	2	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
10-11	19	8	8	8	2	0	3	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11-12	29	4	12	7	1	0	3	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	50	13	16	15	3	0	4	0	0	4	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
13-14	35	16	20	11	9	0	5	0	0	4	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
14-15	37	12	17	9	3	0	3	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
15-16	57	5	21	14	3	0	5	0	0	5	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1
16-17	44	10	24	11	5	0	5	0	0	5	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	68	20	36	26	5	0	3	0	0	5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
18-19	54	7	18	20	3	0	5	0	0	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
19-20	54	10	12	16	3	0	4	0	0	3	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
20-21	29	5	15	7	2	0	4	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	18	1	7	3	4	0	3	0	0	5	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
22-23	11	0	5	1	2	0	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	15	1	3	0	2	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	669	125	258	189	72	0	80	6	0	83	11	5	2	0	6	0	7	9	1	0	1	9



INDICE MEDIO DIARIO ANUAL (SENTIDO: CASMA)

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: CASMA

Factor de Corrección	Vehículos Livianos	fe:	1.0155
Estacional	Vehículos Pesados	fe:	1.0585

DÍA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Omnibus			Camión			Semitrailers					Trailers				Total Vehículos	
			Pick Up	Panel	Rural		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
Domingo	327	79	118	114	37	0	44	2	1	41	7	3	1	0	4	1	3	5	1	0	1	4	793
Lunes	320	76	121	81	35	0	42	2	0	44	9	5	1	1	2	0	2	6	0	0	1	4	752
Martes	284	59	113	75	32	0	39	1	0	35	7	4	1	0	2	0	2	6	0	0	0	3	663
Miércoles	290	52	111	77	33	0	36	2	0	38	6	3	2	1	2	0	2	5	0	0	1	4	665
Jueves	308	51	118	82	31	0	38	1	0	40	5	4	1	0	3	0	3	5	0	0	1	4	695
Viernes	333	75	117	84	38	0	41	2	0	43	8	3	0	0	2	0	2	6	0	0	0	5	759
Sábado	357	69	126	95	39	0	47	1	0	47	7	3	1	0	3	0	3	5	1	0	0	4	808
IMDs	317	66	118	87	35	0	41	2	0	41	7	4	1	0	3	0	2	5	0	0	1	4	734
IMDa	322	67	120	88	36	0	43	2	0	44	7	4	1	0	3	0	3	6	0	0	1	4	751
Total Vehículos	322	67	120	88	36	0	43	2	0	44	7	4	1	0	3	0	3	6	0	0	1	4	751

INDICE MEDIO DIARIO ANUAL (SENTIDO: HUARAZ)

PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAJIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: HUARAZ

Factor de Corrección	Vehículos Livianos	fe:	1.015524
Estacional	Vehículos Pesados	fe:	1.058494

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Omnibus			Camión			Semitrailers					Trailers				Total Vehículos	
			Pick Up	Panel	Rural		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
Domingo	298	60	129	106	34	0	30	6	0	31	4	1	1	0	0	0	7	7	1	0	1	3	719
Lunes	300	62	141	67	35	0	33	5	0	31	3	2	0	0	0	0	5	3	1	0	0	4	692
Martes	263	65	141	71	34	0	33	5	0	30	3	2	1	0	1	0	7	4	1	0	1	3	665
Miércoles	273	73	138	63	34	0	34	5	1	32	3	1	1	0	1	1	4	5	1	0	1	5	676
Jueves	296	61	137	66	34	0	34	5	0	33	3	2	1	0	1	0	7	3	1	0	0	3	687
Viernes	294	52	139	76	36	0	36	6	0	34	5	2	1	1	0	0	5	5	2	0	1	3	698
Sábado	312	56	132	94	33	0	33	5	0	36	4	2	1	0	3	0	4	4	0	0	1	5	725
IMDs	291	61	137	78	34	0	33	5	0	32	4	2	1	0	1	0	6	4	1	0	1	4	695
IMDa	295	62	139	79	35	0	35	6	0	34	4	2	1	0	1	0	6	5	1	0	1	4	710
Total Vehículos	295	62	139	79	35	0	35	6	0	34	4	2	1	0	1	0	6	5	1	0	1	4	710



INDICE MEDIO DIARIO ANUAL (SENTIDO: AMBOS)

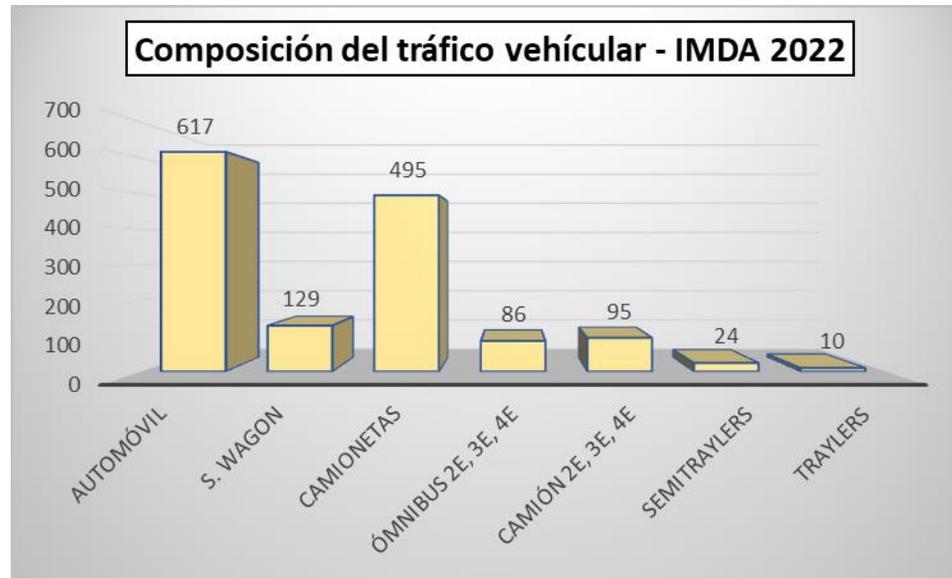
PROYECTO: "MODELIZACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFORZAMIENTO DE GEOMALLAS BIAXIALES PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR EN EL PAVIMENTO"

CARRETERA: CASMA - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH
ESTACIÓN: PARIACOTO E1

TESISTA: HEYNER REYNALDO JUSTINIANO CANCHA
UBICACIÓN: PARIACOTO
SENTIDO: AMBOS

Factor de Corrección	Vehículos Livianos	fe:	1.015524
Estacional	Vehículos Pesados	fe:	1.058494

HORA	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Omnibus			Camión			Semitrayers				Traylers				Total Vehículos		
			Pick Up	Panel	Rural		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3		3T2	>=3T3
Domingo	625	139	247	220	71	0	74	8	1	72	11	4	2	0	4	1	10	12	2	0	2	7	1512
Lunes	620	138	262	148	70	0	75	7	0	75	12	7	1	1	2	0	7	9	1	0	1	8	1444
Martes	547	124	254	146	66	0	72	6	0	65	10	6	2	0	3	0	9	10	1	0	1	6	1328
Miércoles	563	125	249	140	67	0	70	7	1	70	9	4	3	1	3	1	6	10	1	0	2	9	1341
Jueves	604	112	255	148	65	0	72	6	0	73	8	6	2	0	4	0	10	8	1	0	1	7	1382
Viernes	627	127	256	160	74	0	77	8	0	77	13	5	1	1	2	0	7	11	2	0	1	8	1457
Sábado	669	125	258	189	72	0	80	6	0	83	11	5	2	0	6	0	7	9	1	0	1	9	1533
IMDs	608	127	254	164	69	0	74	7	0	74	11	5	2	0	3	0	8	10	1	0	1	8	1428
IMDa	617	129	258	167	70	0	79	7	0	78	11	6	2	0	4	0	8	10	1	0	1	8	1456
Total Vehículos	617	129	258	167	70	0	79	7	0	78	11	6	2	0	4	0	8	10	1	0	1	8	1456



EJES EQUIVALENTES DE CARGA (ESAL)

PROYECTO	"Modelización numérica y diseño de pavimento flexible con reforzamiento de geomallas biaxiales para la reducción del espesor en el pavimento"	AÑO DE ESTUDIO: 2022
CARRETERA	Casma - Huaraz	TIEMPO DE ESTUDIO: 4 años
TRAMO	Pariacoto - Yupash	SENTIDO: Ambos
ESTACIÓN	Pariacoto E-1	TIPO DE PAVIMENTO: Pavimento flexible
IESISTA	Heyner Reynaldo Justiniano Cancha	

Día		Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus			Camión			Semitraylers					Traylers				
								2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
Domingo 10/07/2022	HUARAZ - CASMA	327	79	118	114	37	0	44	2	1	41	7	3	1	0	4	1	3	5	1	0	1	4
	CASMA - HUARAZ	298	60	129	106	34	0	30	6	0	31	4	1	1	0	0	0	7	7	1	0	1	3
	Total	625	139	247	220	71	0	74	8	1	72	11	4	2	0	4	1	10	12	2	0	2	7
Lunes 11/07/2022	HUARAZ - CASMA	320	76	121	81	35	0	42	2	0	44	9	5	1	2	0	2	6	0	0	1	4	
	CASMA - HUARAZ	300	62	141	67	35	0	33	5	0	31	3	2	0	0	0	5	3	1	0	0	4	
	Total	620	138	262	148	70	0	75	7	0	75	12	7	1	1	2	0	7	9	1	0	1	8
Martes 12/07/2022	HUARAZ - CASMA	284	59	113	75	32	0	39	1	0	35	7	4	1	0	2	0	2	6	0	0	0	3
	CASMA - HUARAZ	263	65	141	71	34	0	33	5	0	30	3	2	1	0	1	0	7	4	1	0	1	3
	Total	547	124	254	146	66	0	72	6	0	65	10	6	2	0	3	0	9	10	1	0	1	6
Miércoles 13/07/2022	HUARAZ - CASMA	290	52	111	77	33	0	36	2	0	38	6	3	2	1	2	0	2	5	0	0	1	4
	CASMA - HUARAZ	273	73	138	63	34	0	34	5	1	32	3	1	1	0	1	1	4	5	1	0	1	5
	Total	563	125	249	140	67	0	70	7	1	70	9	4	3	1	3	1	6	10	1	0	2	9
Jueves 14/07/2022	HUARAZ - CASMA	308	51	118	82	31	0	38	1	0	40	5	4	1	0	3	0	3	5	0	0	1	4
	CASMA - HUARAZ	296	61	137	66	34	0	34	5	0	33	3	2	1	0	1	0	7	3	1	0	0	3
	Total	604	112	255	148	65	0	72	6	0	73	8	6	2	0	4	0	10	8	1	0	1	7
Viernes 15/07/2022	HUARAZ - CASMA	333	75	117	84	38	0	41	2	0	43	8	3	0	0	2	0	2	6	0	0	0	5
	CASMA - HUARAZ	294	52	139	76	36	0	36	6	0	34	5	2	1	1	0	0	5	5	2	0	1	3
	Total	627	127	256	160	74	0	77	8	0	77	13	5	1	1	2	0	7	11	2	0	1	8
Sábado 16/07/2022	HUARAZ - CASMA	357	69	126	95	39	0	47	1	0	47	7	3	1	0	3	0	3	5	1	0	0	4
	CASMA - HUARAZ	312	56	132	94	33	0	33	5	0	36	4	2	1	0	3	0	4	4	0	0	1	5
	Total	669	125	258	189	72	0	80	6	0	83	11	5	2	0	6	0	7	9	1	0	1	9
IMDs	HUARAZ - CASMA	317.0	65.9	117.7	86.9	35.0	0.0	41.0	1.6	0.1	41.1	7.0	3.6	1.0	0.3	2.6	0.1	2.4	5.4	0.3	0.0	0.6	4.0
	CASMA - HUARAZ	290.9	61.3	136.7	77.6	34.3	0.0	33.3	5.3	0.1	32.4	3.6	1.7	0.9	0.1	0.9	0.1	5.6	4.4	1.0	0.0	0.7	3.7
	Total	607.9	127.1	254.4	164.4	69.3	0.0	74.3	6.9	0.3	73.6	10.6	5.3	1.9	0.4	3.4	0.3	8.0	9.9	1.3	0.0	1.3	7.7
IMDa	HUARAZ - CASMA	321.91	66.88	119.54	88.20	35.54	0.00	43.40	1.66	0.15	43.55	7.41	3.78	1.06	0.30	2.72	0.15	2.57	5.75	0.30	0.00	0.60	4.23
	CASMA - HUARAZ	295.37	62.24	138.83	78.77	34.82	0.00	35.23	5.59	0.15	34.33	3.78	1.81	0.91	0.15	0.91	0.15	5.90	4.69	1.06	0.00	0.76	3.93
	Total	617.28	129.11	258.37	166.98	70.36	0.00	78.63	7.26	0.30	77.88	11.19	5.59	1.97	0.45	3.63	0.30	8.47	10.43	1.36	0.00	1.36	8.17
2022	Total vehículos	617	129	258	167	70	0	79	7	0	78	11	6	2	0	4	0	8	10	1	0	1	8

Tasa anual de crecimiento de vehículos livianos	rl:	0.59 %
Tasa anual de crecimiento de vehículos pesados	rp:	1.05 %
Tiempo desde el estudio hasta la ejecución (años)	n:	4

Factor de corrección estacional	Veh. Livianos	fe:	1.0155
	Veh. Pesados	fe:	1.0585

$$T_n = T_o(1+r)^{n-1}$$

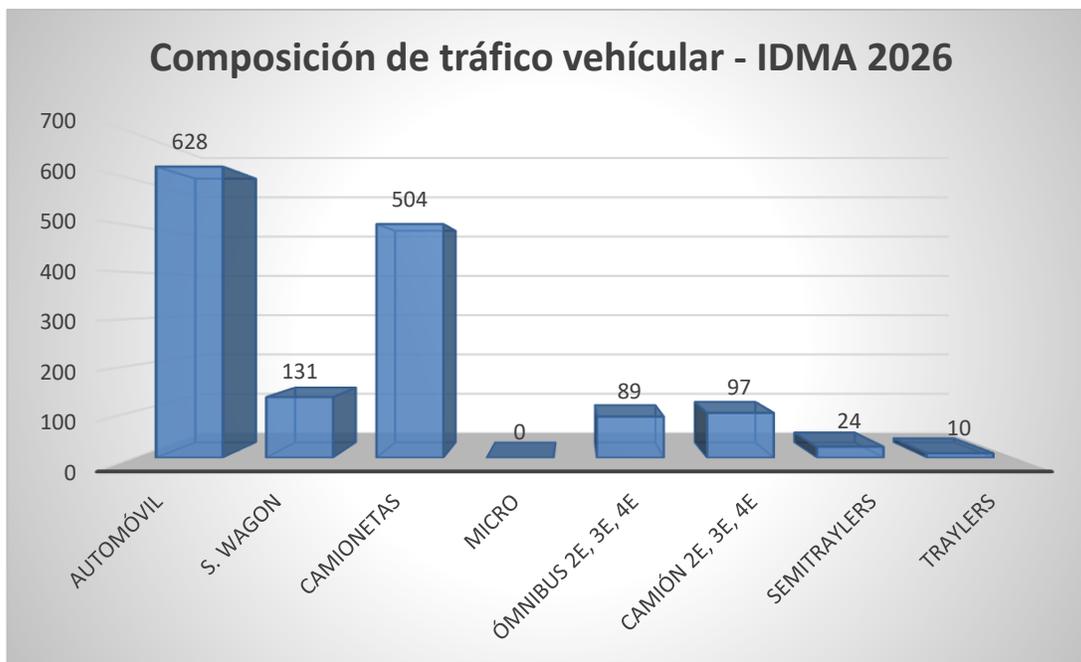
T_n = Tráfico proyectado al año "n" en vehículos/día
 T_o = Tráfico actual al año (base) en vehículos/día
 n = Año de proyección futura
 r = Tasa anual de crecimiento de tráfico

Tráfico Vehicular Proyectado:																							
2026	Total	628	131	263	170	71	0	82	7	0	80	11	6	2	0	4	0	8	10	1	0	1	8



Tipo de Vehículo		IMDA	Tipo	Número	Carga	"f" P.	f. IMDA
		2026	Eje	Llantas	EJE Tn	FLEXIBLE	FLEXIBLE
VEHÍCULO LIGERO	Autos	628.00	Simple	2	1	0.000527017	0.330966397
		628.00	Simple	2	1	0.000527017	0.330966397
	S. Wagon	131.00	Simple	2	1	0.000527017	0.069039169
		131.00	Simple	2	1	0.000527017	0.069039169
	Pick Up	263.00	Simple	2	1	0.000527017	0.138605354
		263.00	Simple	2	1	0.000527017	0.138605354
	Panel	170.00	Simple	2	1	0.000527017	0.089592814
		170.00	Simple	2	1	0.000527017	0.089592814
	Rural	71.00	Simple	2	1	0.000527017	0.037418175
		71.00	Simple	2	1	0.000527017	0.037418175
ÓMNIBUS	2E	82.00	Simple	2	7	1.265366749	103.7600734
		82.00	Simple	4	11	3.238286961	265.5395308
	3E	7.00	Simple	2	7	1.265366749	8.857567241
		7.00	Tandem	6	16	1.365944548	9.561611836
	4E	0.00	Tandem	4	14	2.196447268	0
		0.00	Tandem	6	16	1.365944548	0
CAMIÓN	2E	80.00	Simple	2	7	1.265366749	101.2293399
		80.00	Simple	4	11	3.238286961	259.0629568
	3E	11.00	Simple	2	7	1.265366749	13.91903424
		11.00	Tandem	8	18	2.019213454	22.21134799
	4E	6.00	Simple	2	7	1.265366749	7.592200492
SEMITRAYLERS		6.00	Tridem	10	23	1.508183597	9.049101584
	2S1	2.00	Simple	2	7	1.265366749	2.530733497
		2.00	Simple	4	11	3.238286961	6.476573921
		2.00	Simple	4	11	3.238286961	6.476573921
	2S2	0.00	Simple	2	7	1.265366749	0
		0.00	Simple	4	11	3.238286961	0
		0.00	Tandem	8	18	2.019213454	0
	2S3	4.00	Simple	2	7	1.265366749	5.061466995
		4.00	Simple	4	11	3.238286961	12.95314784
		4.00	Tridem	12	25	1.706026248	6.824104993
	3S1	0.00	Simple	2	7	1.265366749	0
		0.00	Tandem	8	18	2.019213454	0
		0.00	Simple	4	11	3.238286961	0
	3S2	8.00	Simple	2	7	1.265366749	10.12293399
		8.00	Tandem	8	18	2.019213454	16.15370763
		8.00	Tandem	8	18	2.019213454	16.15370763
	>=S3	10.00	Simple	2	7	1.265366749	12.65366749
		10.00	Tandem	8	18	2.019213454	20.19213454
		10.00	Tridem	12	25	1.706026248	17.06026248
	TRAYLERS	2T2	1.00	Simple	2	7	1.265366749
		1.00	Simple	4	11	3.238286961	3.238286961
		1.00	Simple	4	11	3.238286961	3.238286961
		1.00	Simple	4	11	3.238286961	3.238286961
2T3		0.00	Simple	2	7	1.265366749	0
		0.00	Simple	4	11	3.238286961	0
		0.00	Simple	4	11	3.238286961	0
		0.00	Tandem	8	18	2.019213454	0
3T2		1.00	Simple	2	7	1.265366749	1.265366749
		1.00	Tandem	8	18	2.019213454	2.019213454
		1.00	Simple	4	11	3.238286961	3.238286961
		1.00	Simple	4	11	3.238286961	3.238286961
>=3T3		8.00	Simple	2	7	1.265366749	10.12293399
		8.00	Tandem	8	18	2.019213454	16.15370763
		8.00	Simple	4	11	3.238286961	25.90629568
		8.00	Tandem	8	18	2.019213454	16.15370763

EJES EQUIVALENTES DE CARGA (ESAL)



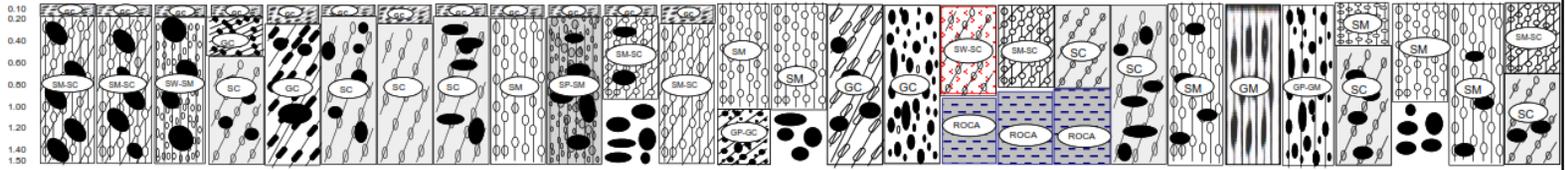
Pavimento flexible		
Tasa anual de crecimiento de vehículos pesados	rp:	1.05 %
Tiempo de vida útil de pavimento (años)	n:	20
Factor Fca para veh. pesados	$Factor Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$	Fca
		22.13
N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido		1 calzada, 2 sentidos, 1 carril por sentido
Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)	Fc*Fd	0.50
Ejes equivalentes de carga (ESAL)	ESAL	4 134 396
#EE = 365 * ($\Sigma f. IMDa$) * Fd * Fc * Fca		

ANEXO 03: ESTUDIO DE SUELOS

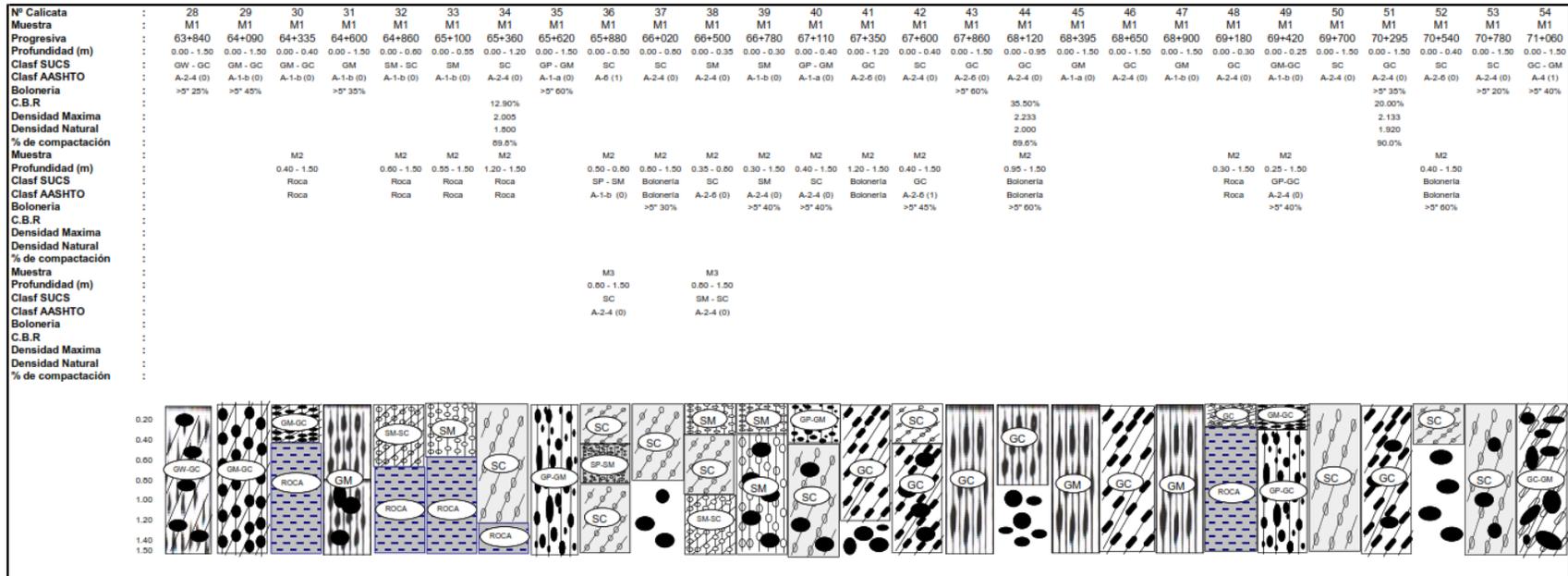


PERFIL ESTRATIGRÁFICO - KM 56+480 AL KM 63+555

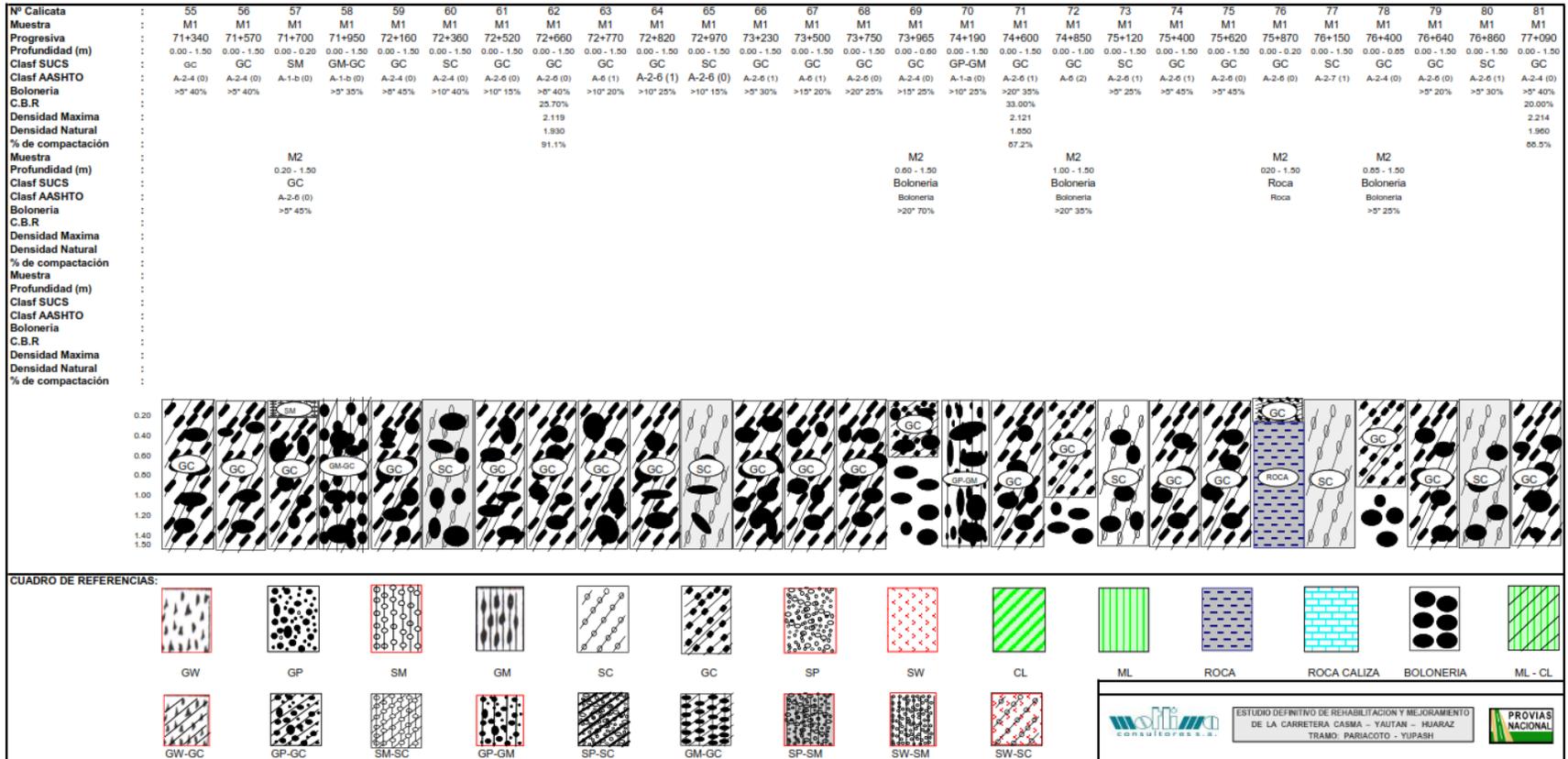
Nº Calicata	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Muestra	M1																											
Progresiva	56+480	56+750	57+000	57+230	57+450	57+640	57+920	58+400	58+700	58+980	59+200	59+400	59+740	60+000	60+250	60+500	60+750	61+000	61+250	61+520	61+780	61+950	62+100	62+430	62+760	63+260	63+555	
Profundidad (m)	0.00 - 0.15	0.00 - 0.10	0.00 - 0.15	0.00 - 0.15	0.00 - 0.20	0.00 - 0.15	0.00 - 0.20	0.00 - 0.15	0.00 - 0.15	0.00 - 0.15	0.00 - 0.15	0.00 - 0.20	0.00 - 1.00	0.00 - 1.00	0.00 - 1.50	0.00 - 1.50	0.00 - 0.90	0.00 - 0.80	0.00 - 0.90	0.00 - 1.50	0.00 - 1.50	0.00 - 1.50	0.00 - 1.50	0.00 - 0.45	0.00 - 1.10	0.00 - 1.50	0.00 - 0.75	
Clasf SUCS	GC	SM	SM	GC	GC	SW-SC	SM-SC	SC	SC	SM	GM	GP-GM	SM	SM	SM	SM-SC												
Clasf AASHTO	A-2-6 (0)	A-2-4 (0)	A-1-b (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-1-a (0)	A-2-4 (0)	A-2-6 (0)	A-2-6 (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-2-4 (0)	A-1-a (0)	A-1-b (0)												
Boloneria															>10* 10%					>10* 20%	>10* 40%	>5* 20%	>5* 35%			A-1-b (0)	A-1-b (0)	
C.B.R														30.10%													>5* 40%	22.10%
Densidad Maxima														2.182														2.141
Densidad Natural														1.950														1.900
% de compactación														59.4%														66.7%
Muestra	M2			M2	M2	M2					M2	M2		M2														
Profundidad (m)	0.15 - 1.50	0.10 - 1.50	0.15 - 1.50	0.15 - 0.50	0.20 - 1.50	0.15 - 1.50	0.20 - 1.50	0.15 - 1.50	0.15 - 1.50	0.15 - 1.50	0.15 - 1.50	0.15 - 1.50	0.20 - 1.50	1.00 - 1.50	1.00 - 1.50		0.90 - 1.50	0.80 - 1.50	0.80 - 1.50					0.45 - 1.50	1.10 - 1.50		0.75 - 1.50	
Clasf SUCS	SM-SC	SM-SC	SW-SM	GC	GC	SC	SC	SC	SM	SP-SM	SM-SC	SM-SC	GP-GC	Boloneria		Roca	Roca	Roca						SC	Boloneria		SC	
Clasf AASHTO	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-2-4 (0)	A-2-6 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-6 (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-2-6 (0)	Boloneria		Roca	Roca	Roca						A-2-4 (0)	Boloneria		A-2-6 (0)	
Boloneria	>5* 50%	>5* 40%	>20* 45%		>5* 25%	>5* 35%			>20* 40%			>20* 50%	<20* 45%	>5* 40%											>5* 30%	>5* 60%		>5* 45%
C.B.R		17.00%																										
Densidad Maxima		2.095																										
Densidad Natural		1.670																										
% de compactación		69.3%																										
Muestra					M3						M3																	
Profundidad (m)					0.50 - 1.50						1.00 - 1.50																	
Clasf SUCS					SC						Boloneria																	
Clasf AASHTO					A-2-6 (0)						Boloneria																	
Boloneria											<25* 55%																	
C.B.R																												
Densidad Maxima																												
Densidad Natural																												
% de compactación																												



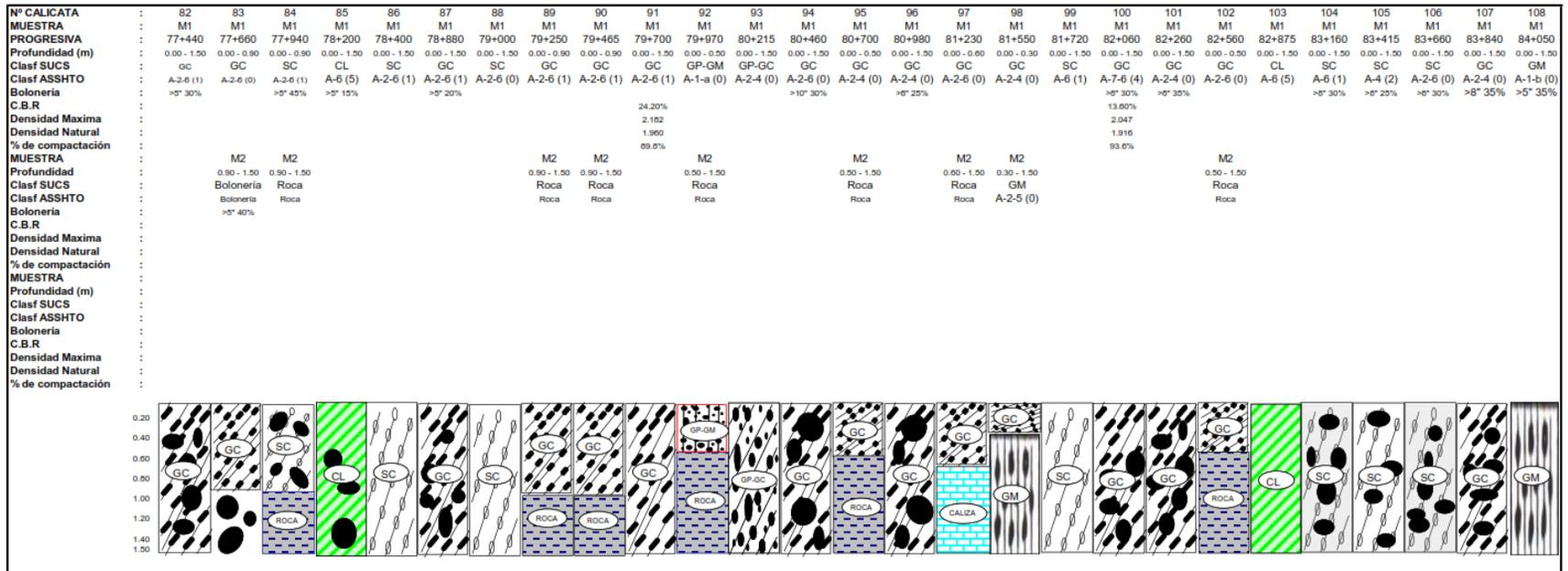
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - KM 63+840 AL KM 71+060



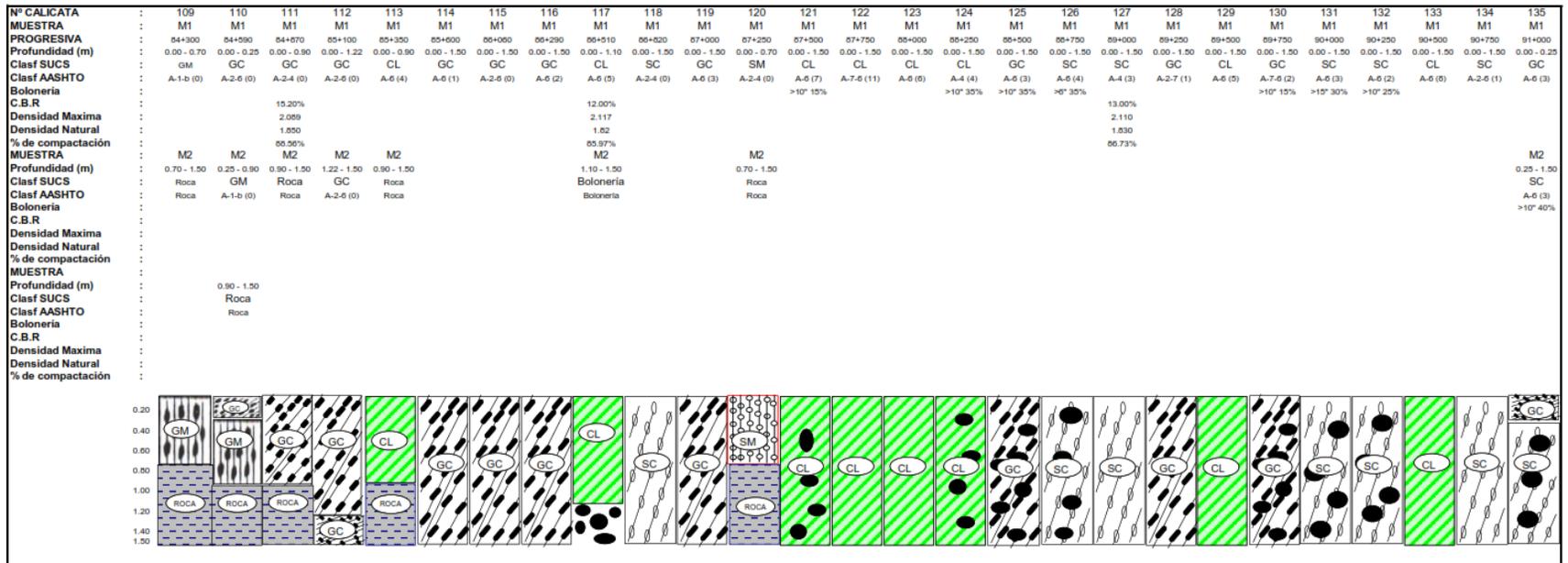
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - KM 71+340 AL KM 77+090



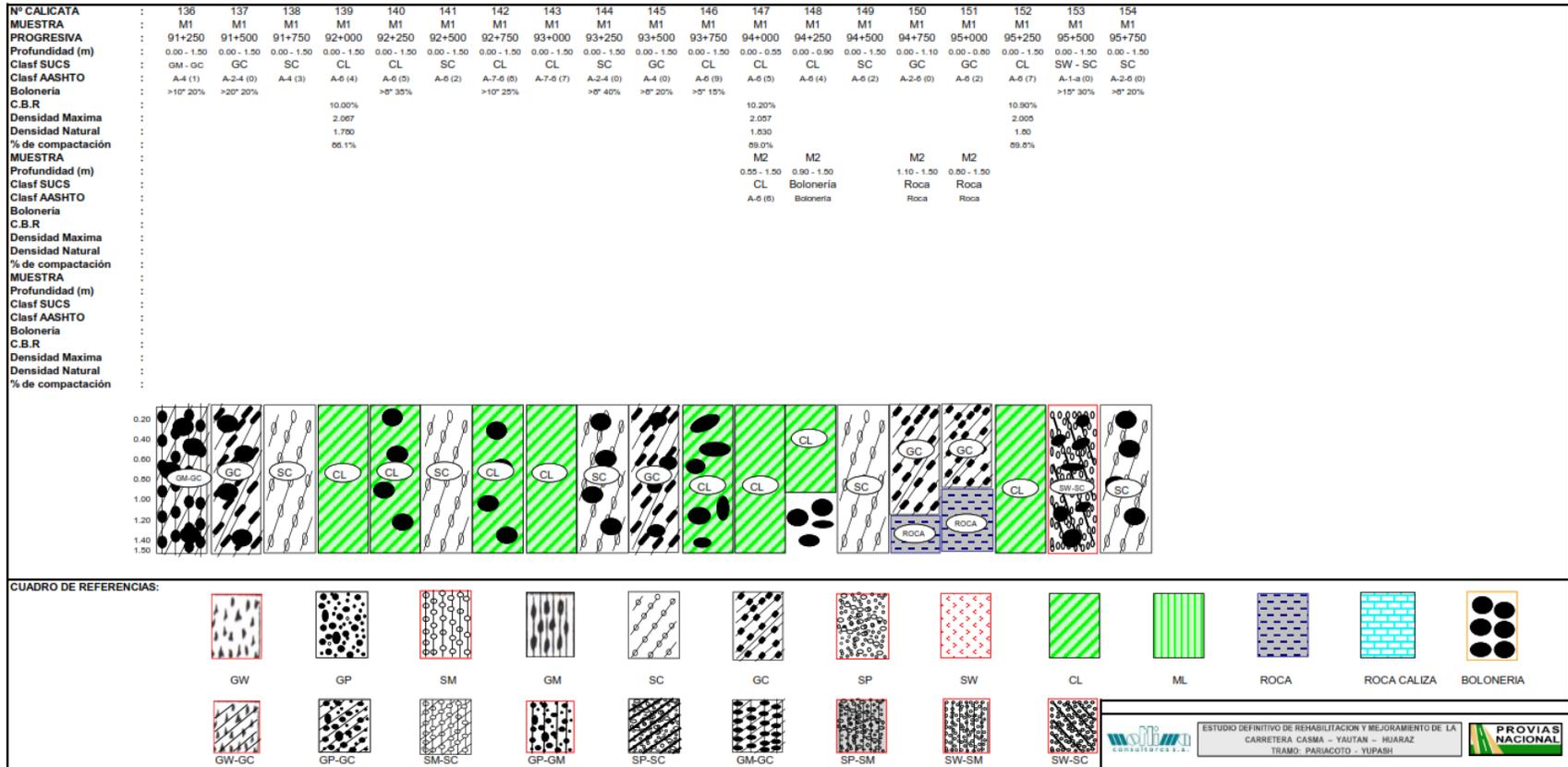
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - KM 77+440 AL KM 84+050



PERFIL ESTRATIGRÁFICO - KM 84+300 AL KM 91+000



PERFIL ESTRATIGRÁFICO - KM 91+250 AL KM 95+750





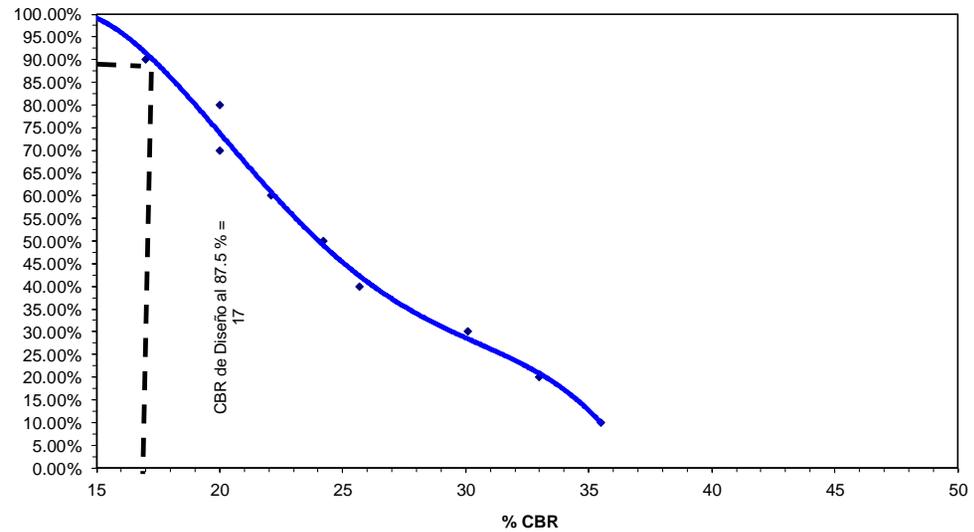
ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CASMA -
YAUTAN - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH



CBR DE DISEÑO - TRAMO Km 56+480 al Km 87+500
PERIODO DE DISEÑO = 20 AÑOS

Determinación del CBR de Diseño

Progresiva	% CBR	N° Calicata	Muestra	Profund.	perc. (%)
68+120	35.5	44.00	M1	0.00-0.95	10.00%
74+600	33.0	71.00	M1	0.00-1.50	20.00%
60+000	30.1	14.00	M1	0.00-1.00	30.00%
72+660	25.7	62.00	M1	0.00-1.50	40.00%
79+700	24.2	91.00	M1	0.00-1.50	50.00%
63+260	22.1	26.00	M1	0.00-1.50	60.00%
70+295	20.0	51.00	M1	0.00-1.50	70.00%
77+090	20.0	81.00	M1	0.00-1.50	80.00%
56+750	17.0	2.00	M2	0.20-1.50	90.00%
65+360	12.9	34.00	M1	0.00-1.20	100.00%



Número de Datos 10
 Promedio 24.05
 Desviación Estándar (Sn) 7.16
 Desviación Estándar (Sn-1) 6.79
 Coeficiente de Variación 0.28
 CBR de Diseño al 87.5% 17
 Mr de Diseño 15663.12
 $Mr = 2555 \times (CBR)^{0.64}$





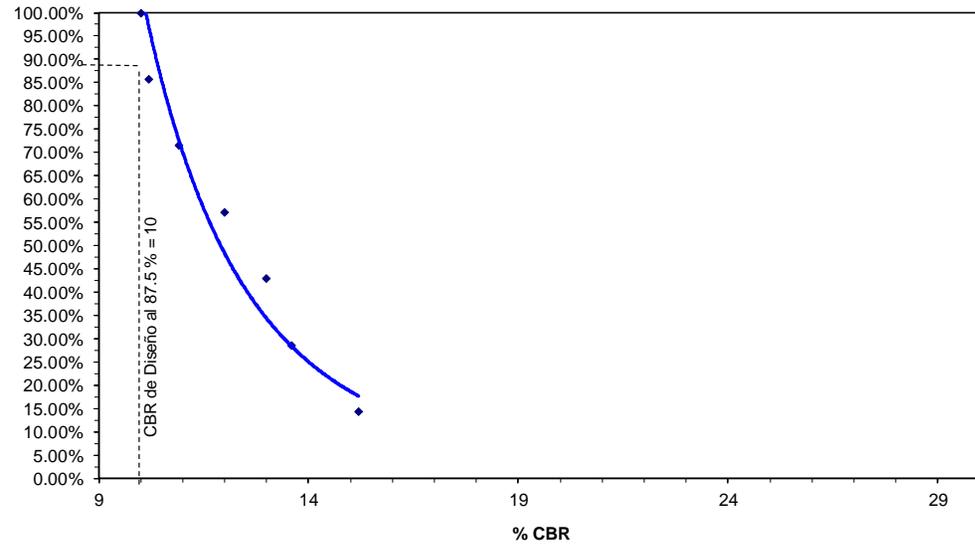
ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CASMA -
YAUTAN - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH



CBR DE DISEÑO - TRAMO Km 87+500 al Km 95+805
PERIODO DE DISEÑO = 20 AÑOS

Determinación del CBR de Diseño

Progresiva	% CBR	N° Calicata	Muestra	Profund.	perc. (%)
84+870	15.2	111.0	M1	0.00-0.90	14.29%
82+060	13.6	100.0	M1	0.00-1.50	28.57%
89+000	13.0	127.0	M1	0.00-1.50	42.86%
86+510	12.0	117.0	M1	0.00-1.10	57.14%
95+250	10.9	152.0	M1	0.00-1.50	71.43%
94+000	10.2	147.0	M1	0.00-1.50	85.71%
92+000	10.0	139.0	M1	0.00-1.50	100.00%



Número de Datos 7
 Promedio 12.13
 Desviación Estándar (Sn) 1.92
 Desviación Estándar (Sn-1) 1.78
 Coeficiente de Variación 0.15
 CBR de Diseño al 87.5% 10
 Mr de Diseño 11152.98
 Mr = 2555 x (CBR) ^ 0.64





ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CASER - YANJAN - HIRASAZ TRAMO: PARACOTO - YUPASH



RESUMEN RESULTADOS DE ENSAYOS DE PLATAFORMA

Calicata N°	Prog. KM.	N° de muestras Profundidad en mts.	LL %	LP %	IP %	% H. Natural	% pasante mala N° 2'	% pasante mala N° 4	% pasante mala N° 10	% pasante mala N° 40	% pasante mala N° 200	AASHTO	SUCS
C1M1	56-480	00 a 0.15	26.47	16.39	10.08	3.6	91.2	47.8	40.4	21.1	12.8	A-2-6 (0)	GC
C1M2	56-480	0.15 a 1.50	21.1	15.25	6.85	3.5	95.6	68.3	59.4	37.9	21.6	A-1-1 (0)	SM - SC
C2M1	56-750	00 a 0.10	25.2	17.08	8.12	3	91.9	48.7	43.3	31.7	20.7	A-2-4 (0)	GC
C2M2	56-750	0.10 a 1.50	22	16.18	5.82	3.6	96.6	68.3	59.2	37.2	20.5	A-1-1 (0)	SM - SC
C3M1	57-4000	00 a 0.15	27.15	17.56	9.59	3.9	95.9	46	36.9	27.6	15.2	A-2-4 (0)	GC
C3M2	57-4000	0.15 a 1.50	20.87	NP	NP	3.9	89	82.1	75.4	35.8	10.2	A-1-1 (0)	SW - SM
C4M1	57-230	0.15 a 0.50	27.19	19	8.19	2.2	82.4	48.4	39.9	28.3	14.7	A-2-4 (0)	GC
C4M2	57-230	0.15 a 0.50	26.96	18.34	6.82	3.7	80.6	51.3	47.5	37.6	31.8	A-2-4 (0)	GC
C4M3	57-230	0.50 a 1.50	31.98	20	11.98	7.6	93.2	72.2	61.5	41.5	28.4	A-2-6 (0)	GC
C5M1	57-450	00 a 0.20	26.5	18.07	8.43	7.6	96.6	47.1	36.5	27.5	17.8	A-2-4 (0)	GC
C5M2	57-450	0.20 a 1.50	30.52	18.51	12.01	3.3	97.5	55.8	45.2	29.2	19.2	A-2-6 (0)	GC
C6M1	57-640	00 a 0.15	25.62	18.01	7.61	6.7	97.5	51	38.3	28.1	17.9	A-2-4 (0)	GC
C6M2	57-640	0.15 a 1.50	28.23	16.9	9.33	5.1	100	78.2	67.2	45.8	30.4	A-2-4 (0)	SC
C7M1	57-620	00 a 0.20	29.12	20.39	8.73	5.4	98.1	52.6	39.9	29.3	17.7	A-2-4 (0)	GC
C7M2	57-620	0.20 a 1.50	23.64	20.11	6.93	5.8	100	76.2	67.8	33.1	21.1	A-2-4 (0)	GC
C8M1	58-400	00 a 0.15	27.05	18.02	9.03	3.1	84.6	53.4	42.8	29.9	15.3	A-2-4 (0)	GC
C8M2	58-400	0.15 a 1.50	34.01	18.71	15.3	3.3	100	68.9	49.5	24.2	15.7	A-2-6 (0)	GC
C9M1	58-700	00 a 0.15	27.35	18.07	9.28	2.3	98.1	51	40.9	30.5	17.5	A-2-4 (0)	GC
C9M2	58-700	0.15 a 1.50	19.86	16.08	3.78	3.25	100	67.5	55.2	32.7	16.2	A-1-1 (0)	SM
C10M1	58-880	00 a 0.15	26.86	17.71	9.15	3.1	97.1	49.8	37.9	28.3	14.9	A-2-4 (0)	GC
C10M2	58-880	0.15 a 1.50	19.3	NP	NP	3.1	95.5	64.6	55	31.2	12	A-1-1 (0)	SM
C11M1	59-200	00 a 0.15	27.85	18.48	9.37	1.5	97.4	58.3	47.4	35	19.6	A-2-4 (0)	GC
C11M2	59-200	0.15 a 1.00	20.5	15.67	4.83	3.9	100	74.2	64	38.6	20.4	A-1-1 (0)	SM - SC
C11M3	59-200	1.00 a > 1.50 (boloneria)											
C12M1	59-400	00 a 0.20	28.4	19.53	8.87	2	98.4	50.6	41.6	28.1	14.1	A-2-4 (0)	GC
C12M2	59-400	0.20 a 1.50	19.33	14.76	4.57	3.9	100	75.8	58.1	28.6	16.4	A-1-1 (0)	SM - SC
C13M1	59-740	00 a 1.00	28.85	NP	NP	6.8	100	85	76.9	53.1	32.2	A-2-4 (0)	SM
C13M2	59-740	1.00 a 1.50	23.85	NP	NP	6.7	75.8	43.6	35.6	13.7	11.2	A-2-4 (0)	GP - GC
C14M1	60-000	0.00 a 1.00	18.5	NP	NP	4.54	100	75.7	62.7	36.5	15.7	A-1-1 (0)	SM
C14M2	60-000	1.00 a > 1.50 (boloneria)											
C15M1	60-250	0.00 a 1.50	24.8	16.69	8.11	5.1	68.5	63.3	48.6	30.9	15.1	A-2-4 (0)	GC
C16M1	60-500	0.00 a 1.50	27.02	17.07	9.95	6	89.4	43.3	36.9	16.4	2.2	A-2-4 (0)	GC
C17M1	60-750	0.00 a 0.90	21.2	16.98	4.22	3.64	96	54.7	40.5	20.1	9.3	A-1-1 (0)	SW - SC
C17M2	60-750	0.90 a > 1.50 (roca)											
C18M1	61-000	0.00 a 0.80	24.7	18.1	6.6	3.4	100	77.7	68.7	40.6	20.9	A-2-4 (0)	SM - SC
C18M2	61-000	0.80 a > 1.50 (roca)											
C19M1	61-250	0.00 a 0.80	29.4	18.9	10.5	3.2	90.7	79.9	73.2	52.7	31	A-2-6 (0)	SC
C19M2	61-250	0.80 a > 0.8 (roca)											
C20M1	61-420	0.00 a 1.50	30.25	18.92	11.33	5.6	100	77.4	68.7	45.7	27.5	A-2-6 (0)	SC
C21M1	61-780	0.00 a 1.50	20.05	NP	NP	6.3	85.3	70.4	70.6	47.2	17.5	A-1-1 (0)	SM
C22M1	61-950	0.00 a 1.50	23.37	NP	NP	5.74	80.4	60.4	50.4	40.7	24.4	A-1-1 (0)	GM
C23M1	62-100	0.00 a 1.50	21.1	NP	NP	5	89.8	48.9	40.6	19.8	7.9	A-1-1 (0)	GP - GM
C24M1	62-430	0.00 a 0.45	32.42	23.56	8.86	7.8	100	78	62.4	39.7	27.9	A-2-4 (0)	SM
C24M2	62-430	0.45 a 1.50	30.56	20.95	9.61	6.67	84.7	65.9	58.8	36.9	20.7	A-2-4 (0)	SC
C25M1	62-760	0.00 a 1.10	19.6	15.98	3.62	4.6	100	58.9	48.1	29.9	14.9	A-1-1 (0)	SM
C25M2	62-760	1.10 a > 1.10 (boloneria)											
C26M1	63-260	0.00 a 1.50	17.76	NP	NP	3.5	86.1	66.9	57	35.6	18.3	A-1-1 (0)	SM
C27M1	63-555	0.00 a 0.75	17.65	13.38	4.27	6.1	100	75.4	63.3	32.5	16.1	A-1-1 (0)	SM - SC
C27M2	63-555	0.75 a 1.50	27.05	16.11	10.94	6.1	100	69.8	61.5	37.5	23.8	A-2-6 (0)	SC
C28M1	63-840	0.00 a 1.50	23.92	16.06	7.86	6.1	77.9	33.6	26.4	15.8	9.1	A-2-4 (0)	GM - GC
C29M1	64-090	0.00 a 1.50	20.65	14.89	5.76	3	85.2	44.2	37.7	27.7	17.8	A-1-1 (0)	GM - GC
C30M1	64-335	0.00 a 0.40	21.45	15.79	5.66	3.4	83	36.3	30.3	23.1	15.6	A-1-1 (0)	GM - GC
C30M2	64-335	0.40 a > 1.50 (roca)											
C31M1	64-600	0.00 a 1.50	20.2	NP	NP	3.4	84.1	55.1	45.7	31.8	19.1	A-1-1 (0)	GM
C32M1	64-860	0.00 a 0.60	20.3	14.76	5.54	3	100	67.8	57.7	38.9	22.6	A-1-1 (0)	SM - SC
C32M2	64-860	0.60 a > 1.50 (roca)											
C33M1	65-100	0.00 a 0.55	16.98	NP	NP	5.8	100	74.6	60.6	37.6	16.7	A-1-1 (0)	SM
C33M2	65-100	0.55 a > 1.50 (roca)											
C34M1	65-360	0.00 a 1.20	23.57	15.25	8.32	5.4	93.6	62.3	55.1	39.2	19.7	A-2-4 (0)	SC
C34M2	65-360	1.20 a > 1.50 (roca)											
C35M1	65-420	0.00 a 1.50	17.55	NP	NP	3.1	95.6	44	31.4	18.3	8.8	A-1-1 (0)	GP - GM
C36M1	65-880	0.00 a 0.50	28.85	18.52	10.33	2.6	100	96.1	91.2	67	38.4	A-6 (1)	SC
C36M2	65-880	0.50 a 0.80	18.44	NP	NP	3.25	100	75.4	57.9	20.9	6	A-1-1 (0)	SP - SM
C36M3	65-880	0.80 a 1.50	27.3	17.69	9.61	3.8	100	94.2	88.6	61.4	34.6	A-2-4 (0)	SC
C37M1	66-020	0.00 a 0.80	23.38	16.01	7.37	3.9	100	88.3	85.7	58.5	27.4	A-2-4 (0)	SC
C37M2	66-020	0.80 a > 1.50 (boloneria)											
C38M1	66-500	0.00 a 0.35	19.9	16.51	3.39	3	100	94.2	90.7	59.8	18.9	A-2-4 (0)	SM
C38M2	66-500	0.35 a 0.80	28.64	17.52	11.12	4.6	100	93.6	89.4	57.5	26.6	A-2-6 (0)	SC
C38M3	66-500	0.80 a 1.50	23.55	17.07	6.48	2.7	100	96.6	94.8	47.6	15.6	A-2-4 (0)	SM - SC
C39M1	66-780	0.00 a 0.30	21	NP	NP	3.7	83.4	81.7	73.1	43.5	15.2	A-1-1 (0)	SM
C39M2	66-780	0.30 a 1.50	21.1	NP	NP	3.7	100	94	91.3	56.3	15.3	A-2-4 (0)	SM
C40M1	67-110	0.00 a 0.40	17.35	NP	NP	5.1	87	48.7	40.1	24.3	7.1	A-1-1 (0)	GP - GM
C40M2	67-110	0.40 a 1.50	26.5	17.54	7.95	10.2	100	65.9	59.3	42.8	26.2	A-2-4 (0)	GC
C41M1	67-350	0.00 a 1.20	31.02	20.34	10.68	4	83.3	36.7	29.6	20.8	13.7	A-2-6 (0)	GC
C41M2	67-350	1.20 a > 1.50 (boloneria)											
C42M1	67-600	0.00 a 0.40	27.92	18.52	9.4	4.2	100	73.7	66.6	53	27.5	A-2-4 (0)	SC
C42M2	67-600	0.40 a 1.50	34.6	20.32	14.28	4.2	93.5	63.4	58.5	44.2	27.2	A-2-6 (1)	GC
C43M1	67-860	0.00 a 1.50	21.1	17.88	3.22	5.1	100	55.2	46	33.9	24.9	A-2-6 (0)	GC
C44M1	68-120	0.00 a 0.45	27.02	18.89	8.13	3.1	88.3	40.3	33.4	23.9	15.3	A-2-4 (0)	GC
C44M2	68-120	0.45 a > 1.50 (boloneria)											
C45M1	68-395	0.00 a 1.50	19.18	NP	NP	4	91.8	41.9	34	22.9	13.2	A-1-1 (0)	GM
C46M1	68-650	0.00 a 1.50	26.45	17.78	8.67	3	97.3	54.9	46.2	35	23.5	A-2-4 (0)	GC
C47M1	68-900	0.00 a 1.50	23.33	20.55	2.78	3.5	100						



ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA
CARRERA CASMA - YAUTAN - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH



RESUMEN RESULTADOS DE ENSAYOS DE PLATAFORMA

Calicata N°	Prog. KM.	N° de muestras Profundidad en mts.	L.L. %	LP %	LP %	% H. Natural	% pasante malla N° 2"	% pasante malla N° 4	% pasante malla N° 10	% pasante malla N° 40	% pasante malla N° 200	AASHTO	SUCS	
C78M1	76+400	0.00 a 0.85	31.2	21.41	9.79	3.2	100	53	40.6	26.6	17.8	A-2-4 (0)	GC	
C78M2	76+400	0.85 a > 1.50 (bolonería)	Bolonería											
C79M1	76+640	0.00 a 1.50	33.2	18.89	14.31	4	100	47.2	40.9	29.5	21	A-2-6 (0)	GC	
C80M1	76+860	0.00 a 1.50	34.05	18.39	15.66	3.1	100	68.1	55.8	37	25.2	A-2-6 (1)	SC	
C81M1	77+090	0.00 a 1.50	27.5	18.01	9.49	3.2	100	66.7	58.6	47.5	33.9	A-2-4 (0)	GC	
C82M1	77+440	0.00 a 1.50	30.79	17.35	13.44	3.9	100	50.6	46.5	38.3	31	A-2-6 (1)	GC	
C83M1	77+660	0.00 a 0.90	26.05	15.48	10.57	3.6	100	54.8	52.1	44.4	34.9	A-2-6 (0)	GC	
C83M2	77+660	0.90 a > 1.50 (bolonería)	Bolonería											
C84M1	77+940	0.00 a 0.90	32.86	16.08	16.78	5.8	100	67.1	53.7	37	28.2	A-2-6 (1)	SC	
C84M2	77+940	0.90 a > 1.50 (roca)	Roca											
C85M1	78+200	0.00 a 1.50	29.97	17.26	12.71	6.3	100	84	79	66.4	53.4	A-6 (5)	CL	
C86M1	78+400	0.00 a 1.50	31.58	17.02	14.56	4.6	100	74.6	60.6	43.3	34.2	A-2-6 (1)	SC	
C87M1	78+880	0.00 a 1.50	32.5	17.16	15.34	3.5	100	50.7	46	38.6	30.4	A-2-6 (1)	GC	
C88M1	79+000	0.00 a 1.50	30	17.82	12.18	6.5	100	75.5	66	49	33.5	A-2-6 (0)	SC	
C89M1	79+250	0.00 a 0.90	35.71	19.47	16.24	5.3	100	64.1	56.1	44.8	34.4	A-2-6 (1)	GC	
C89M2	79+250	0.90 a > 1.50 (roca)	Roca											
C90M1	79+465	0.00 a 0.90	29.58	16.2	13.28	5.4	100	58.6	51.1	40.6	30.8	A-2-6 (1)	GC	
C90M2	79+465	0.90 a > 1.50 (roca)	Roca											
C91M1	79+700	0.00 a 1.50	34.8	20.45	14.35	3.6	100	60.8	52.3	42.2	33.8	A-2-6 (1)	GC	
C92M1	79+970	0.00 a 0.50	18.87	NP	NP	5	100	46.8	34.5	18.6	11.9	A-1-a (0)	GP - GM	
C92M2	79+970	0.50 a > 1.50 (roca)	Roca											
C93M1	80+215	0.00 a 1.50	32.24	22.35	9.89	4.16	97	34.2	24.8	14.9	10.1	A-2-4 (0)	GP - GC	
C94M1	80+460	0.00 a 1.50	30.73	17.18	13.55	4.87	100	57.5	48.6	36.9	27.7	A-2-6 (0)	GC	
C95M1	80+700	0.00 a 0.50	28.05	19.26	8.79	3.7	100	64.1	56.5	43.7	30.2	A-2-4 (0)	GC	
C95M2	80+700	0.50 a > 1.50 (roca)	Roca											
C96M1	80+980	0.00 a 1.50	25.85	17.19	8.66	3.8	100	58.8	49.8	36.9	25.8	A-2-4 (0)	GC	
C97M1	81+230	0.00 a 0.60	34.93	22.77	12.16	4.7	100	60.8	51.7	40.3	29.2	A-2-6 (0)	GC	
C97M2	81+230	0.60 a > 1.50 (roca)	Roca											
C98M1	81+550	0.00 a 0.30	26.44	18.67	7.77	3.1	100	59.1	52.6	42.7	30.8	A-2-4 (0)	GC	
C98M2	81+550	0.30 a 1.50	43.67	34.88	8.79	4.88	85.7	43.8	38.6	31.8	20.4	A-2-5 (0)	GM	
C99M1	81+720	0.00 a 1.50	32	20.65	11.35	4.08	100	67.9	65.2	44.9	36.6	A-6 (1)	SC	
C100M1	82+060	0.00 a 1.50	42.36	23.02	19.34	4.5	100	67.1	60.3	49.8	41.7	A-7-6 (4)	GC	
C101M1	82+260	0.00 a 1.50	27.1	19.19	7.91	3.38	93.4	51.7	45.1	34.7	21.5	A-2-4 (0)	GC	
C102M1	82+560	0.00 a 0.50	26.67	16.08	10.59	4.44	100	61.4	55.2	45.5	31.8	A-2-6 (0)	GC	
C102M2	82+560	0.50 a > 1.50 (roca)	Roca											
C103M1	82+875	0.00 a 1.50	35.01	21.61	13.4	8.1	100	78.2	72.6	64	51.5	A-6 (5)	CL	
C104M1	83+160	0.00 a 1.50	24.92	14.89	10.03	7.2	94.8	74.1	70.7	64.4	40.1	A-6 (1)	SC	
C105M1	83+415	0.00 a 1.50	25.37	17.95	7.42	10.2	100	75.6	71.4	62.9	45.6	A-4 (2)	SC	
C106M1	83+660	0.00 a 1.50	30.3	18.31	11.99	4.3	100	79	74.7	55.4	30.3	A-2-6 (0)	SC	
C107M1	83+840	0.00 a 1.50	24.47	16.24	8.23	3.88	96.2	56.9	52.8	32.9	15.3	A-2-4 (0)	GC	
C108M1	84+050	0.00 a 1.50	27.23	24.28	2.95	3.99	100	57.4	49.2	32.8	16.8	A-1-b (0)	GM	
C109M1	83+400	0.00 a 0.70	20.6	NP	NP	3.3	100	59.7	54	45.9	24.4	A-1-b (0)	GM	
C109M2	83+400	0.70 a > 1.50 (roca)	Roca											
C110M1	84+590	0.00 a 0.25	29.38	17.57	11.81	3.2	100	48.4	41.8	34.5	25	A-2-6 (0)	GC	
C110M2	84+590	0.25 a 0.90	21.7	NP	NP	4.2	94.9	38.4	30.1	21.9	17.1	A-1-b (0)	GM	
C110M3	84+590	0.90 a > 1.50 (roca)	Roca											
C111M1	84+870	0.00 a 0.90	27.98	20.24	7.74	3.3	100	50.9	39.2	27.6	19.3	A-2-4 (0)	GC	
C111M2	84+870	0.90 a > 1.50 (roca)	Roca											
C112M1	85+100	0.00 a 1.22	30.72	18.76	11.96	4	92.5	31.5	22	9.3	4.4	A-2-6 (0)	GC	
C112M2	85+100	1.22 a 1.50	32.85	21.17	11.68	6.7	100	37.5	30.9	21	14.5	A-2-6 (0)	GC	
C113M1	85+350	0.00 a 0.90	31.73	20.6	11.13	3.5	100	69	64	58.5	50.7	A-6 (4)	CL	
C113M2	85+350	0.90 a > 1.50 (roca)	Roca											
C114M1	85+600	0.00 a 1.50	33.32	21.98	11.34	3.7	100	59	54.5	46.9	40.2	A-6 (1)	GC	
C115M1	86+060	0.00 a 1.50	33.54	20.04	13.5	3.9	100	36.5	33.3	28.8	23.6	A-2-6 (0)	GC	
C116M1	86+290	0.00 a 1.50	34.1	18.65	15.45	3.82	98.7	57	52.8	46.9	40.5	A-6 (2)	GC	
C117M1	86+510	0.00 a 1.10	30.12	19.71	10.41	3.16	100	72.4	70.7	66.5	58.6	A-6 (5)	CL	
C117M2	86+510	1.10 a > 1.50 (bolonería)	Bolonería											
C118M1	86+820	0.00 a 1.50	24.12	15.06	9.06	4	100	72.4	66.2	53.8	30.9	A-2-4 (0)	SC	
C119M1	87+000	0.00 a 1.50	39.72	23.58	16.14	3.7	100	66.4	60.2	51.1	40.4	A-6 (3)	GC	
C120M1	87+250	0.00 a 0.70	23.88	NP	NP	6	100	96.1	88.9	57.3	27.5	A-2-4 (0)	SM	
C120M2	87+250	0.70 a > 1.50 (roca)	Roca											
C121M1	87+500	0.00 a 1.50	29.14	17.59	11.55	8.3	100	94.5	90.7	80.7	65.5	A-6 (7)	CL	
C122M1	87+750	0.00 a 1.50	48.65	26.42	22.23	9.6	100	91.2	87.3	72.5	59.2	A-7-6 (11)	CL	
C123M1	88+000	0.00 a 1.50	37.68	21.23	16.45	5.8	100	91.9	83.7	66.7	51.3	A-6 (6)	CL	
C124M1	88+250	0.00 a 1.50	28.03	18.72	9.31	5.6	100	91.5	85.6	71.9	53.4	A-4 (4)	CL	
C125M1	88+500	0.00 a 1.50	33.45	19.72	13.73	3.77	100	69.9	65.3	54.2	43.2	A-6 (3)	GC	
C126M1	88+750	0.00 a 1.50	33.1	20.09	13.01	4.8	100	85.2	78.6	65.4	47.9	A-6 (4)	SC	
C127M1	89+000	0.00 a 1.50	29.2	20.45	8.75	3.5	100	88.7	83.1	69.3	48.2	A-4 (3)	SC	
C128M1	89+250	0.00 a 1.50	40.73	20.93	19.8	0.9	100	56	50.9	40.1	30	A-2-7 (1)	GC	
C129M1	89+500	0.00 a 1.50	30.52	19.2	11.32	5.4	100	80.6	78.1	70.5	58.7	A-6 (5)	CL	
C130M1	89+750	0.00 a 1.50	40.65	21.69	18.96	4	100	64.2	57.9	45.1	35.8	A-7-6 (2)	GC	
C131M1	90+000	0.00 a 1.50	33.55	20.65	12.9	3.8	100	74.8	68.3	56.8	44.3	A-6 (3)	SC	
C132M1	90+250	0.00 a 1.50	32.72	21.59	11.13	5.5	100	84.7	78.2	62.8	45.6	A-6 (2)	SC	
C133M1	90+500	0.00 a 1.50	29.95	17.69	12.26	5.9	100	91.1	88	80.9	71.2	A-6 (8)	CL	
C134M1	90+750	0.00 a 1.50	34.59	19.9	14.69	4.2	100	68.8	62.6	52.5	42.5	A-2-6 (1)	SC	
C135M1	91+000	0.00 a 0.25	33.98	21.03	12.95	4.8	90.7	65.7	60.5	54.7	45	A-6 (3)	GC	
C135M2	91+000	0.25 a 1.50	30.89	19.06	11.83	4.8	94.8	67.7	63.6	56.2	45.6	A-6 (3)	SC	
C136M1	91+250	0.00 a 1.50	26.04	19.53	6.51	3.7	100	59.9	54.5	46.6	38	A-4 (1)	GM-GC	
C137M1	91+500	0.00 a 1.50	28.22	19.04	9.18	3.77	78.4	50.4	46.5	38.9	28.8	A-2-4 (0)	GC	
C138M1	91+750	0.00 a 1.50	31.42	21.61	9.81	3.6	100	74.2	72.5	56.1	48	A-4 (3)	SC	
C139M1	92+000	0.00 a 1.50	31.92	19.71	12.21	4	100	86.9	77.7	62.3	51.9	A-6 (4)	CL	
C140M1	92+250	0.00 a 1.50	32.02	20.62	11.4	4.9	100	85.1	80.1	70	57.4	A-6 (5)	CL	
C141M1	92+500	0.00 a 1.50	32.72	20.68	12.04	4.1	100	78.2	70.9	55.9	43.6	A-6 (2)	SC	
C142M1	92+750	0.00 a 1.50	45.32	27.4	17.92	3.9	100	74.6	71.2	63.3	56.5	A-7-6 (8)	CL	
C143M1	93+000	0.00 a 1.50	40.7	24.3	16.4	4.25	100	88.5	83.9	69.5	57.1	A-7-6 (7)	CL	
C144M1	93+250	0.00 a 1.50	28.35	18.5	9.85	3.88								



ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA
CARRETERA CASMA - YAUTAN - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
OBRA	: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA	REALIZADO : M.C.G
	: CASMA - YAUTAN - HUARAZ	
TRAMO	: PARIACOTO - YUPASH	ING° RESPONSABLE : S.V.O
CANTERA	: CASA BLANCA	
KM.	: KM 21+400 LADO DERECHO	

DESCRIPCION DE CANTERAS

DATOS GENERALES

Nombre : Casa Blanca
Ubicacion : Km. 21+400 Lado derecho
Acceso Trocha de acceso en regular estado
Distancia 1,600 m.
Tipo de suelo GW - GP ; A-1-a (0)
Potencia 217,000 metros cubicos

Rendimiento	ZARANDEADO	CHANCADO
Relleno	80.0%	
Afirmado	70.0%	
Filtros	70.0%	
Sub Base	70.0%	
Base		80.0%
Concreto Portland		80.0%
Tratamiento Superficial		70.0%
Asfalto en caliente		80.0%

USOS

Forma de explotacion : Cargador frontal , Retroexcavadora y Tractor
Epoca de explotacion : Todo el año
Disponibilidad : Consultar con la Municipalidad de Yaután
N° de calicatas : 21

Observaciones : Cantera de material del tipo fluvio aluvial

2.0 . DATOS DE LOS MATERIALES

2. A - PIEDRA

% De boloneria >8" : 20%
% Boloneria < 8" : 20%
% de Hormigon : 50%
Graduacion Granulometria : Continua
Forma de particulas : Sub Angulosas

2. B - ARENA

Graduacion Granulometria : Continua

Forma de particulas : Sub Angulosas



ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA
CARRETERA CASMA - YAUTAN - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH

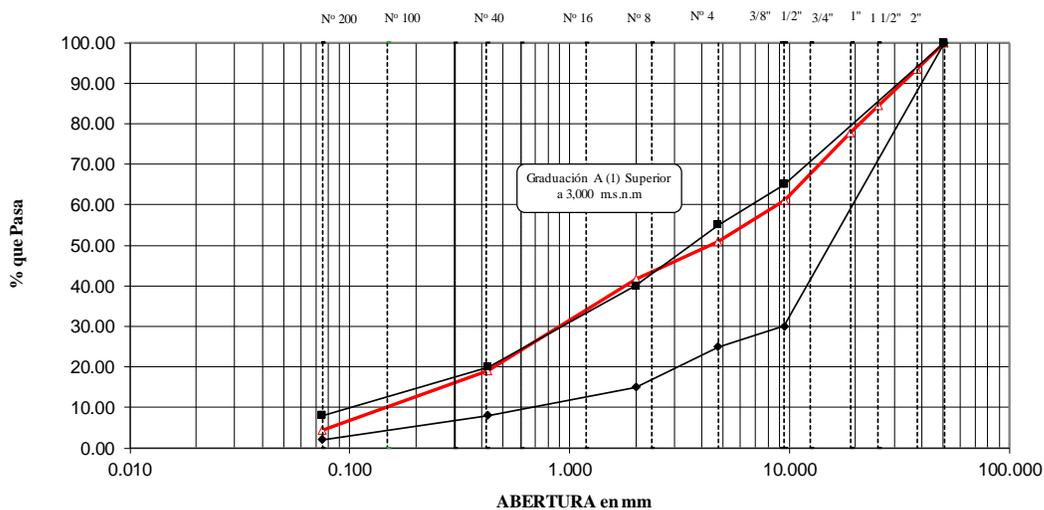


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
OBRA	: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA	TECNICO : M.C.G
	: CASMA - YAUTAN - HUARAZ	
TRAMO	: PARIACOTO - YUPASH	ING° RESPONSABLE : S.V.O
CANTERA	: CASA BLANCA	
KM.	: 21+400 LADO DERECHO	

CURVA GRANULOMETRICA - ESTADISTICA CANTERA CASA BLANCA

ESTADISTICAS	Análisis Granulométrico - % que Pasa Tamiz								
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
ABERTURA (mm)	50.800	38.100	25.400	19.000	9.500	4.750	2.000	0.425	0.075
MAX - ESPECIFICACION	100.00				65.00	55.00	40.00	20.00	8.00
MIN - ESTADISTICO	100.00				30.00	25.00	15.00	8.00	2.00
PROMEDIO	100.00	93.42	84.37	77.82	61.13	50.85	41.75	18.94	4.45

Curva Granulométrica - Estadística Sub Base





ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA
CARRETERA CASMA - YAUTAN - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH



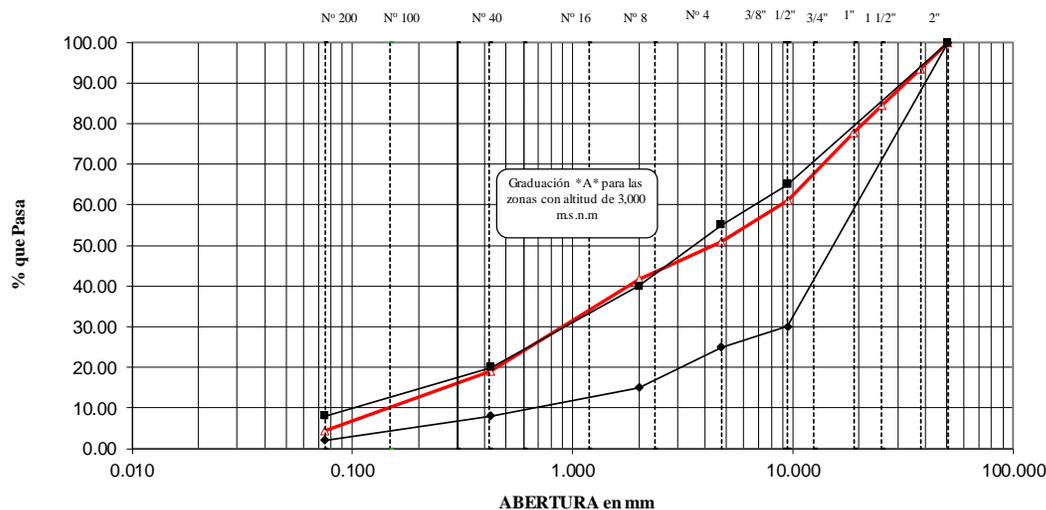
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA	: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA	TECNICO : M.C.G
	: CASMA - YAUTAN - HUARAZ	
TRAMO	: PARIACOTO - YUPASH	ING° RESPONSABLE : S.V.O
CANTERA	: CASA BLANCA	
KM.	: 21+400 LADO DERECHO	

CURVA GRANULOMETRICA - ESTADISTICA
CANTERA CASA BLANCA

ESTADISTICAS	Análisis Granulométrico - % que Pasa Tamiz								
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
ABERTURA (mm)	50.800	38.100	25.400	19.000	9.500	4.750	2.000	0.425	0.075
MAX - ESPECIFICACION	100.00				65.00	55.00	40.00	20.00	8.00
MIN - ESTADISTICO	100.00				30.00	25.00	15.00	8.00	2.00
PROMEDIO	100.00	93.42	84.37	77.82	61.13	50.85	41.75	18.94	4.45

Curva Granulométrica - Estadística Base Granular





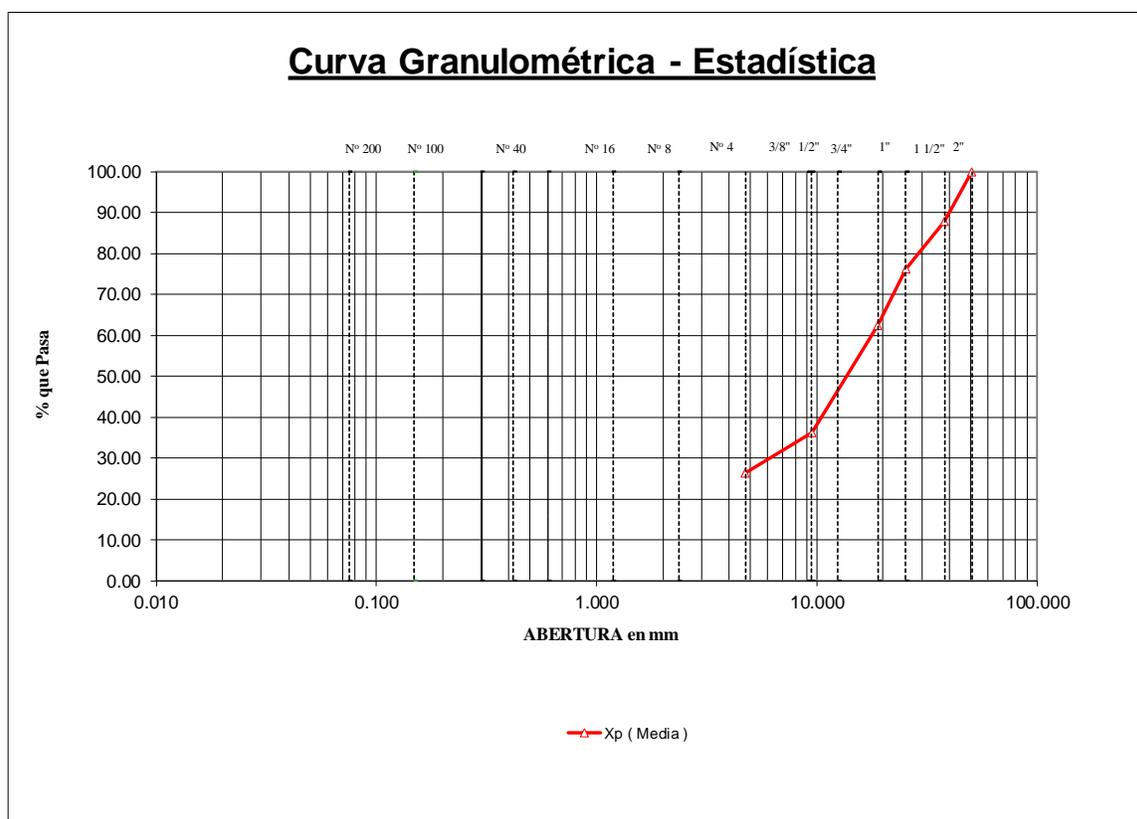
ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA
CARRETERA CASMA - YAUTAN - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
OBRA	: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA : CASMA - YAUTAN - HUARAZ	TECNICO: M.C.G
TRAMO	: PARIACOTO - YUPASH	ING° RESPONSABLE : S.V.O
CANTERA	: CASA BLANCA	
KM.	: 21+400 LADO IZQUIERDO	

CURVA GRANULOMETRICA - ESTADISTICA (AGREGADO GRUESO) CANTERA CASA BLANCA

ESTADISTICAS	Análisis Granulométrico - % que Pasa Tamiz								
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 40	N° 200
ABERTURA (mm)	50.800	38.100	25.400	19.000	9.500	4.750	2.000	0.425	0.075
MIN - ESPECIFICACION	100.00	97.00	79.00	67.00	48.00	28.00	20.00	8.00	0.00
MIN - ESTADISTICO	79.60	74.30	66.00	61.00	46.00	35.50	29.60	11.90	2.90
Xp (Media)	100.00	87.71	76.26	62.24	36.22	26.22			
MAX - ESTADISTICO	92.60	86.90	78.50	72.80	59.10	53.20	43.90	21.00	7.10
MAX - ESPECIFICACION	100.00	100.00	90.00	81.00	65.00	47.00	34.00	16.00	6.00





ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA
CARRETERA CASMA - YAUTAN - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH



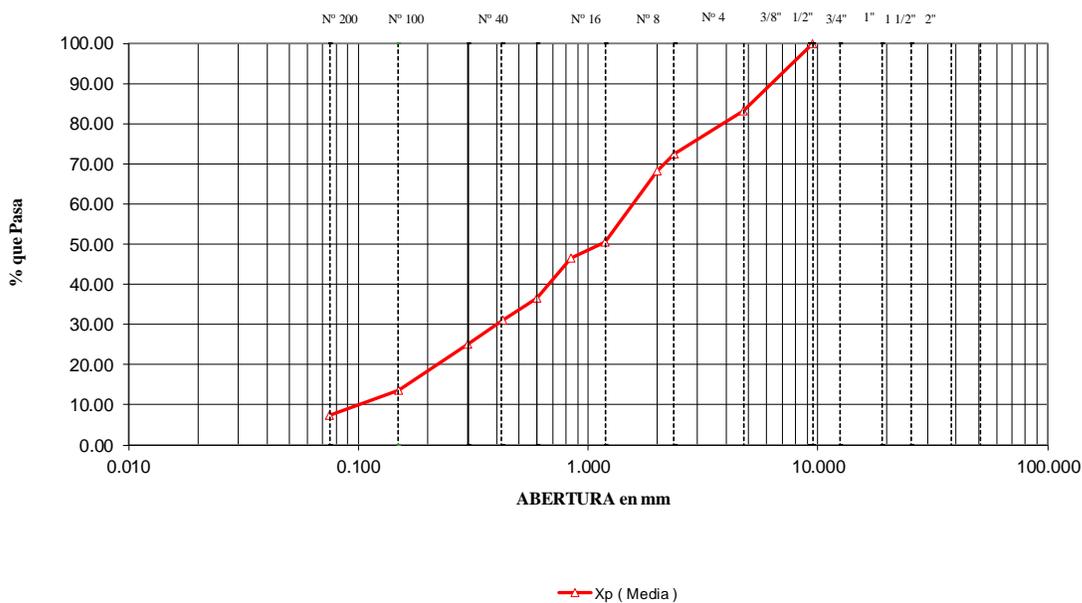
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA : ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA TECNICO: M.C.G
: CASMA - YAUTAN - HUARAZ
TRAMO : PARIACOTO - YUPASH ING° RESPONSABLE : S.V.O
CANTERA : CASA BLANCA
KM. : 21+400 LADO IZQUIERDO FECHA : 27/02/2005

CURVA GRANULOMETRICA - ESTADISTICA (AGREGADO FINO)
CANTERA CASA BLANCA

ESTADISTICAS	Análisis Granulométrico - % que Pasa Tamiz										
	3/8"	N° 4	N°8	N° 10	N° 16	N° 20	N° 30	N° 40	N° 50	N° 100	N° 200
ABERTURA (mm)	9.500	4.750	2.360	2.000	1.190	0.840	0.600	0.425	0.300	0.150	0.075
MIN - ESPECIFICACION	100.00	95.00	80.00		50.00		25.00		10.00	2.00	0.00
MIN - ESTADISTICO	79.60	74.30	66.00	61.00	46.00	35.50	29.60	11.90	9.50	5.30	2.90
Xp (Media)	100.00	83.19	72.32	68.30	50.50	46.53	36.47	30.98	25.13	13.57	7.28
MAX - ESTADISTICO	92.60	86.90	78.50	72.80	59.10	53.20	43.90	21.00	17.60	9.40	7.10
MAX - ESPECIFICACION	100.00	100.00	100.00		85.00		60.00		30.00	10.00	0.00

Curva Granulométrica - Estadística



RESUMEN DE LA CANTERA CASA BLANCA

PROYECTO : ESTUDIOS DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CASMA - HUARAZ
TRAMO : PARIACOTO - YUPASH INGP RESP : S.V.O
CANTERA : CASA BLANCA KM. 21+400 LADO DERECHO TECNICO : E.A.C
MAT. PARA : SUB BASE, BASE, CONCRETO PORTLAND, ASFALTO EN CALIENTE Y T.S.B

IDENTIFICACION		CIM2	C2M1	C3M1	C4M2	C5M1	C6M1	C7M2	C8M1	C9M1	C10M1	Promedio	Promedios	
DESCRIPCION		% PASA		Min.	Max.									
Malla Serie Americana	Abertura (mm)													
2"	50.800	87.80	85.30	81.20	91.20	86.30	85.20	86.50	87.40	88.80	86.40	86.61	81.20	91.20
1 1/2"	38.100	81.00	77.20	74.70	81.50	82.70	81.70	82.30	83.30	82.10	78.40	80.49	74.70	83.30
1"	25.400	71.60	68.80	64.90	72.70	71.80	71.70	73.40	74.50	72.70	73.30	71.54	64.90	74.50
3/4"	19.050	65.90	61.60	60.50	64.70	6.20	65.60	66.50	67.80	67.00	64.90	59.07	6.20	67.80
1/2"	12.700	57.70	52.30	53.60	53.00	58.20	57.10	58.60	59.90	58.70	56.90	56.60	52.30	59.90
3/8"	9.525	52.40	47.00	49.30	46.70	53.30	52.10	53.20	54.40	53.50	49.90	51.18	46.70	54.40
Nº 4	4.760	40.40	35.10	39.70	38.10	43.20	41.00	42.40	43.40	41.30	35.80	40.04	35.10	43.40
Nº 8	2.380	33.30	28.80	32.30	32.20	36.10	34.90	37.50	36.30	35.40	31.20	33.80	28.80	37.50
Nº 10	2.000	31.50	27.00	30.60	31.20	34.30	33.20	30.40	32.10	33.70	29.60	31.36	27.00	34.30
Nº 16	1.190	29.30	22.80	24.90	27.50	30.70	29.80	26.70	28.60	31.70	27.30	27.93	22.80	31.70
Nº 20	0.840	21.20	17.10	19.30	22.60	23.90	23.20	19.60	21.80	18.30	20.20	20.72	17.10	23.90
Nº 30	0.590	15.90	12.60	13.50	21.20	18.10	18.30	15.70	17.90	14.10	15.40	16.27	12.60	21.20
Nº 40	0.426	13.10	10.30	10.30	19.10	14.60	14.70	12.60	15.00	11.90	12.40	13.40	10.30	19.10
Nº 50	0.297	10.40	8.30	7.40	16.00	11.60	12.10	11.30	13.80	9.80	9.50	11.02	7.40	16.00
Nº 100	0.149	5.40	4.60	3.30	10.00	6.10	7.40	8.90	11.60	5.70	5.30	6.83	3.30	11.60
Nº 200	0.074	3.30	2.90	1.90	3.40	3.60	2.50	3.40	6.00	4.20	2.90	3.41	1.90	6.00
Límite Líquido (%)		17.30	17.00	17.20	16.95	16.75	17.02	17.20	18.20	17.42	16.80	17.18	16.75	18.20
Índice Plasticidad (%)		NP	0.00	0.00										
Índice Plasticidad (Malla <Nº200) (%)		1.09	1.29	1.87	1.95	NP	NP	NP	NP	NP	NP	1.55	1.09	1.95
Clasificación SUCS		GW	GW	GP	GP	GP	GP	GW	GP	GP	GP	GP	GP	GP
Clasificación AASHTO		A-1-a (0)												
Ensayo de material pasante la malla Nº 200		3.40	3.00	3.20	3.60	3.40	2.80	3.00	3.20	2.60	2.00	3.02	2.00	3.60
Peso Unitario Seco Suelto (Kg/m3)		1564.0	1571.0	1567.0	1571.0	1569.0	1576.0	1579.0	1577.0	1571.0	1579.0	1572.40	1564.00	1579.00
Peso Unitario Seco Varillado (Kg/m3)		1665.0	1669.0	1658.0	1666.0	1651.0	1655.0	1648.0	1660.0	1652.0	1656.0	1658.00	1648.00	1669.00
Peso Especifico Bulk (Base seca) A. grueso		2.679	2.689	2.692	2.650	2.658	2.693	2.665	2.687	2.684	2.689	2.68	2.65	2.69
Peso Especifico Bulk (Base seca) A. fino		2.732	2.721	2.729	2.700	2.701	2.710	2.717	2.694	2.706	2.701	2.71	2.69	2.73
% de Absorción A. Grueso		1.450	1.180	1.270	0.930	0.770	0.790	0.900	0.760	0.600	0.300	0.895	0.300	1.450
% de Absorción A. Fino		0.870	1.500	1.520	1.430	0.630	0.780	0.720	0.650	0.550	0.390	0.904	0.390	1.520
Partículas Livianas A. Grueso		0.122	0.313	0.044	0.022	0.302	0.234	0.279	0.200	0.223	0.067	0.18	0.02	0.31
Partículas Livianas A. Fino		0.335	0.168	0.168	0.335	0.337	0.217	0.150	0.301	0.217	0.673	0.29	0.15	0.67
Ensayo Riedel Weber		4-5	4-5	5-6	3-9	4-9	4-9	4-9	6-9	5-9	5-9	4-9	3-5	6-9
Ensayo de Adherencia		+95	+95	+95	+95	+95	+95	+95	+95	+95	+95	86.40	9.00	95.00
Abrasión (%)		17.40	19.00	18.50	21.46	17.96	18.30	18.08	17.90	18.22	18.44	18.53	17.40	21.46
Impurezas Orgánicas (Grado)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00	1.00	1.00
Partículas chatas y alargadas (%)		4.34	4.69	5.12	5.37	5.66	4.68	5.21	5.02	5.44	5.04	5.06	4.34	5.66
Análisis Químico (ppm) Cloruros		191	189	191	185	189	183	174	179	181	174	183.60	174.00	191.00
Análisis Químico (ppm) Sulfatos		387	360	320	345	360	341	321	315	326	319	339.40	315.00	387.00
C.B.R (0,1")		95.40	92.80	92.70	90.80	89.20	96.80	88.30	86.50	94.40	89.20	91.61	86.50	96.80
Determinación de Carbon y Lignito		0.31	0.36	0.28	0.31	0.19	0.16	0.19	0.20	0.21	0.26	0.25	0.16	0.36
Proctor Modificado		2.010	2.170	2.181	2.160	2.175	2.178	2.180	2.169	2.154	2.176	2.16	2.01	2.18
Terrones de arcilla/Partículas friables A. Grueso		0.14	0.17	0.25	0.29	0.19	0.16	0.16	0.13	0.14	0.11	0.17	0.11	0.29
Terrones de arcilla/Partículas friables A. Fino		0.31	0.45	0.20	0.20	0.16	0.12	0.10	0.12	0.07	0.13	0.19	0.07	0.45
Equivalente de Arena (%)		78.80	76.75	76.40	79.10	76.50	77.60	78.60	79.50	77.50	78.20	77.90	76.40	79.50
Durabilidad A. Grueso		3.123	2.000	3.409	3.431	3.860	3.193	2.876	2.988	3.087	2.851	3.082	2.000	3.860
Durabilidad A. Fino		1.786	5.000	1.860	1.820	1.900	2.370	1.980	2.160	2.800	2.790	2.447	1.786	5.000
Sales Solubles A. Grueso		0.110	0.180	0.170	0.160	0.110	0.060	0.130	0.130	0.170	0.150	0.131	0.060	0.180
Sales Solubles A. Fino		0.220	0.260	0.230	0.220	0.220	0.200	0.240	0.170	0.160	0.150	0.207	0.150	0.260
Porcentaje de 1 cara fracturada		28.88	21.90	26.53	27.00	23.48	26.10	28.23	23.55	24.95	25.53	25.62	21.90	28.88
Porcentaje de 2 caras fracturadas		16.28	15.58	16.05	20.00	17.50	18.13	17.88	18.25	17.40	17.38	17.45	15.58	20.00



ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA
CARRETERA CASMA - YAUTAN - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH



ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA AASHTO T-180, ASTM D 1557)

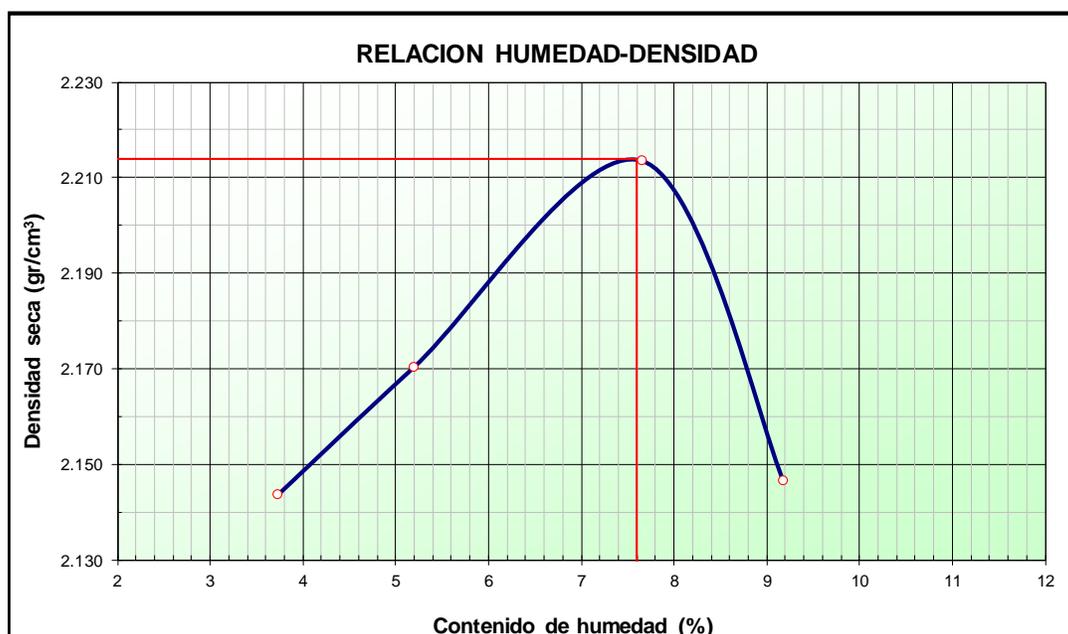
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA	: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CASMA -YAUTAN - HUARAZ	TECNICO	: E.A.C.
TRAMO	: PARIACOTO - YUPASH	ING. RESP.	: N.R.R.
CANTERA	: CASA BLANCA		

DATOS DE LA MUESTRA PARA BASE

METODO DE COMPACTACION : ASSTHO T180 (D, Con Reemplazo)

Peso suelo + molde	gr	11075.00	11200.00	11863.00	11780.00	
Peso molde	gr	6394.00	6394.00	6835.00	6835.00	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4681.00	4806.00	5028.00	4945.00	
Volumen del molde	cm ³	2105.00	2105.00	2110.00	2110.00	
Peso volumétrico húmedo	gr	2.224	2.283	2.383	2.344	
Recipiente N°						
Peso del suelo húmedo+tara	gr	599.50	839.50	492.00	535.00	
Peso del suelo seco + tara	gr	577.90	798.00	457.00	490.00	
Tara	gr	0.00	0.00	0.00	0.00	
Peso de agua	gr	21.60	41.50	35.00	45.00	
Peso del suelo seco	gr	577.90	798.00	457.00	490.00	
Contenido de agua	%	3.74	5.20	7.66	9.18	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	2.144	2.170	2.213	2.146	
					<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>	2.214
					<i>Humedad óptima (%)</i>	7.60





ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA
CARRETERA CASMA - YAUTAN - HUARAZ
TRAMO: PARIACOTO - YUPASH



ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA AASHTO T-180, ASTM D 1557)

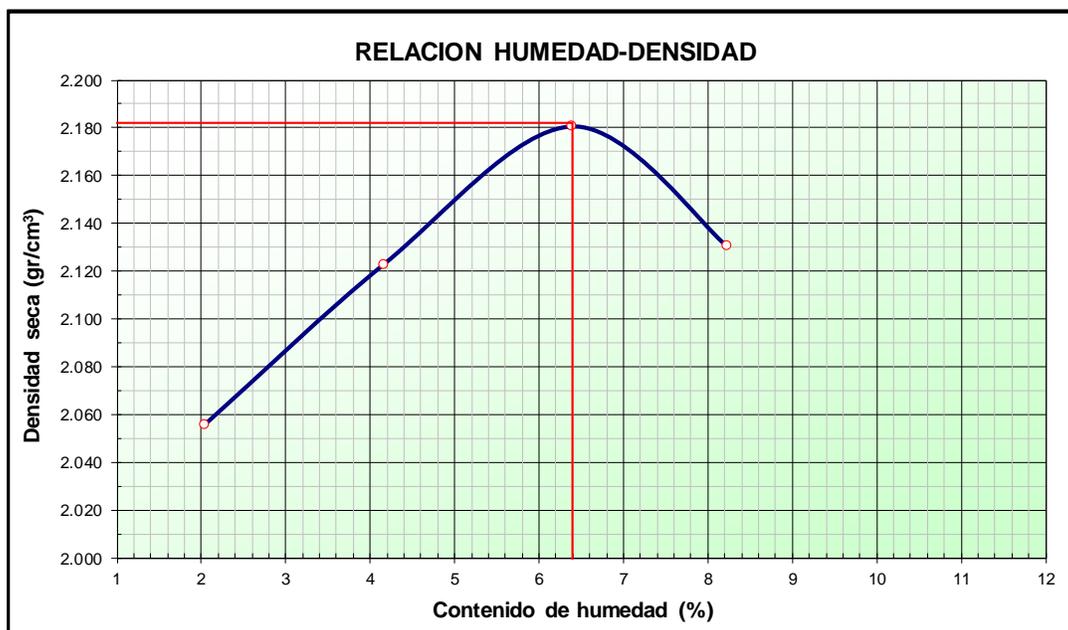
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA	: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CASMA -YAUTAN - HUARAZ	TECNICO	: E.A.C.
TRAMO	: PARIACOTO - YUPASH	ING. RESP.	: N.R.R.
CANTERA	: CASA BLANCA		

DATOS DE LA MUESTRA PARA SUB BASE

METODO DE COMPACTACION : ASSTHO T180 (D, Con Reemplazo)

Peso suelo + molde	gr	11250.00	11490.00	11730.00	11700.00		
Peso molde	gr	6835.00	6835.00	6835.00	6835.00		
Peso suelo húmedo compactado	gr	4415.00	4655.00	4895.00	4865.00		
Volumen del molde	cm ³	2105.00	2105.00	2110.00	2110.00		
Peso volumétrico húmedo	gr	2.097	2.211	2.320	2.306		
Recipiente N°							
Peso del suelo húmedo+tara	gr	500.00	500.00	500.00	500.00		
Peso del suelo seco + tara	gr	490.00	480.00	470.00	462.00		
Tara	gr	0.00	0.00	0.00	0.00		
Peso de agua	gr	10.00	20.00	30.00	38.00		
Peso del suelo seco	gr	490.00	480.00	470.00	462.00		
Contenido de agua	%	2.04	4.17	6.38	8.23		
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	2.055	2.123	2.181	2.130		
						<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>	2.182
						<i>Humedad óptima (%)</i>	6.40



ANEXO 04: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE GEOMALLA BIAxIAL





Tensar International Corporation
2500 Northwinds Pkwy, Suite 500
Alpharetta, Georgia 30009
Phone: 800-TENSAR-1
www.tensarcorp.com

Product Specification - Biaxial Geogrid BXSQ2020

Tensar International Corporation reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance.

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
Polymer: Polypropylene

Product Properties

Index Properties	Units	MD Values ¹	XMD Values ¹
▪ Aperture Dimensions ²	mm (in)	38 (1.5)	38 (1.5)
▪ Rib Thickness ²	mm (in)	1.1 (0.04)	0.8 (0.03)
▪ Tensile Strength @ 2% Strain ³	kN/m (lb/ft)	6.5 (450)	6.5 (450)
▪ Tensile Strength @ 5% Strain ³	kN/m (lb/ft)	13 (890)	13 (890)
▪ Ultimate Tensile Strength ³	kN/m (lb/ft)	20 (1370)	20 (1370)
Structural Integrity			
▪ Junction Efficiency ⁴	%		93
▪ Overall Flexural Rigidity ⁵	mg-cm		700,000
▪ Aperture Stability ⁶	m-N/deg		0.45
Durability			
▪ Resistance to Installation Damage ⁷	%SC / %SW / %GP		95 / 93 / 90
▪ Resistance to Long Term Degradation ⁸	%		100
▪ Resistance to UV Degradation ⁹	%		100

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 4.0 meters (13.1 feet) in width and 75.0 meters (246 feet) in length and 3.93 meters (12.9 feet) in width and 75.0 meters (246 feet) in length.

Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759-02. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes.
2. Nominal dimensions.
3. Determined in accordance with ASTM D6637-10 Method A.
4. Load transfer capability determined in accordance with ASTM D7737-11.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D7748/D7748M-14.
6. Resistance to in-plane rotational movement in accordance with ASTM D7864/D7864M-15.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well-graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355-05.

Tensar International Corporation warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall conform to the specification stated herein. Any other warranty including merchantability and fitness for a particular purpose, are hereby excluded. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer.

The geogrid specified herein has not been tested, calibrated, or validated in relation to any design methodology for either unpaved roads or flexible pavements.

This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to January 1, 2015. (07.20)





Corporación Internacional Tensor
2500 Northwinds Pkwy, Suite 500
Alpharetta, Georgia 30009
Teléfono: 800-TENSAR-1
www.tensorcorp.com

Especificaciones del producto - Geomalla biaxial BXSQ2020

Tensor International Corporation se reserva el derecho de cambiar las especificaciones de sus productos en cualquier momento. Es responsabilidad del especificador y del comprador garantizar que las especificaciones del producto utilizadas para el diseño y la adquisición estén actualizadas y sean coherentes con los productos utilizados en cada caso.

Tipo de producto: Polipropileno de geomalla biaxial
Polímero: formado integralmente

Propiedades del producto

Propiedades de índice	Unidades	Valores MD ₁	Valores XMD ₁
▪ Dimensiones de apertura ²	milímetros (pulgadas)	38 (1,5)	38 (1,5)
▪ Grosor de la costilla ²	milímetros (pulgadas)	1,1 (0,04)	0,8 (0,03)
▪ Resistencia a la tracción al 2 % de deformación ³	kN/m (lb/pie)	6.5 (450)	6.5 (450)
▪ Resistencia a la tracción al 5 % de deformación ³	kN/m (lb/pie)	13 (890)	13 (890)
▪ Resistencia a la tracción ³	kN/m (lb/pie)	20 (1370)	20 (1370)
Integridad estructural			
▪ Eficiencia de unión ⁴	%		93
▪ Rigidez general a la flexión ⁵	mg-cm		700,000
▪ Estabilidad de aperturas	mN/grado		0,45
Durabilidad			
▪ Resistencia al daño de la instalación ⁷	%SC/%SW/%GP		95 / 93 / 90
▪ Resistencia a la degradación a largo plazos	%		100
▪ Resistencia a la degradación UV ⁹	%		100

Dimensiones y entrega

La geomalla biaxial se entregará al sitio de trabajo en forma de rollo con cada rollo identificado individualmente y con una medida nominal de 4,0 metros (13,1 pies) de ancho y 75,0 metros (246 pies) de largo y 3,93 metros (12,9 pies) de ancho y 75,0 metros (246 pies) de largo.

notas

1. A menos que se indique lo contrario, los valores que se muestran son valores promedio mínimos de rollo determinados de acuerdo con ASTM D4759-02. En las siguientes notas se dan breves descripciones de los procedimientos de prueba.
2. Dimensiones nominales.
3. Determinado de acuerdo con ASTM D6637-10 Método A.
4. Capacidad de transferencia de carga determinada de acuerdo con ASTM D7737-11.
5. Resistencia a la fuerza de flexión determinada de acuerdo con ASTM D7748/D7748M-14.
6. Resistencia al movimiento de rotación en el plano de acuerdo con ASTM D7864/D7864M-15.
7. Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural cuando se somete a esfuerzos mecánicos de instalación en arena arcillosa (SC), arena bien graduada (SW) y piedra triturada clasificada como grava mal graduada (GP). Se tomarán muestras de la geomalla de acuerdo con la norma ASTM D5818 y se determinará la capacidad de carga de acuerdo con la norma ASTM D6637.
8. Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural cuando se somete a ambientes químicamente agresivos de acuerdo con la prueba de inmersión EPA 9090.
9. Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural cuando se somete a 500 horas de luz ultravioleta ya la intemperie agresiva de acuerdo con la norma ASTM D4355-05.

Tensor International Corporation garantiza que, en el momento de la entrega, la geomalla provista a continuación cumplirá con las especificaciones establecidas en este documento. Cualquier otra garantía, incluida la comerciabilidad y la idoneidad para un propósito particular, queda excluida. Si la geomalla no cumple con las especificaciones de esta página y se notifica a Tensor antes de la instalación, Tensor reemplazará la geomalla sin costo alguno para el cliente.

La geomalla especificada en este documento no ha sido probada, calibrada ni validada en relación con ninguna metodología de diseño para caminos sin pavimentar o pavimentos flexibles.

Esta especificación de producto reemplaza todas las especificaciones anteriores para el producto descrito anteriormente y no se aplica a ningún producto enviado antes del 1 de enero de 2015. (07.20)



ANEXO 05: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE SIN REFUERZO



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE - AASHTO 93

Carretera: Pariacoto - Yupash

Tramo: Km. 56+480 al Km. 87+500

Parámetros de diseño:			
Ejes equivalentes de carga		ESAL(W18)	4 134 396
Suelo de subrasante		CBR :	17.0 %
Módulo de resiliencia de subrasante	$Mr(psi) = 2555x CBR^{0.64}$	MR (psi):	15663.12
Tipo de tráfico	VERDADERO	Tipo:	TP7
Número de etapas		Etapas:	1
Confiabilidad		%R:	85.0 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal		ZR:	-1.036
Desviación estándar combinada		So:	0.45
Índice de serviciabilidad inicial		Pi:	4.0
Índice de serviciabilidad final		Pt:	2.5
Variación de serviciabilidad		ΔPSI :	1.5

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Número Estructural Requerido

SNR: 3.243

Coeficiente estructural de cada componente del pavimento:

CAPA SUPERFICIAL	BASE	SUBBASE
a1	a2	a3
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 oF)	Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS
Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq 5'000,000$ EE	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $\leq 15'000,000$ EE
0.170	0.052	0.047

Coeficiente de drenaje para Base y Sub Base granular no tratada:

m2	m3
1	1

$$SNR = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3$$

Cálculo de espesores de cada componente del pavimento:

d1	d2	d3
7.5 cm	20 cm	20 cm
Capa superficial	Base	Sub Base
SNR (Requerido)	3.243	Debe cumplir SNR (Propuesto) > SNR (Requerido)
SNR (Propuesto)	3.255	SI CUMPLE

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE - AASHTO 93

Carretera: Pariacoto - Yupash

Tramo: Km. 87+500 al Km. 95+805

Parámetros de diseño:			
Ejes equivalentes de carga	ESAL(W18)		4 134 396
Suelo de subrasante	CBR :		10.0 %
Módulo de resiliencia de subrasante	$Mr(psi) = 2555x CBR^{0.64}$	MR (psi):	11152.98
Tipo de tráfico	VERDADERO	Tipo:	TP7
Número de etapas		Etapas:	1
Confiabilidad		%R:	85.0 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal		ZR:	-1.036
Desviación estándar combinada		So:	0.45
Índice de serviciabilidad inicial		Pi:	4.0
Índice de serviciabilidad final		Pt:	2.5
Variación de serviciabilidad		ΔPSI :	1.5

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Número Estructural Requerido

SNR: 3.714

Coeficiente estructural de cada componente del pavimento:

CAPA SUPERFICIAL	BASE	SUBBASE
a1	a2	a3
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 oF)	Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS
Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq 5'000,000$ EE	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $\leq 15'000,000$ EE
0.170	0.052	0.047

Coeficiente de drenaje para Base y Sub Base granular no tratada:

m2	m3
1	1

$$SNR = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3$$

Cálculo de espesores de cada componente del pavimento:

d1	d2	d3
7.5 cm	20 cm	30 cm
Capa superficial	Base	Sub Base
SNR (Requerido)	3.714	Debe cumplir SNR (Propuesto) > SNR (Requerido)
SNR (Propuesto)	3.725	SI CUMPLE

ANEXO 06: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFUERZO

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE - AASHTO R-50 "LCR"

Carretera: Pariacoto - Yupash

Tramo: Km. 56+480 al Km. 95+805

Parámetros de diseño:

Resistencia a la tracción de Geomalla Biaxial BXSQ2020 (Tipo A)	(kN/m)	20
Coefficiente "LCR1" del Km. 56+480 al Km. 87+500	"LCR"1 =	1.34
Coefficiente "LCR2" del Km. 87+500 al Km. 95+805	"LCR"2 =	1.35

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

1.1 SN según la metodología AASHTO 93:

CAPA SUPERFICIAL	BASE	SUBBASE
a1	a2	a3
0.17	0.052	0.047
	m2	m3
	1	1

Cálculo de espesores de cada componente del pavimento:

d1	d2	d3
7.5 cm	20 cm	20 cm
Capa superficial	Base	Sub Base
7.5 cm	20 cm	30 cm

SNR 1:	3.255
SNR 2:	3.725

1.2 Determinación del espesor equivalente sustituyendo la base granular:

$$SN = a_1 D_1 + a_3 D'_3 m_3$$

D'3 (1):	42.13
D'3 (2):	52.13

1.3 Determinación de nuevo espesor de la Sub-base con geomalla biaxial:

$$SN_r = SN \quad \rightarrow \quad SN = a_1 D_1 + a_3 * LCR * D_{3r} * m_3$$

$$SN_{gr} = a_3 * D_{3r} * m_3$$

D3r (1):	31.44
D3r (2):	38.61

SNgr (1):	1.478
SNgr (2):	1.815

1.4 Determinación de nuevos espesores de acuerdo al Número Estructural de la Sub Base:

$$SN_{gr} = a_2 * D_{2r} * m_2 + a_3 * D_{3r} * m_3$$

D2r (1):	15.00
D2r (2):	15.00

D3r (1):	14.84
D3r (2):	22.02

1.5 Espesores según AASHTO R-50 "LCR"

Km. 56+480 al Km. 87+500:

Capa superficial	Base	Sub Base
7.5 cm	15 cm	15 cm

Km. 87+500 al Km. 95+805:

Capa superficial	Base	Sub Base
7.5 cm	15 cm	22 cm

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE - AASHTO R-50 "TBR"

Carretera: Pariacoto - Yupash

Tramo: Km. 56+480 al Km. 87+500

$$W_{18(\text{Reforzado})} = \frac{W_{18(\text{Sin Reforzar})}}{TBR}$$

Coefficiente "TBR" del Km. 56+480 al Km. 87+500	"TBR"	2.80
Ejes equivalentes de carga	ESAL(W18)	1 476 570
Suelo de subrasante	CBR :	17.0 %
Módulo de resiliencia de subrasante	$Mr(\text{psi}) = 2555 \times CBR^{0.64}$	MR (psi): 15663.12
Tipo de tráfico	VERDADERO	Tipo: TP5
Número de etapas	Etapas:	1
Confiabilidad	%R:	85.0 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR:	-1.036
Desviación estándar combinada	So:	0.45
Índice de serviciabilidad inicial	Pi:	4.0
Índice de serviciabilidad final	Pt:	2.5
Variación de serviciabilidad	Δ PSI:	1.5

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Número Estructural Requerido

SNR: 2.713

Coefficiente estructural de cada componente del pavimento:

CAPA SUPERFICIAL	BASE	SUBBASE
a1	a2	a3
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 oF)	Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS
Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq 5'000,000$ EE	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $\leq 15'000,000$ EE
0.170	0.052	0.047

Coefficiente de drenaje para Base y Sub Base granular no tratada:

m2	m3
1	1

$$SNR = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3$$

Espesores según AASHTO R-50 "TBR"

d1	d2	d3
7.5 cm	15 cm	15 cm
Capa superficial	Base	Sub Base
SNR (Requerido)	2.713	Debe cumplir SNR (Propuesto) > SNR (Requerido)
SNR (Propuesto)	2.760	SI CUMPLE

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE - AASHTO R-50 "TBR"

Carretera: Pariacoto - Yupash

Tramo: Km. 87+500 al Km. 95+805

$$W_{18(\text{Reforzado})} = \frac{W_{18(\text{Sin Reforzar})}}{TBR}$$

Coefficiente "TBR" del Km. 87+500 al Km. 95+805	"TBR"	3.30
Ejes equivalentes de carga	ESAL(W18)	1 252 847
Suelo de subrasante	CBR :	10.0 %
Módulo de resiliencia de subrasante	$Mr(\text{psi}) = 2555 \times CBR^{0.64}$	MR (psi): 11152.98
Tipo de tráfico	VERDADERO	Tipo: TP5
Número de etapas	Etapas:	1
Confiabilidad	%R:	85.0 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR:	-1.036
Desviación estándar combinada	So:	0.45
Índice de serviciabilidad inicial	Pi:	4.0
Índice de serviciabilidad final	Pt:	2.5
Variación de serviciabilidad	Δ PSI:	1.5

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Número Estructural Requerido

SNR: 3.021

Coefficiente estructural de cada componente del pavimento:

CAPA SUPERFICIAL	BASE	SUBBASE
a1	a2	a3
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 oF)	Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS
Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq 5'000,000$ EE	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $\leq 15'000,000$ EE
0.170	0.052	0.047

Coefficiente de drenaje para Base y Sub Base granular no tratada:

m2	m3
1	1

$$SNR = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3$$

Espesores según AASHTO R-50 "TBR"

d1	d2	d3
7.5 cm	15 cm	21 cm
Capa superficial	Base	Sub Base

SNR (Requerido)	3.021	Debe cumplir SNR (Propuesto) > SNR (Requerido)
SNR (Propuesto)	3.022	SI CUMPLE

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE - METODOLOGÍA GIROUD Y HAN

Carretera: Pariacoto - Yupash

Tramo: Km. 87+500 al Km. 95+805

Parámetros de diseño:		
Cargas de tráfico:		
Carga de eje (18 kip)	Ceje (kN)	80
Carga de rueda (9 kip)	P (kN)	40
Eje equivalente de cargas de tráfico	ESAL(W18)	4 134 396
Máxima profundidad de la huella (S)	(mm)	30.48
Ahuellamiento máximo (fs)	(mm)	75.00
Valor relativo de soporte (CBR):		
CBR de la Subrasante, tramo más crítico	CBRsg (%)	10
CBR de la Base granular	CBRbc (%)	80
Propiedades de la Geomalla de refuerzo:		
Geomalla Biaxial BXSQ2020	Tipo	A
Resistencia Máxima a la tensión	(kN)	20.0
Dimensión de la Abertura	(mm)	38
Estabilidad de Abertura (J)	(mN/grado)	0.45
Eficacia de la unión	(%)	93
Factor que relaciona el CBR de la subrasante a la cohesión no drenada (fc):	(kN)	20.0
Factores de capacidad:		
Para pavimentos con geomalla	Nc =	5.71
Para pavimentos sin geomalla	Nc =	3.14
Factores de corrección:		
Factor de corrección para la capa base no reforzada $C_f = 0.672, J = 0$	Cf =	0.672
Factor de corrección para la capa base reforzada $C_f = (0.661 - 1.006 \cdot J^2)$	Cf =	0.457
Radio de contacto (r):	(m)	0.152
Módulo de proporción (RE):	(RE)	1.296
Capacidad de la subrasante (Ph=0): $P_h = 0.5(\sin \text{refuerzo}) = \left[\frac{S}{f_s} \right] \pi r^2 N_c f_c CBR_{sg}$	Ph=	18.525
Nota: La capacidad de la subrasante no puede soportar la carga generada por el tráfico		Ph=0<40kN

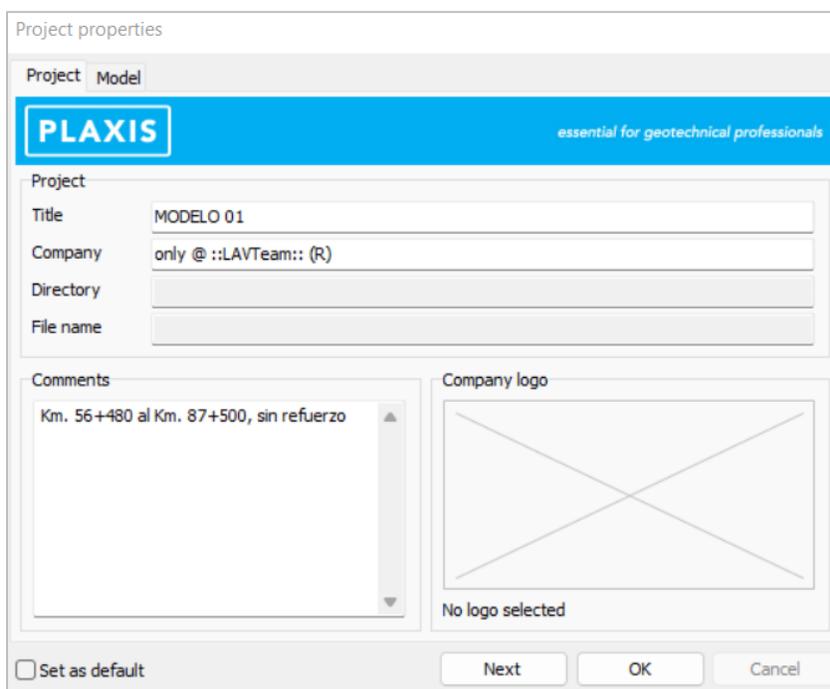
$$h = \frac{0.868 + (C_f) \left(\frac{r}{h} \right)^{1.5} \log N}{1 + 0.204(R_E - 1)} \left(\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\left[\frac{S}{f_s} \left[1 - 0.9 e^{-\left(\frac{r}{h} \right)^2} \right] N_c f_c CBR_{sg} \right]} - 1 \right) r$$

Vía	Condiciones	Base Granular (m)	Base Granular (cm)
Vía sin refuerzo	Módulo J = 0, con factor de corrección Cf = 0.672	0.565	57
Vía con refuerzo	Módulo J = 0.45, con factor de corrección Cf = 0.457	0.410	41

**ANEXO 07: MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE SIN
REFUERZO**

MODELO 01 (Km. 56+480 al Km. 87+500)

- Creación del modelo geométrico

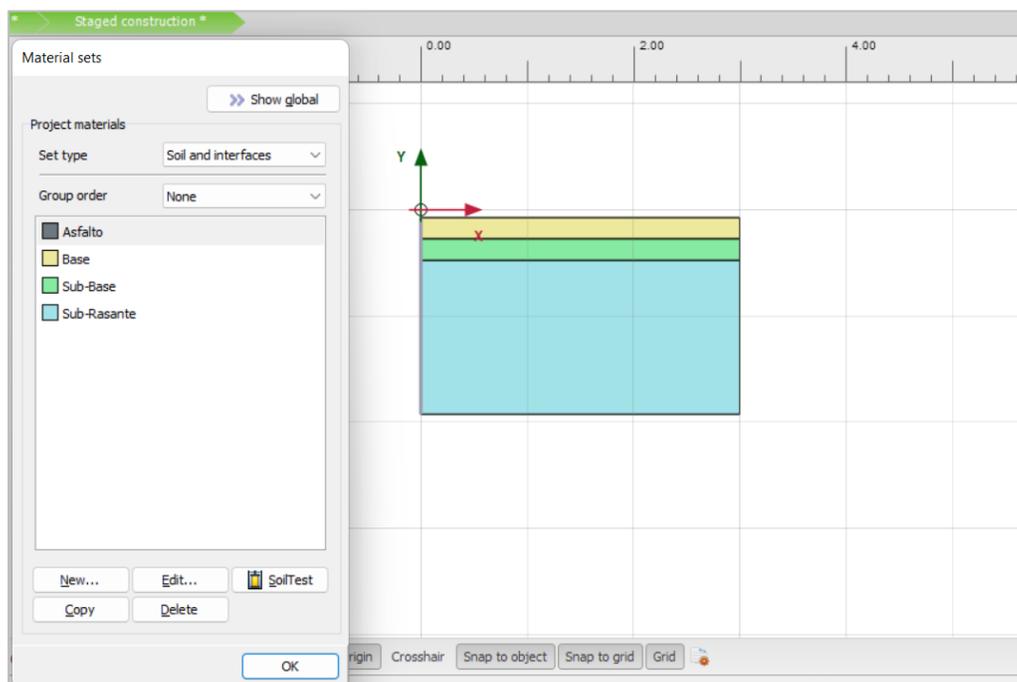


The image shows the 'Project properties' dialog box in PLAXIS. The 'Project' tab is active, showing the following fields:

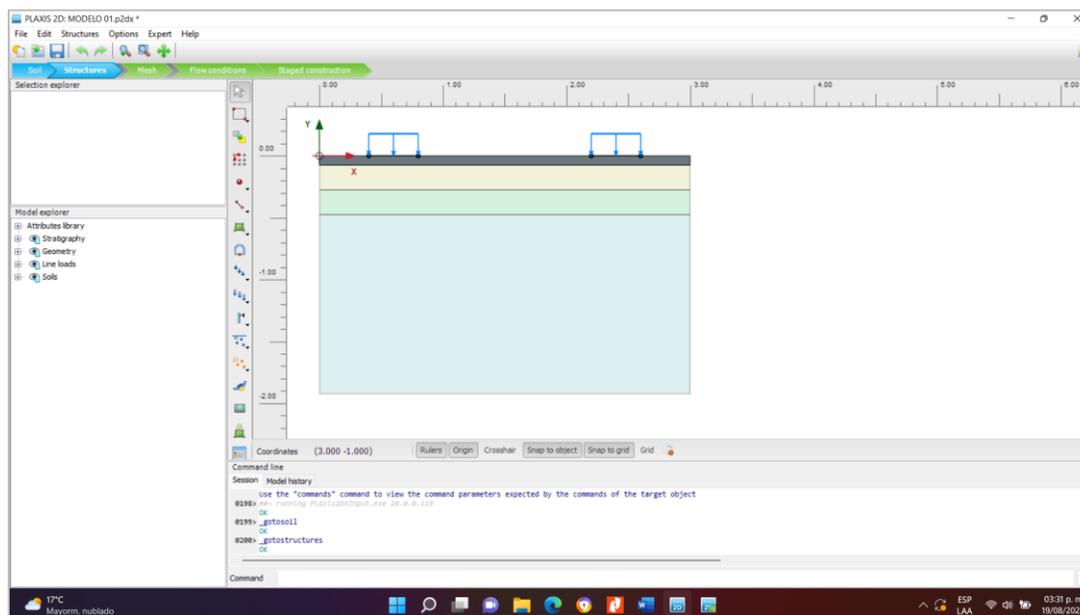
- Project:** Model
- Title:** MODELO 01
- Company:** only @ ::LAVTeam:: (R)
- Directory:** (empty)
- File name:** (empty)
- Comments:** Km. 56+480 al Km. 87+500, sin refuerzo
- Company logo:** No logo selected

At the bottom, there is a checkbox for 'Set as default' and buttons for 'Next', 'OK', and 'Cancel'.

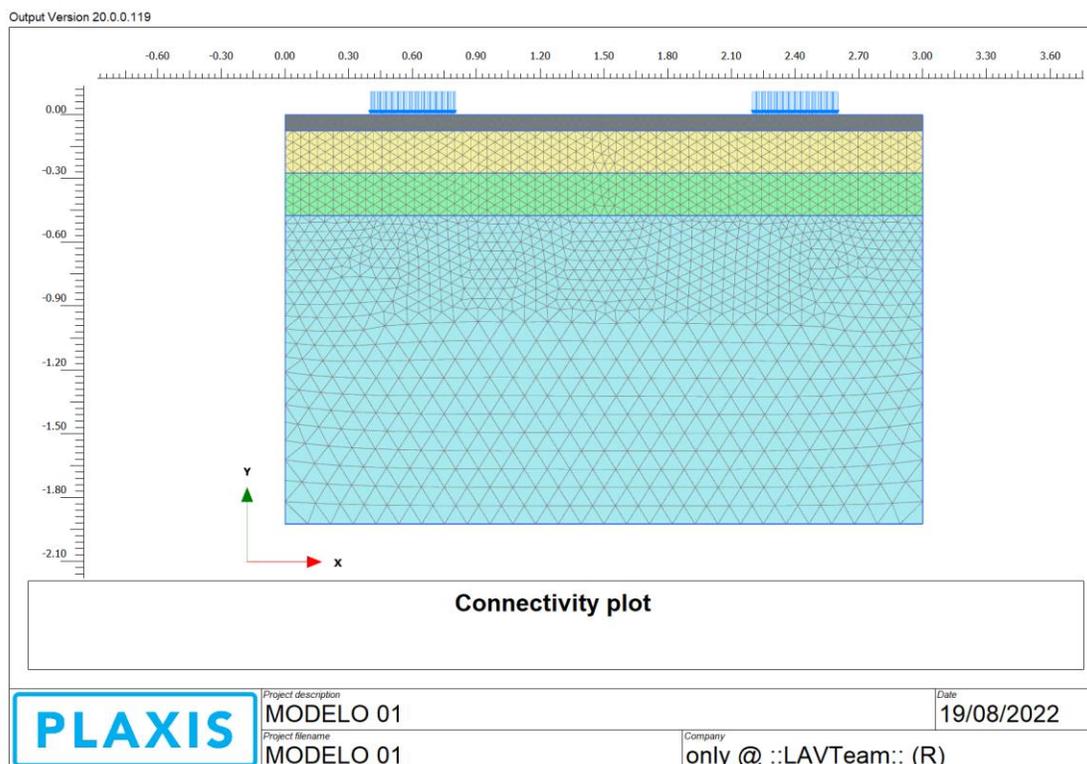
- SOIL: Definición de composición del pavimento



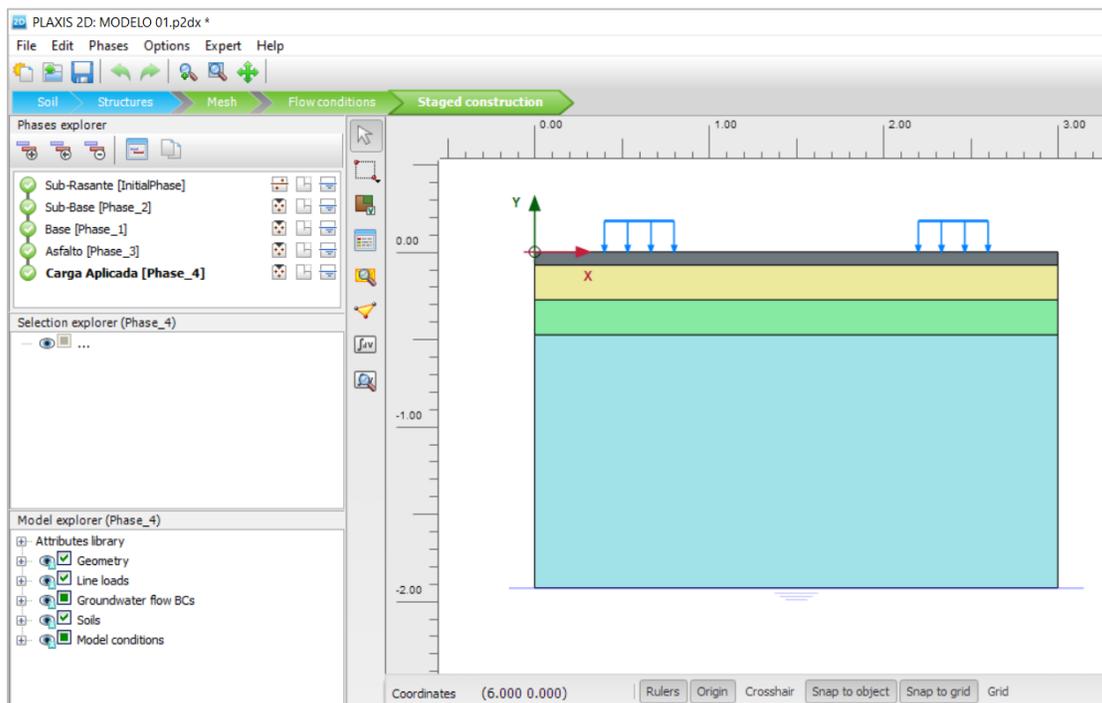
- STRUCTURES: Se agregó la carpeta asfáltica y carga por tráfico



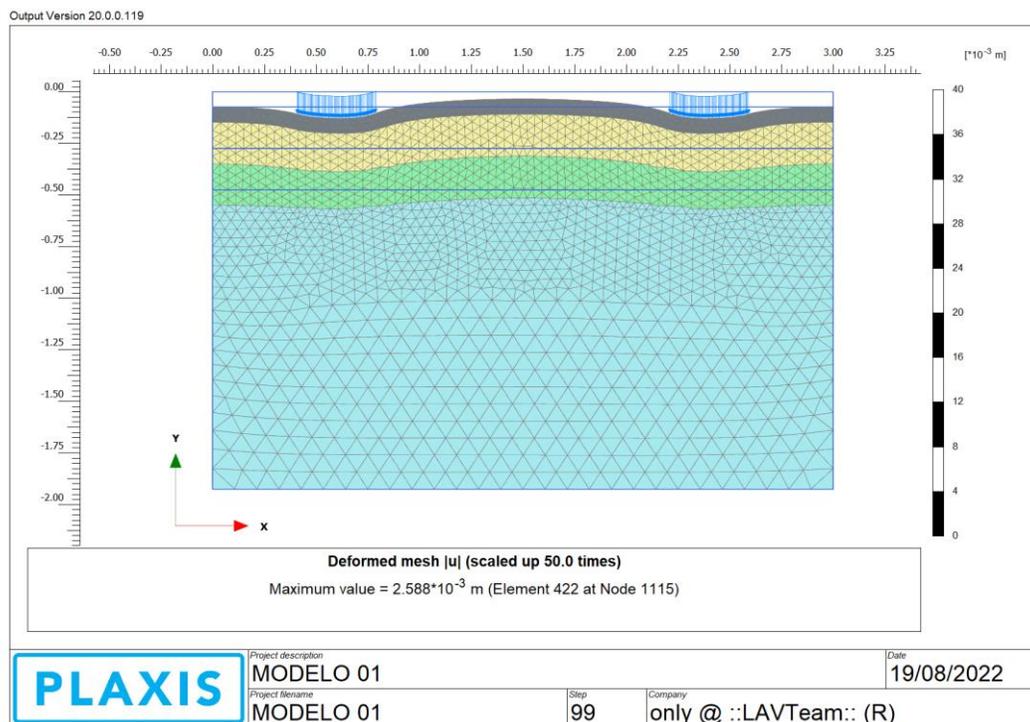
- MESH: Discretización del pavimento



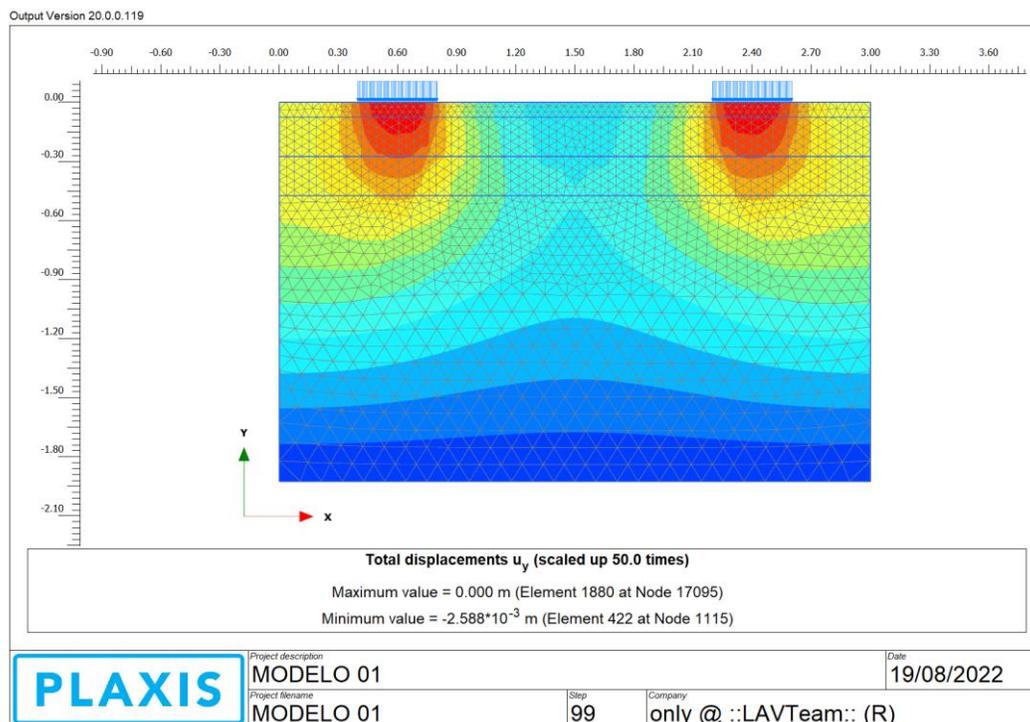
- STAGED CONSTRUCTION: Comprobación de fases de construcción



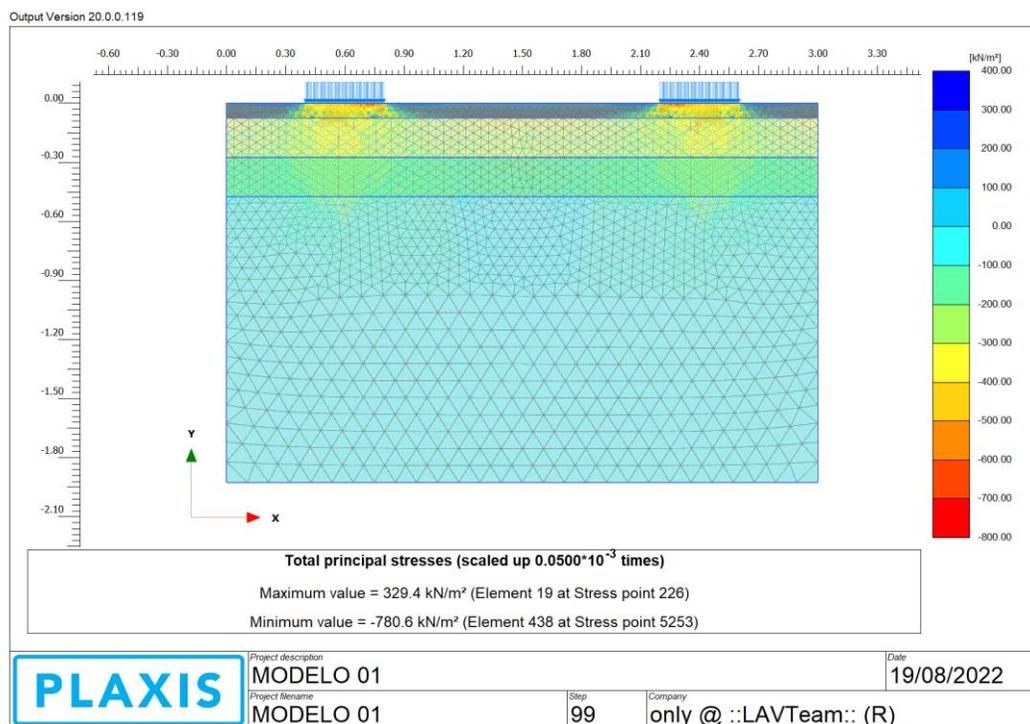
- DEFORMACIONES:



- DESPLAZAMIENTO VERTICAL:

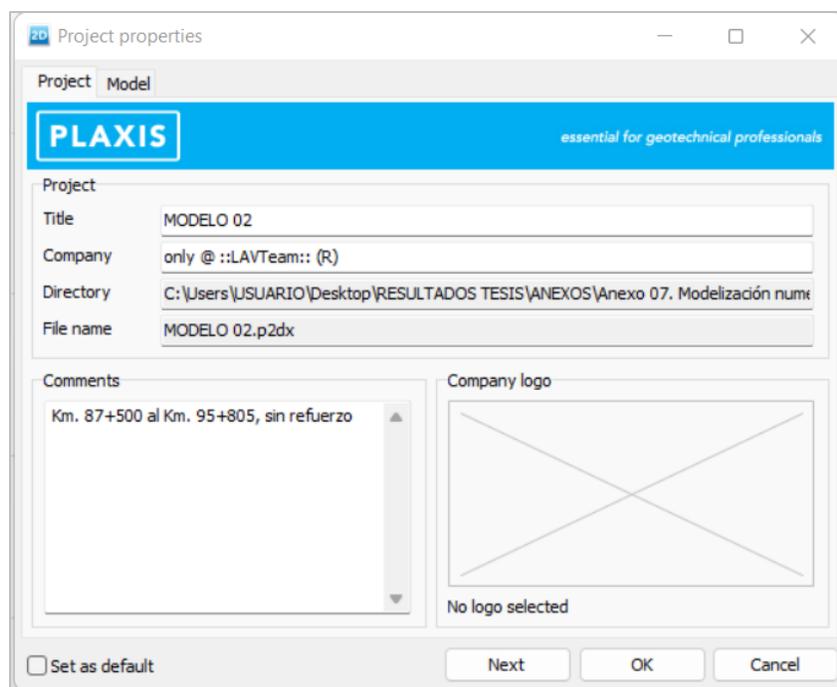


- ESFUERZOS:

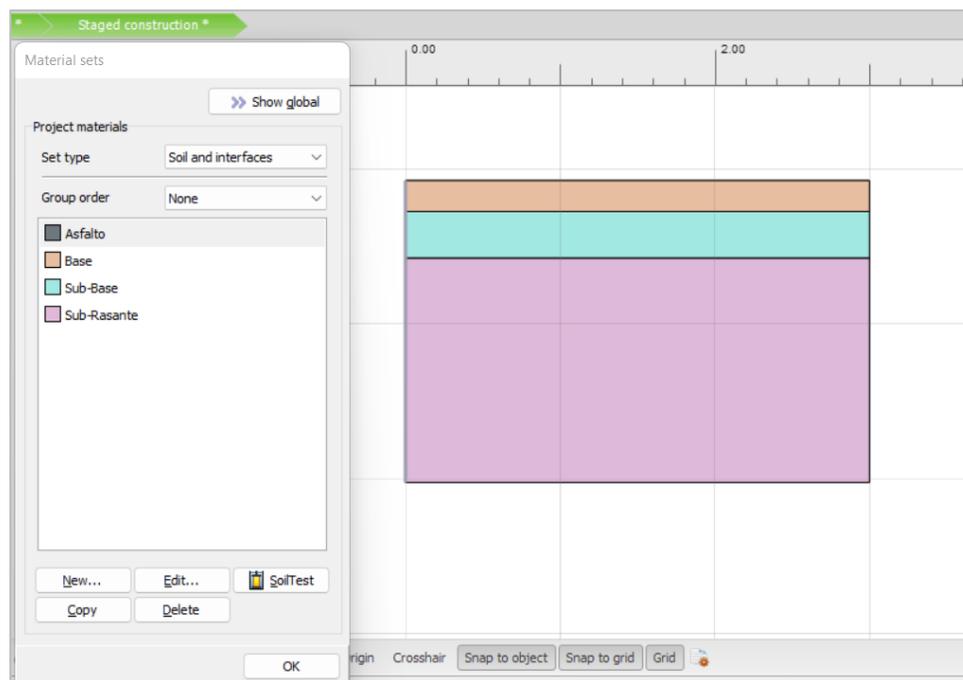


MODELO 02 (Km. 87+500 al Km. 95+805)

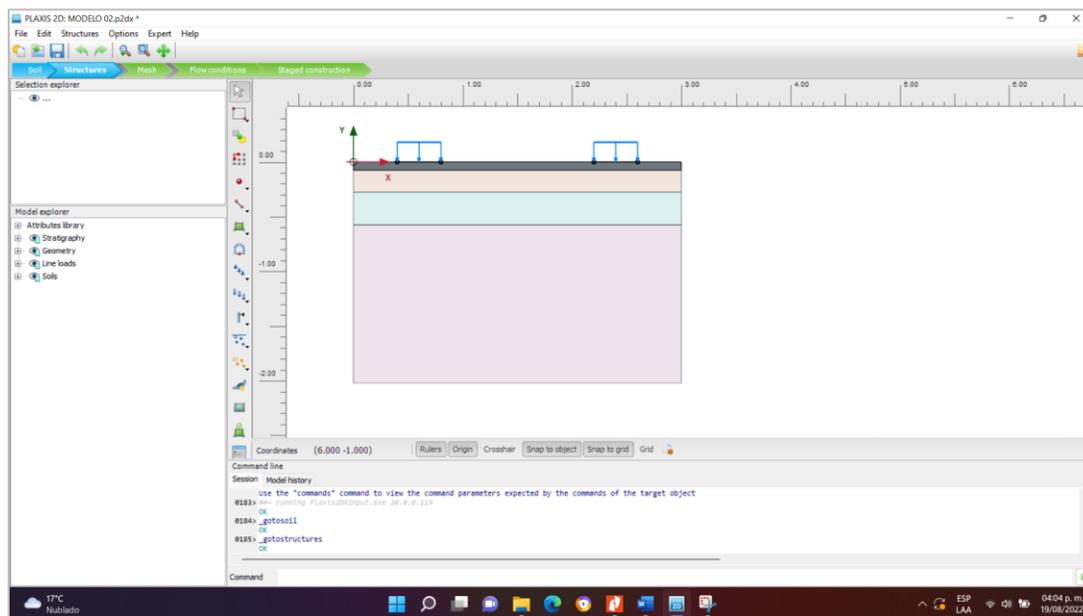
- Creación del modelo geométrico



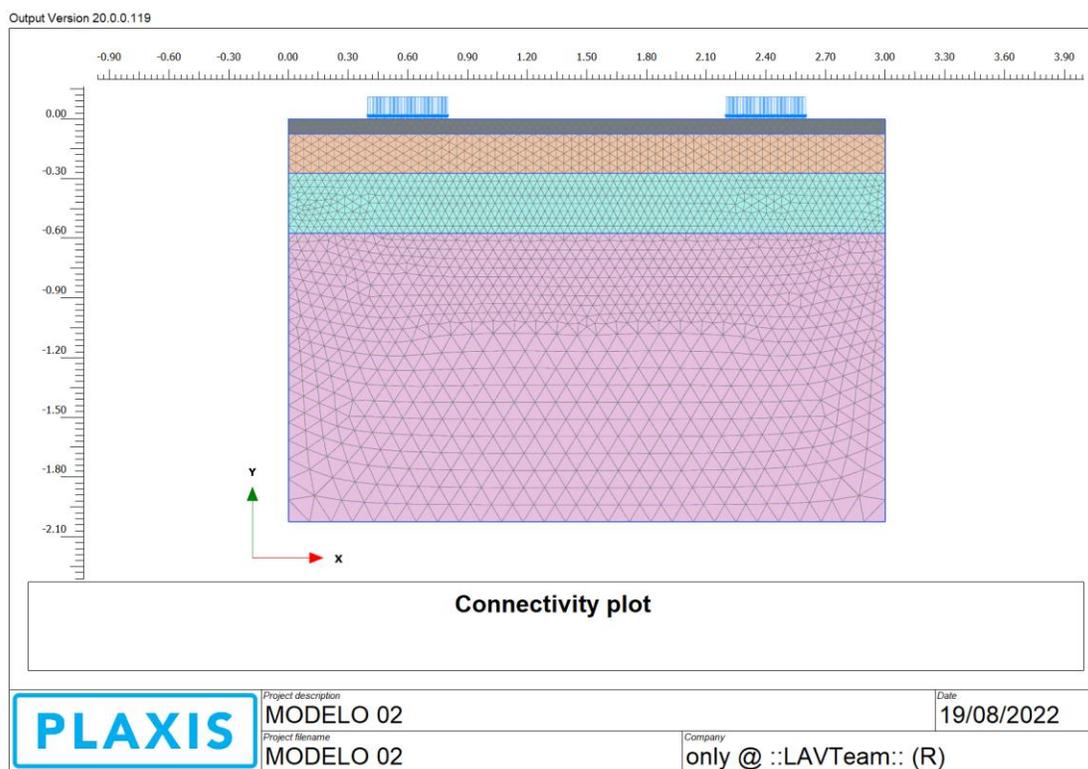
- SOIL: Definición de composición del pavimento



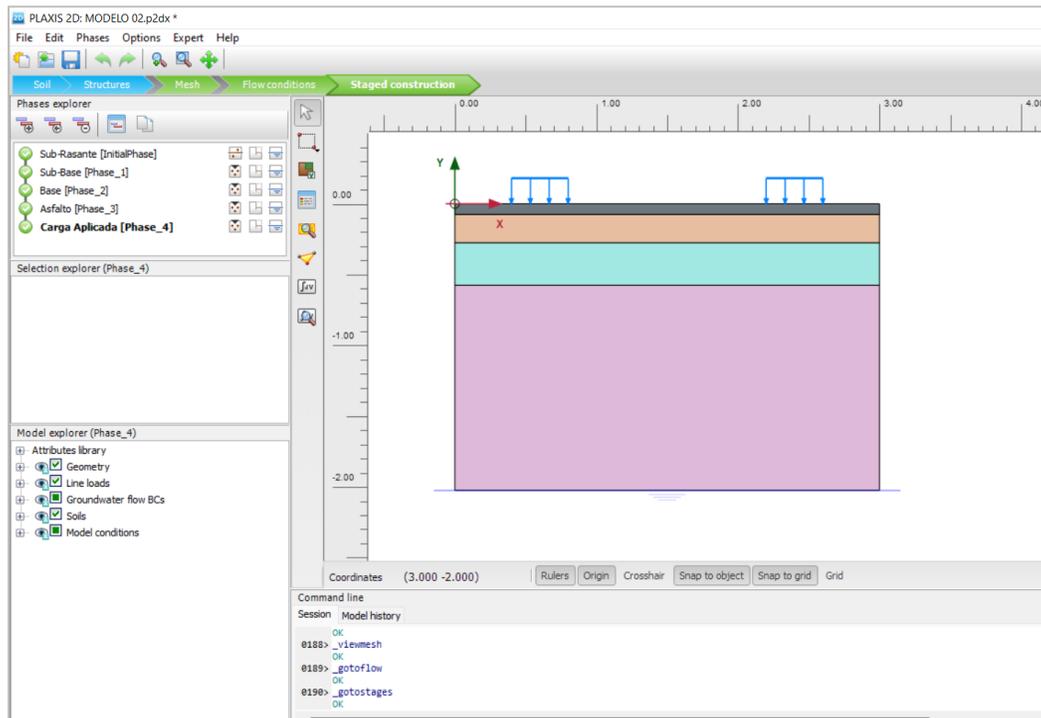
- STRUCTURES: Se agregó la carpeta asfáltica y carga por tráfico



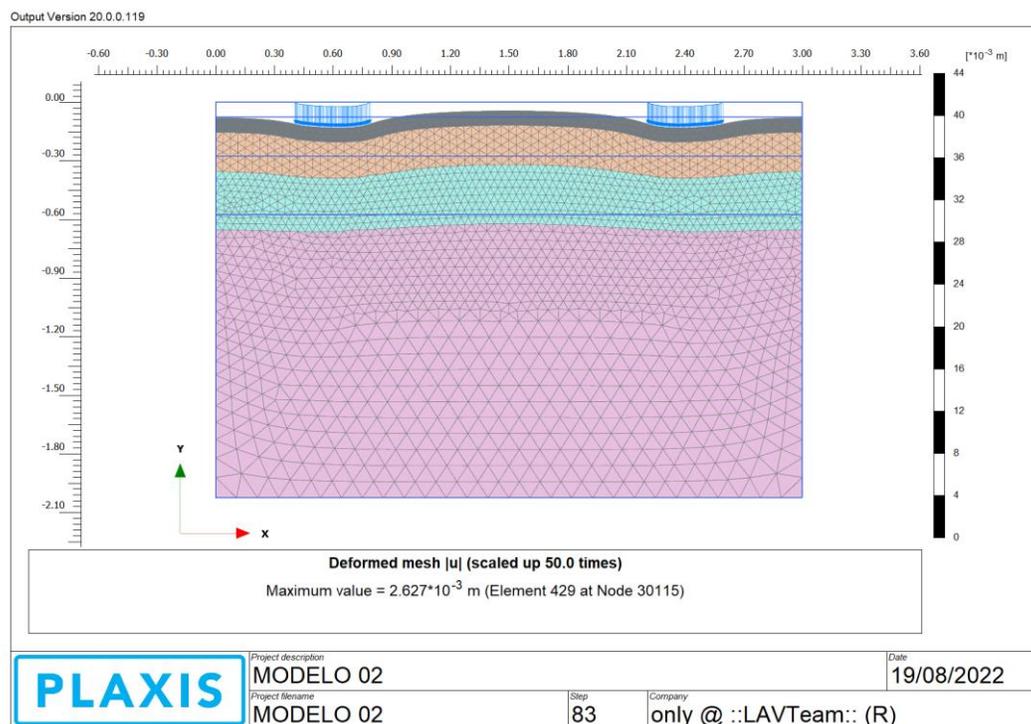
- MESH: Discretización del pavimento



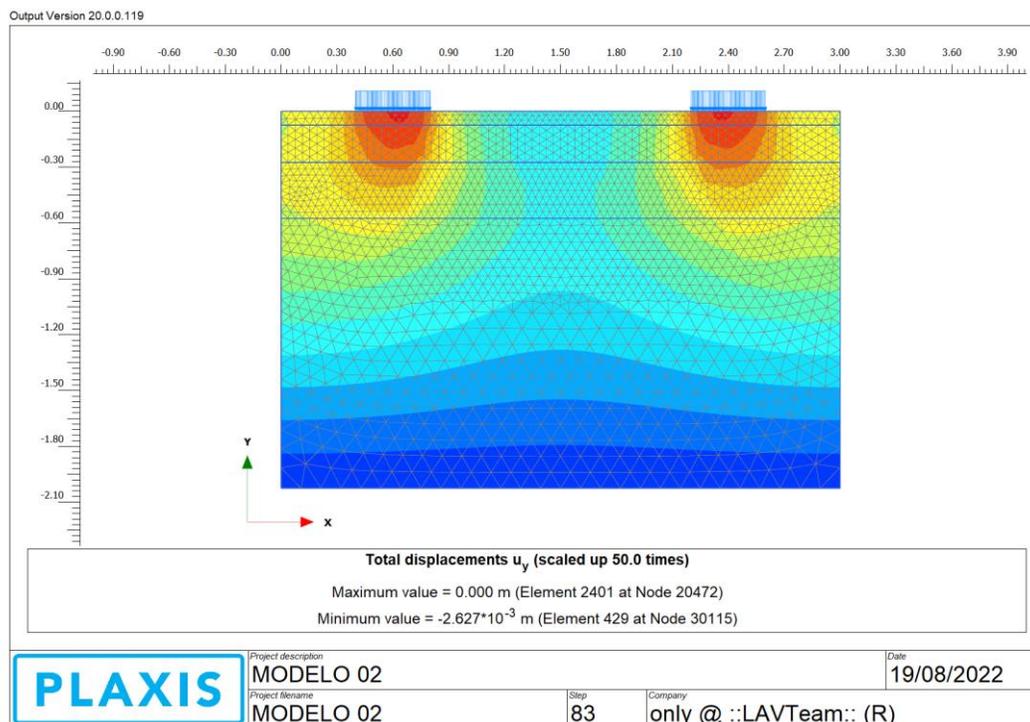
- STAGED CONSTRUCTION: Comprobación de fases de construcción



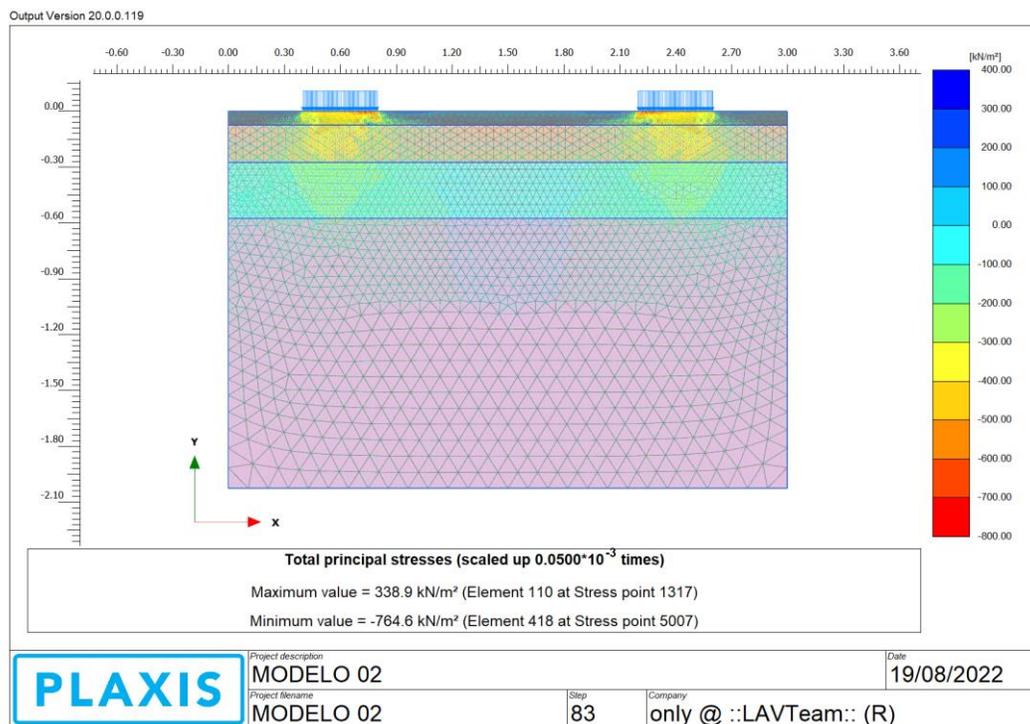
- DEFORMACIONES:



- DESPLAZAMIENTO VERTICAL:



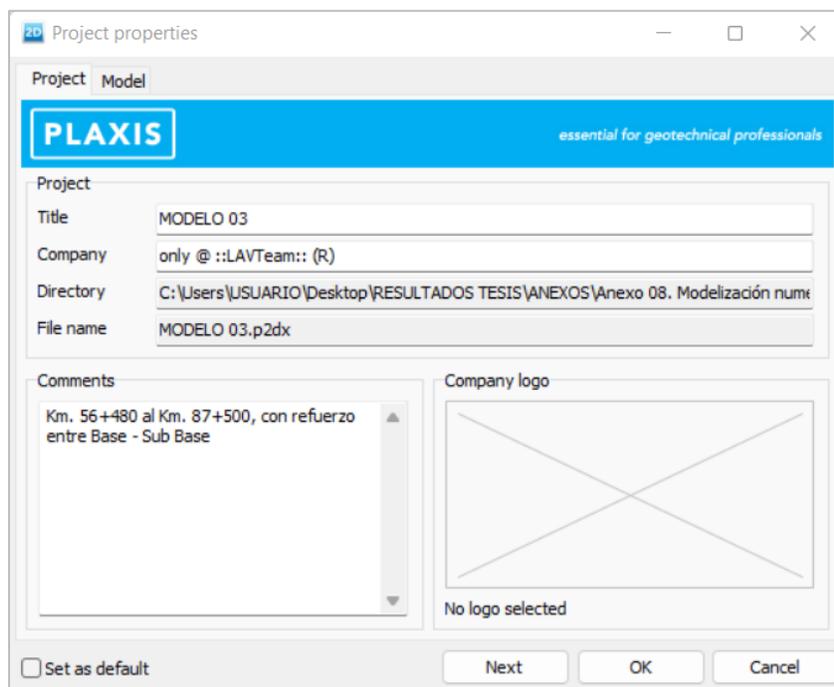
- ESFUERZOS:



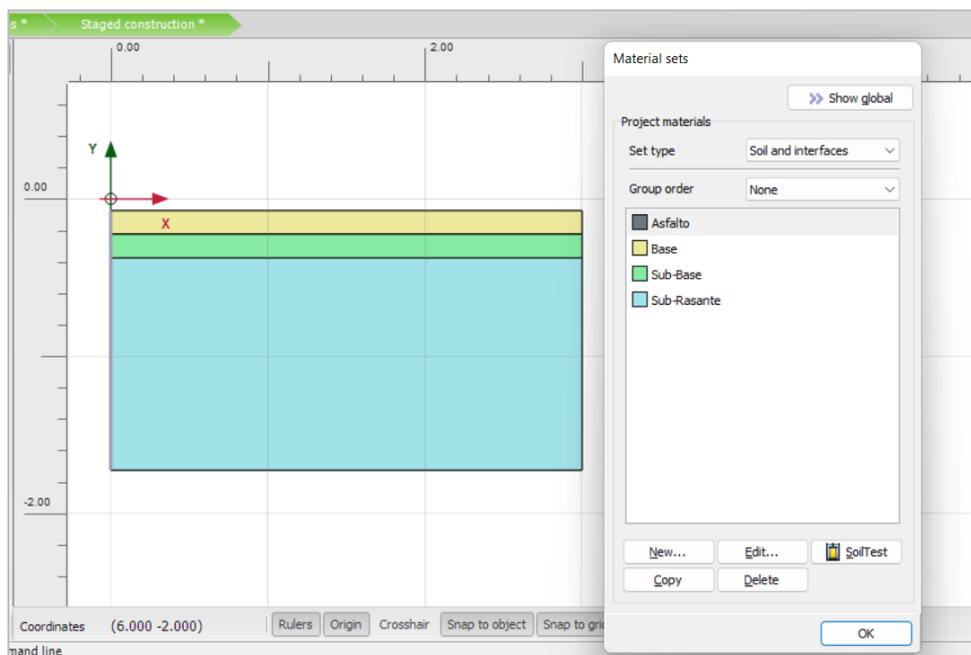
**ANEXO 08: MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON
REFUERZO**

MODELO 03 (Km. 56+480 al Km. 87+500)

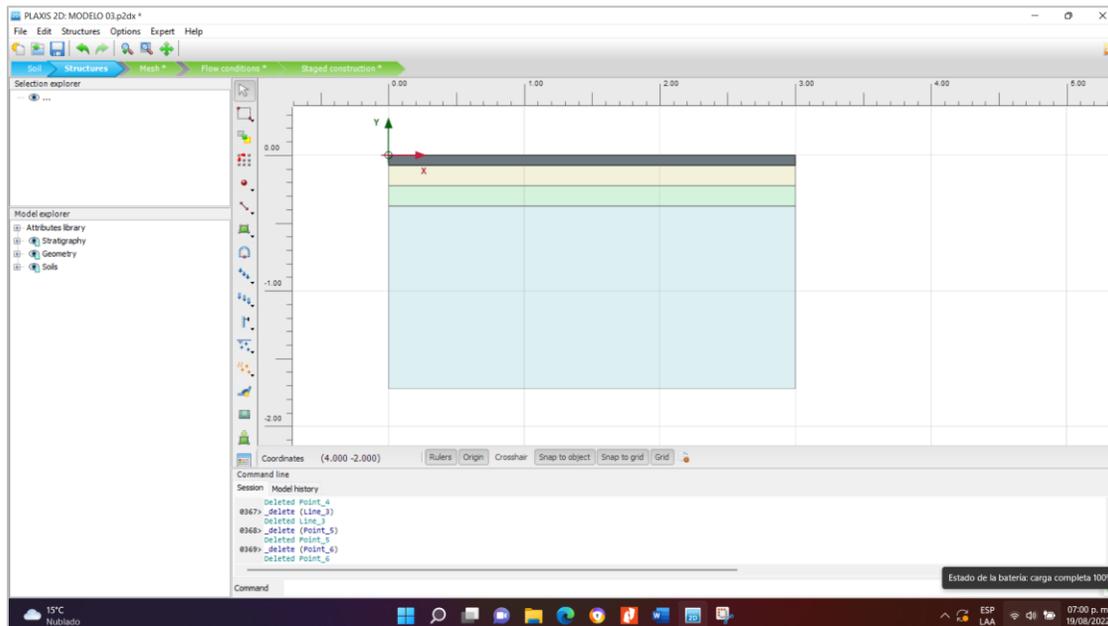
- Creación del modelo geométrico



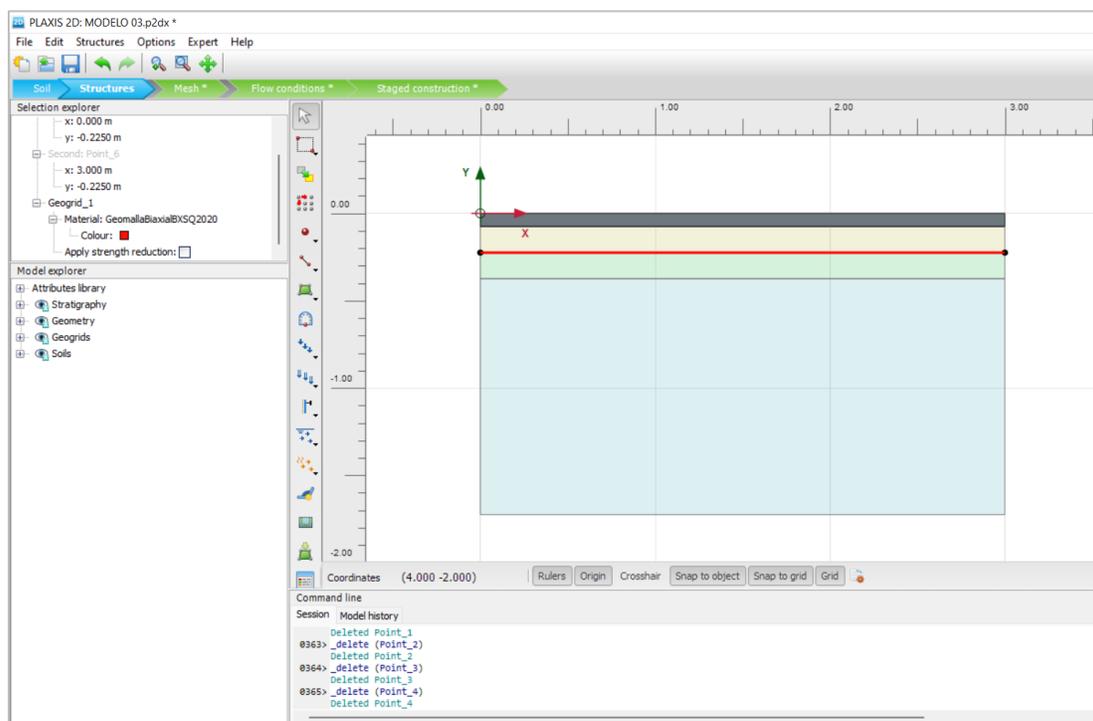
- SOIL: Definición de composición del pavimento



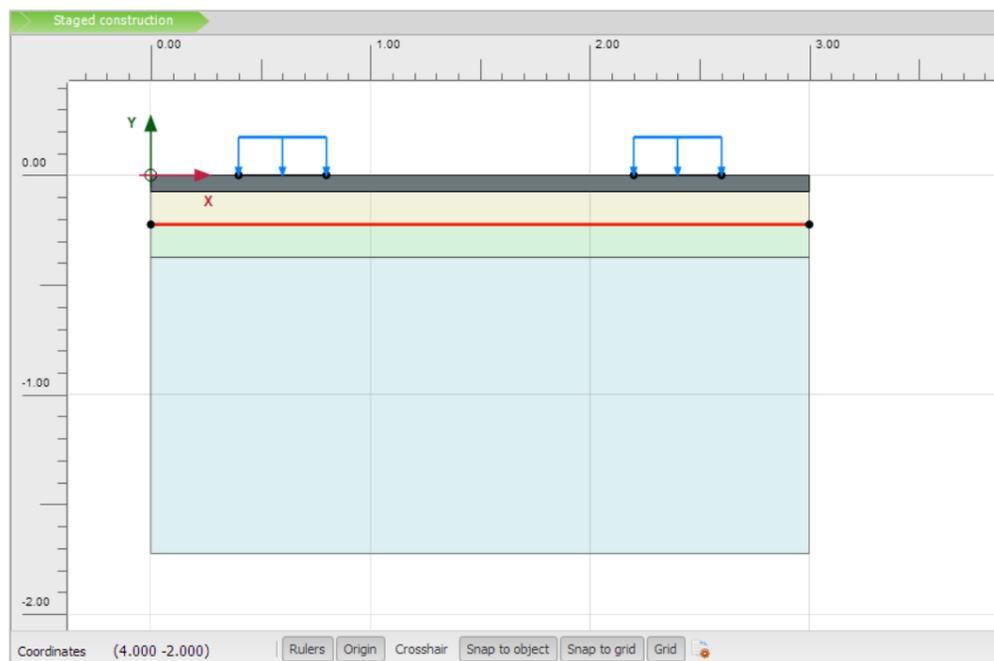
- STRUCTURES: Se agregó la carpeta asfáltica



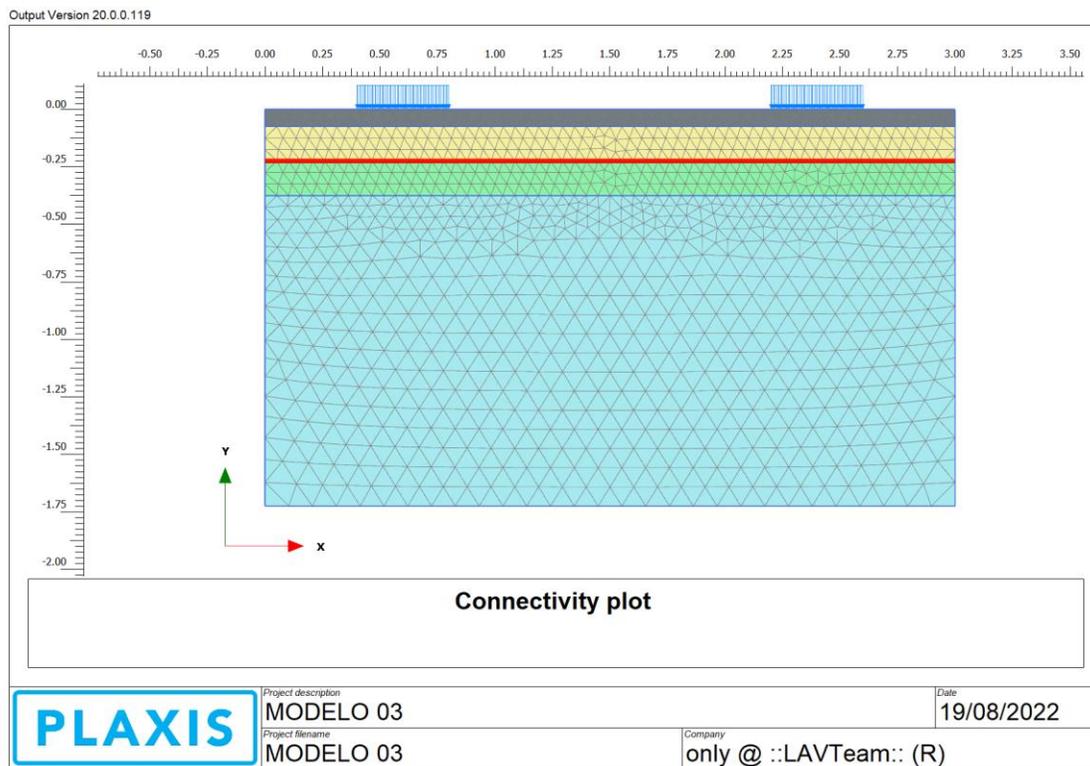
- STRUCTURES: Se asignó una geomalla biaxial BXSQ2020



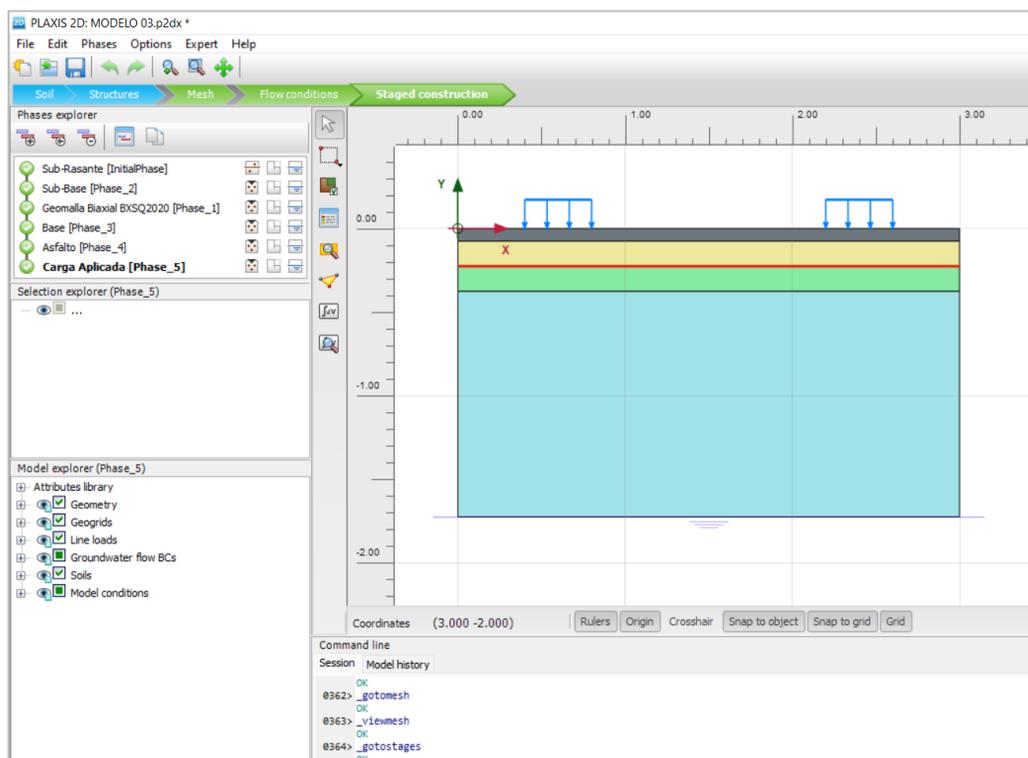
- STRUCTURES: Se asignó la carga por tráfico vehicular



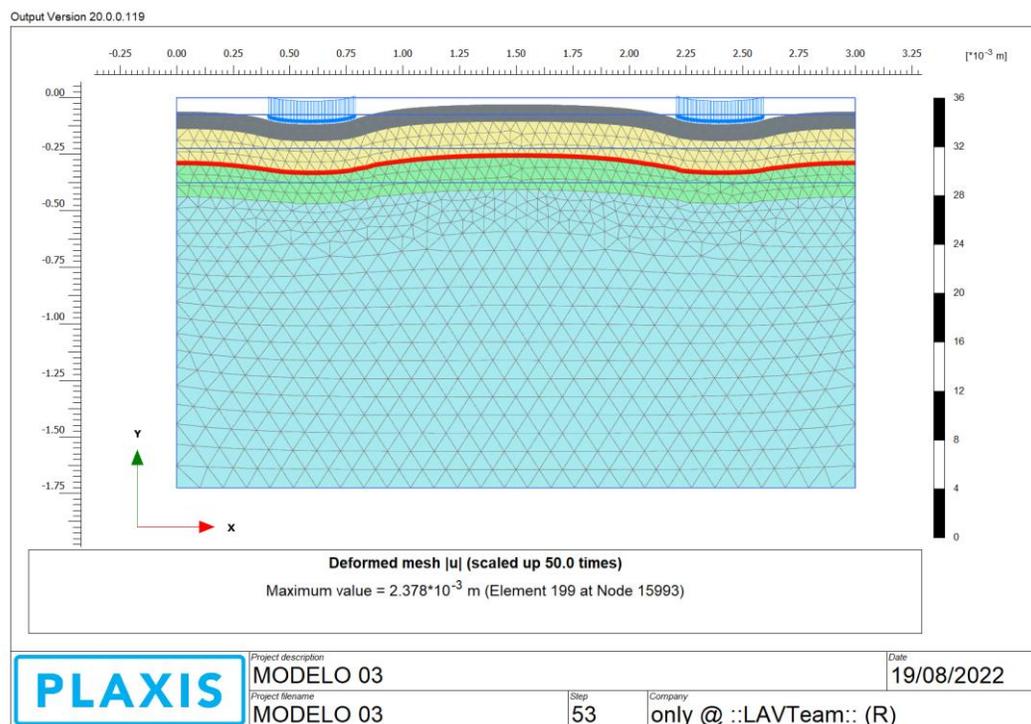
- MESH: Discretización del pavimento



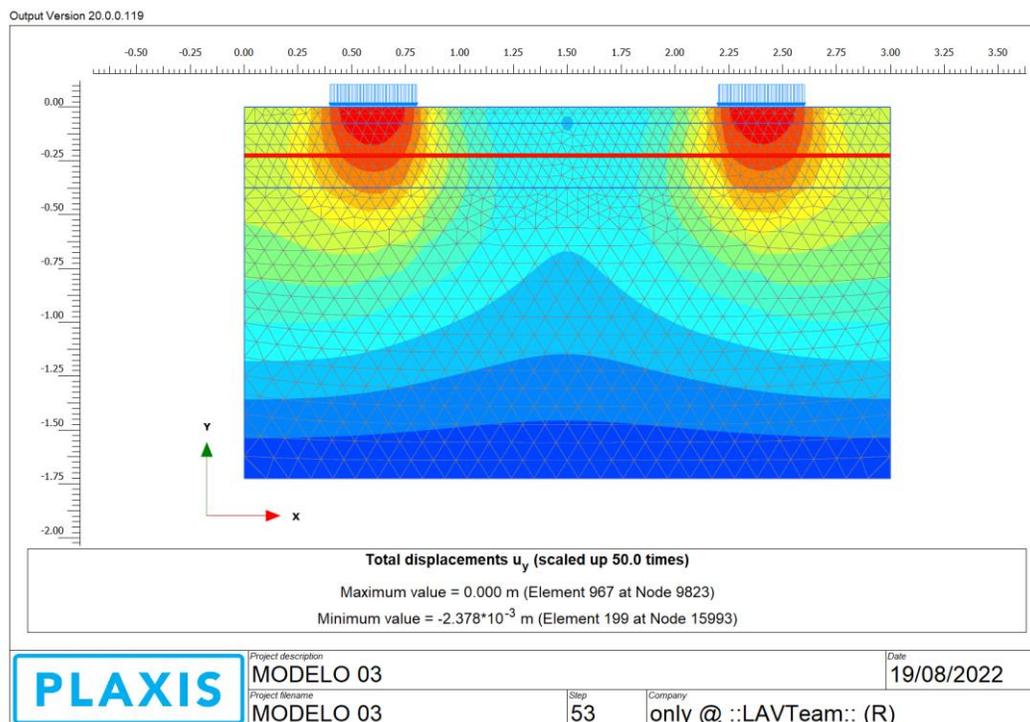
- STAGED CONSTRUCTION: Comprobación de fases de construcción



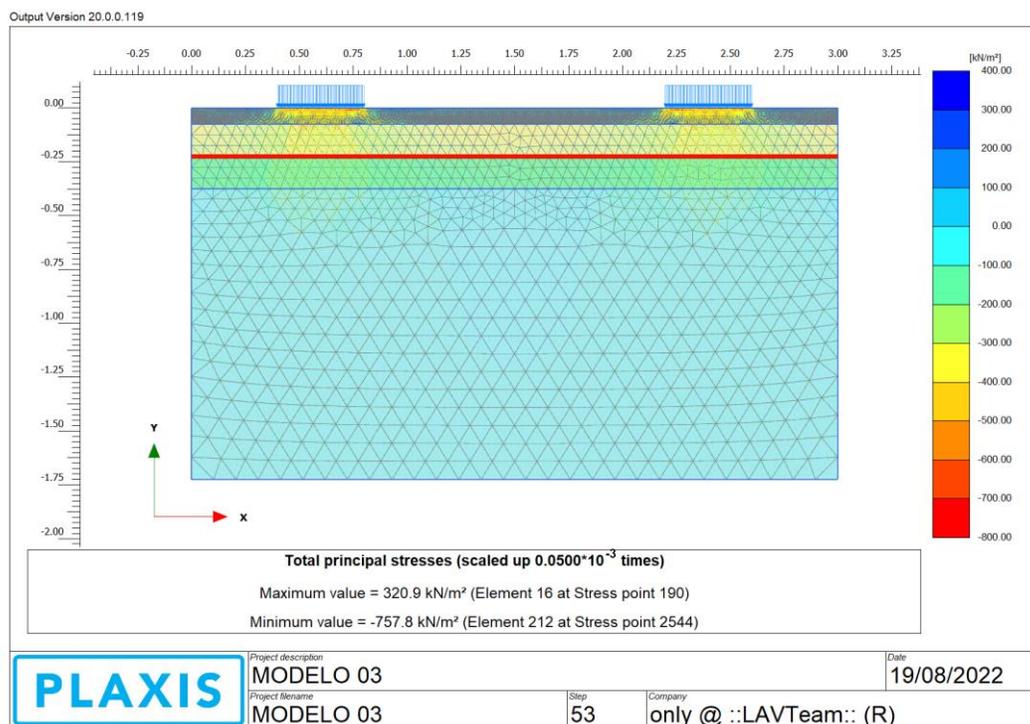
- DEFORMACIONES:



- DESPLAZAMIENTO VERTICAL:

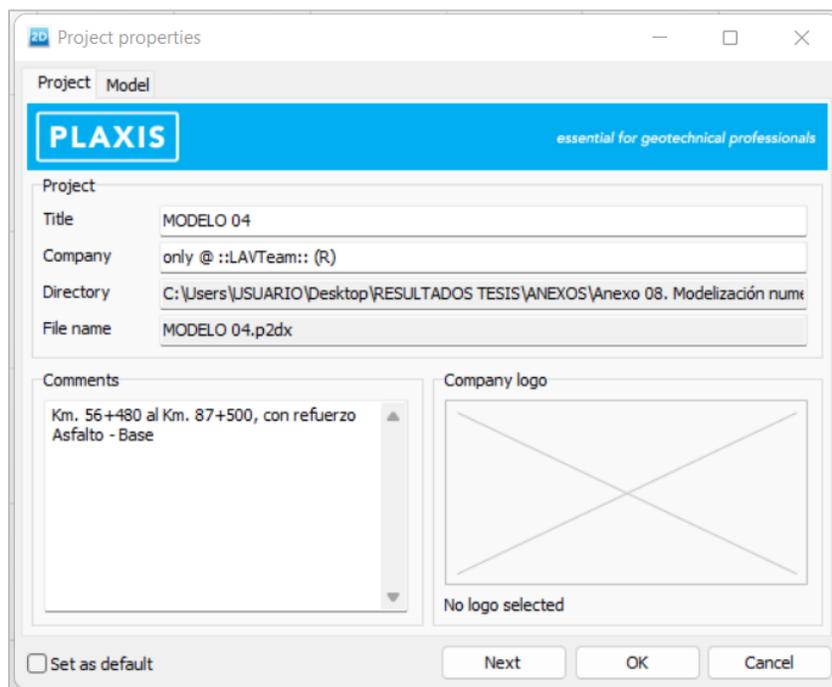


- ESFUERZOS:

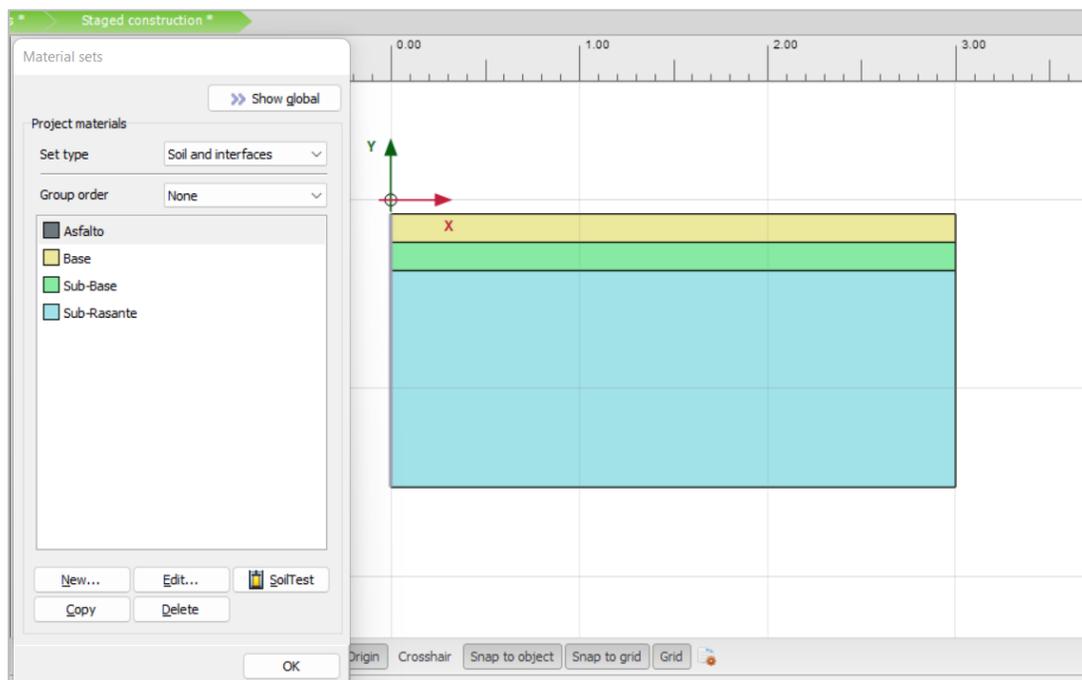


MODELO 04 (Km. 56+480 al Km. 87+500)

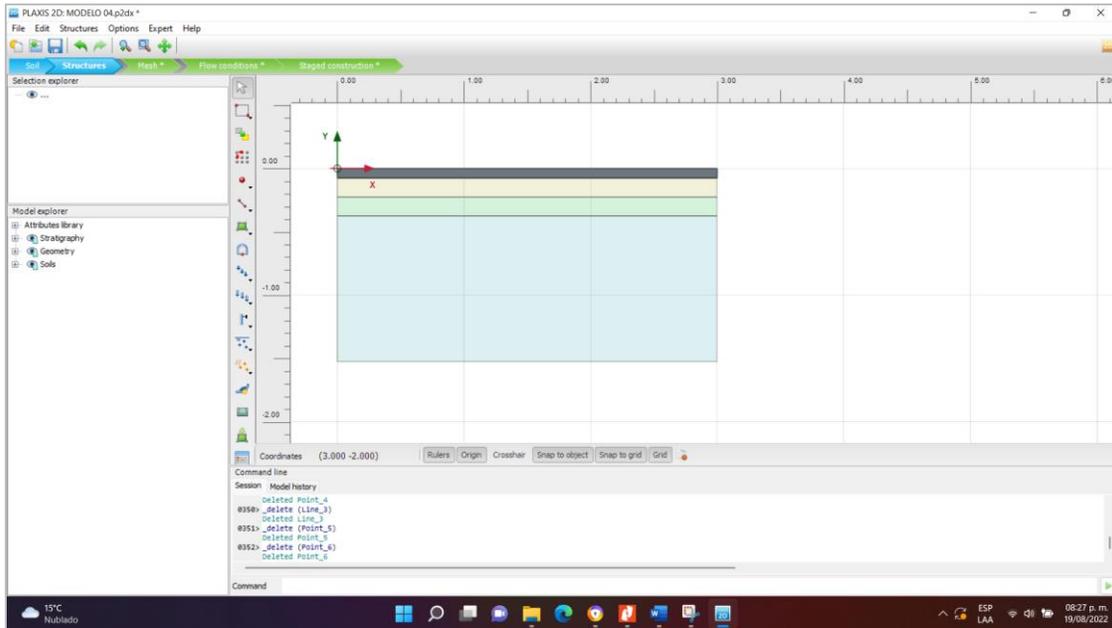
- Creación del modelo geométrico



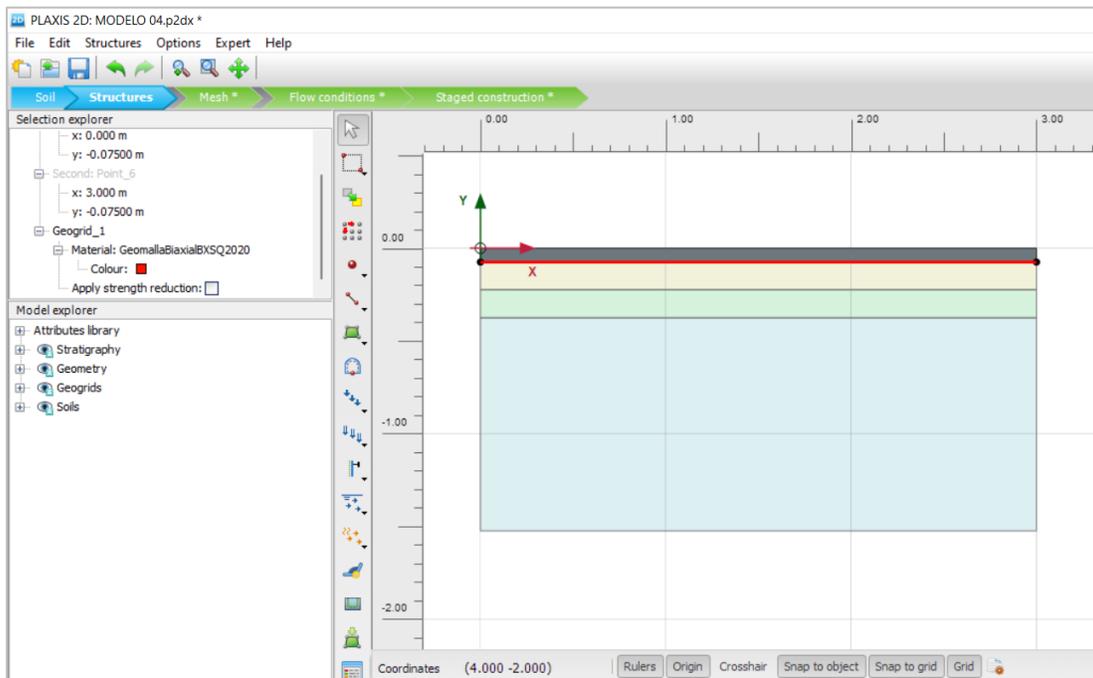
- SOIL: Definición de composición del pavimento



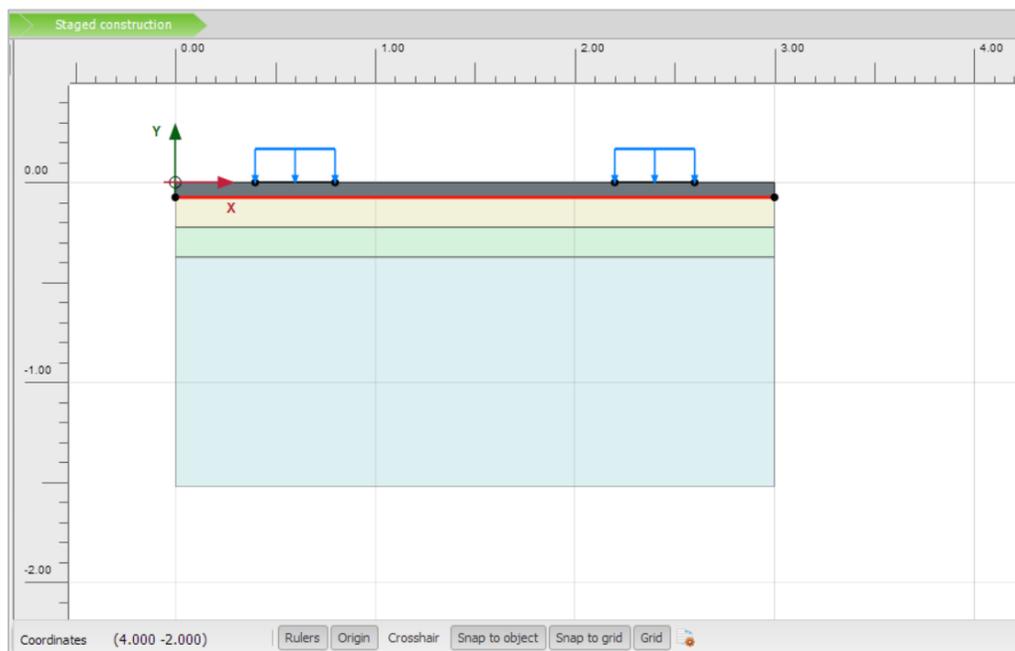
- STRUCTURES: Se agregó la carpeta asfáltica



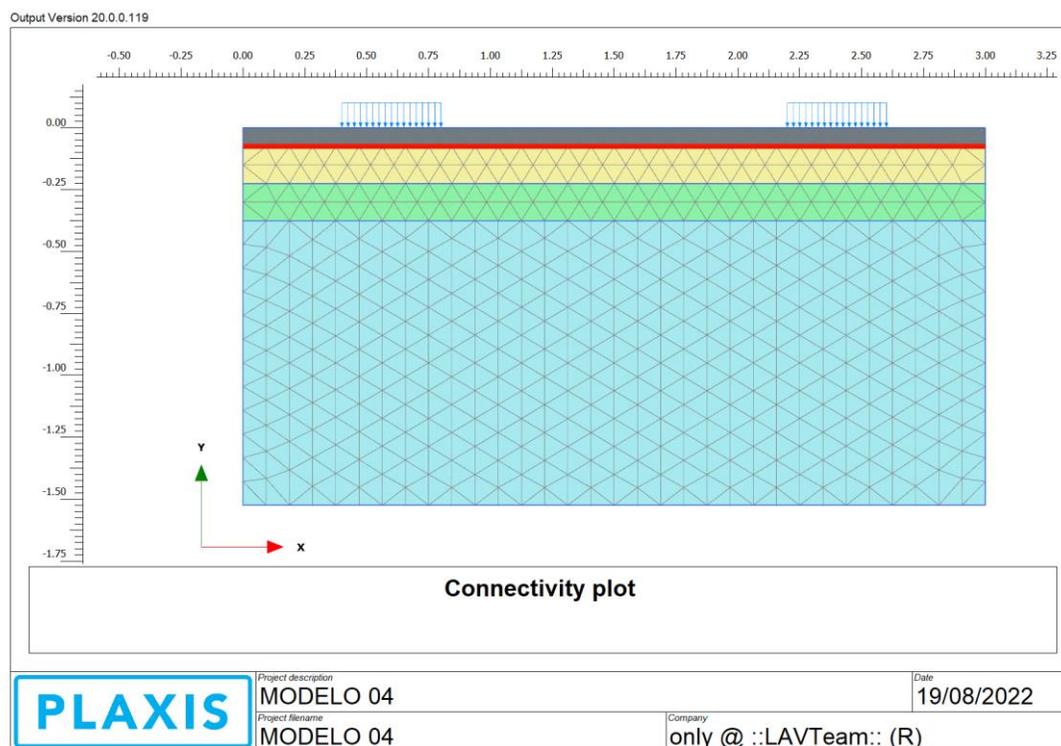
- STRUCTURES: Se asignó una geomalla biaxial BXSQ2020



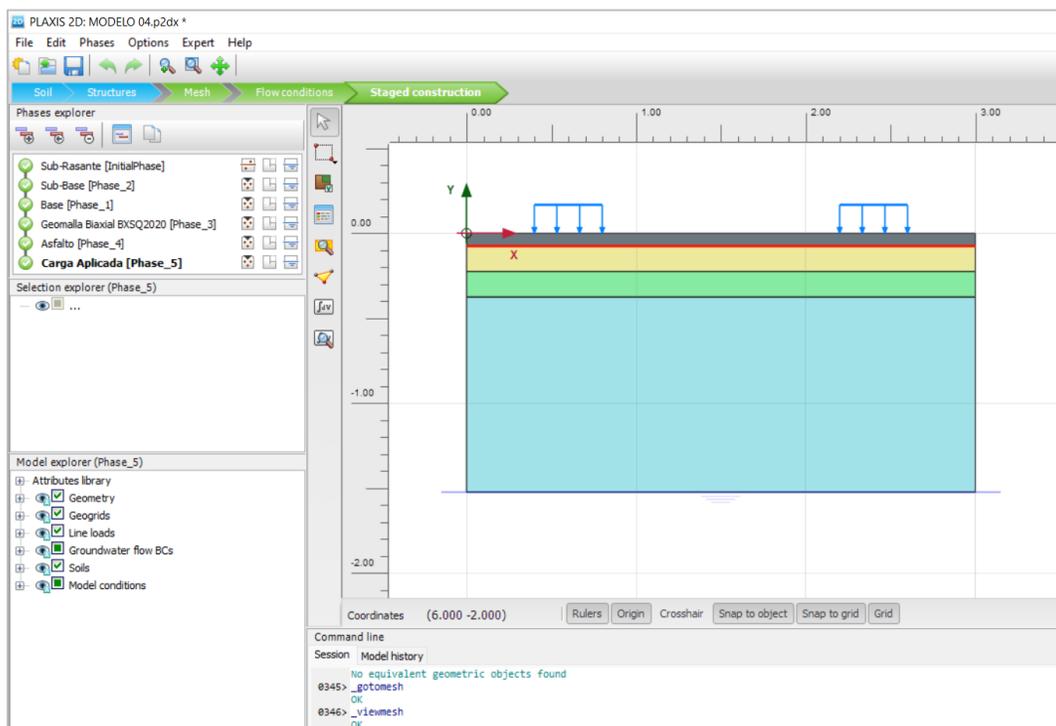
- *STRUCTURES: Se asignó la carga por tráfico vehicular*



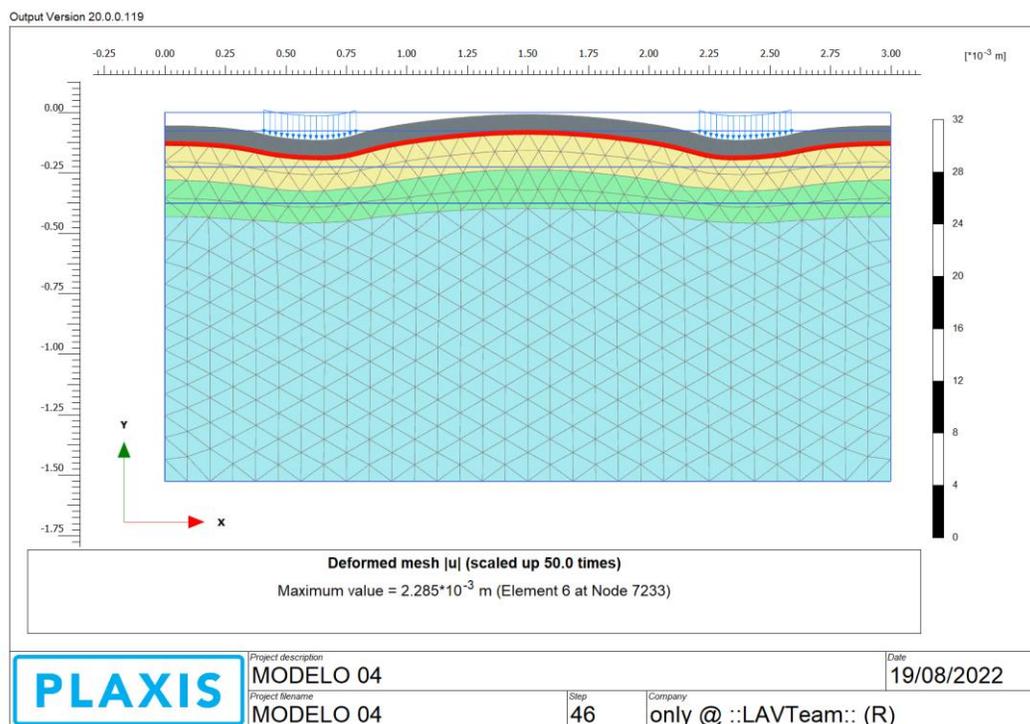
- *MESH: Discretización del pavimento*



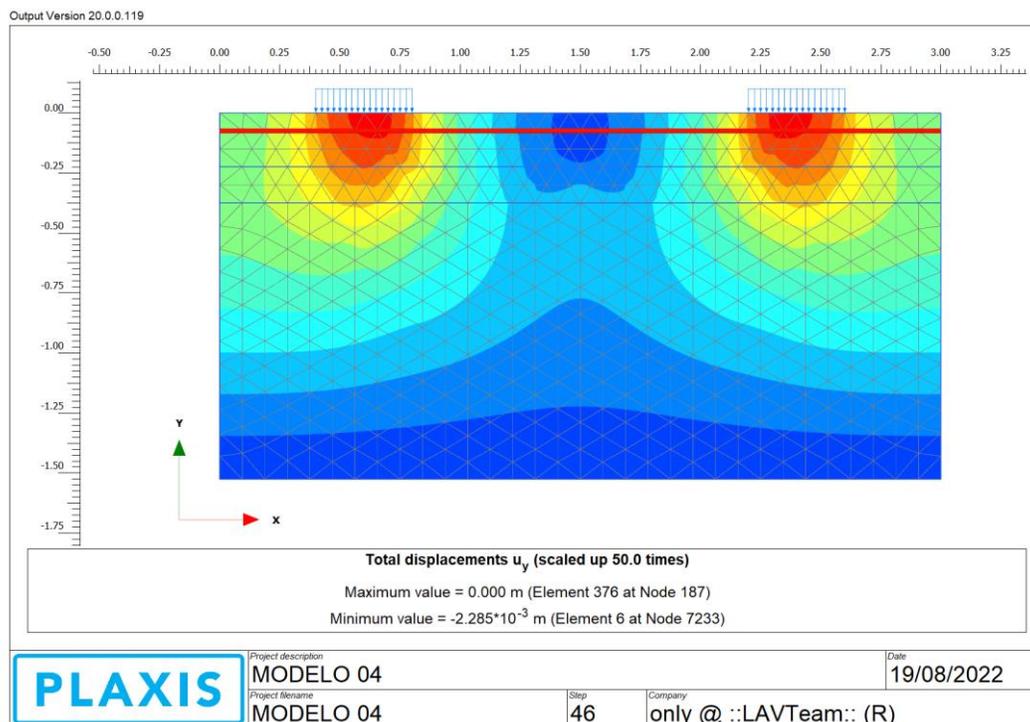
- STAGED CONSTRUCTION: Comprobación de fases de construcción



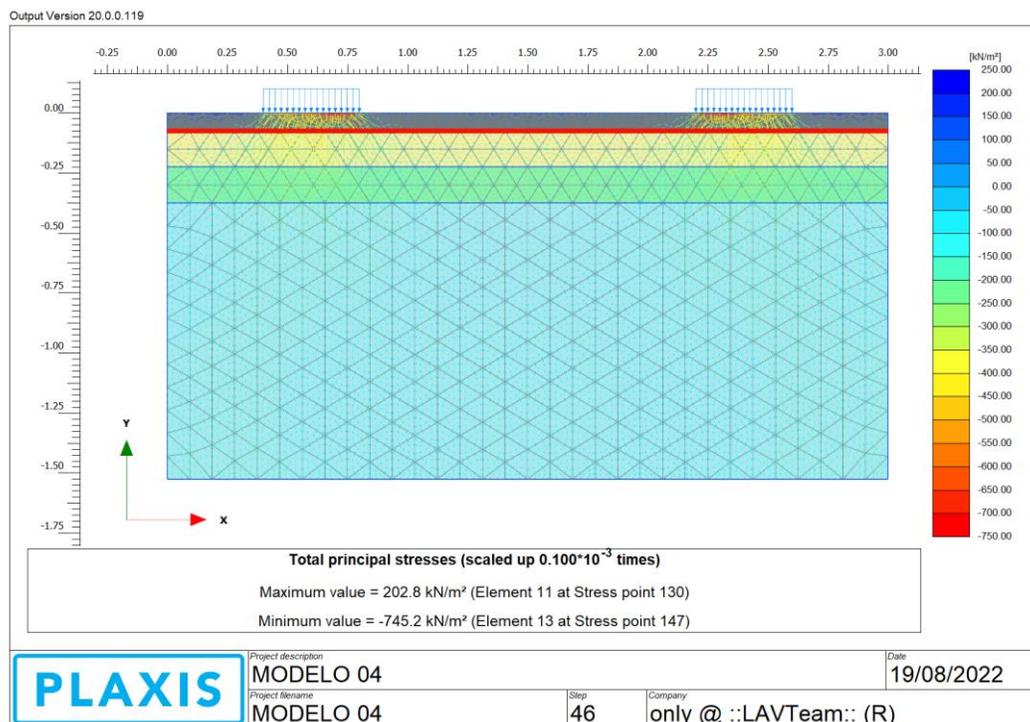
- DEFORMACIONES:



- DESPLAZAMIENTO VERTICAL:

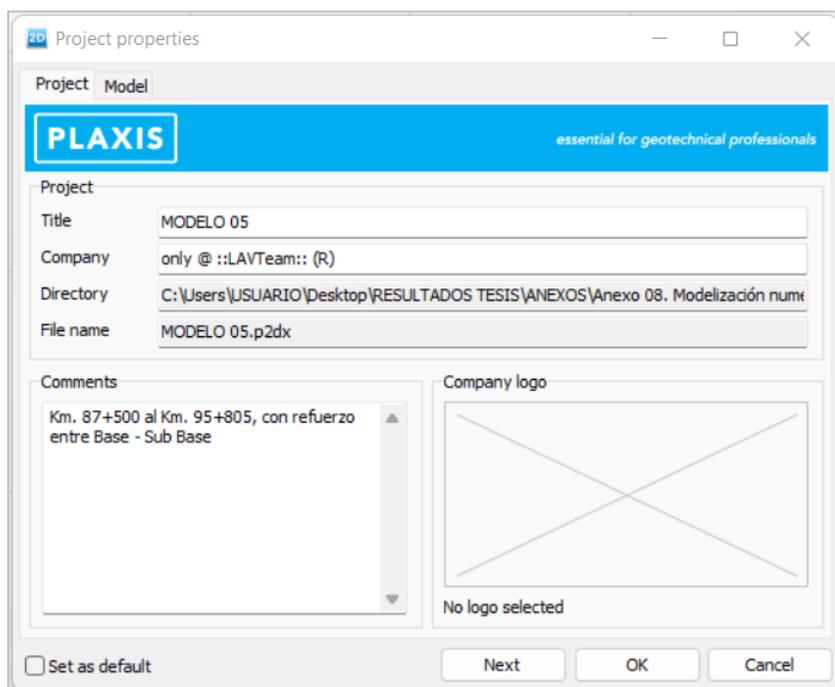


- ESFUERZOS:

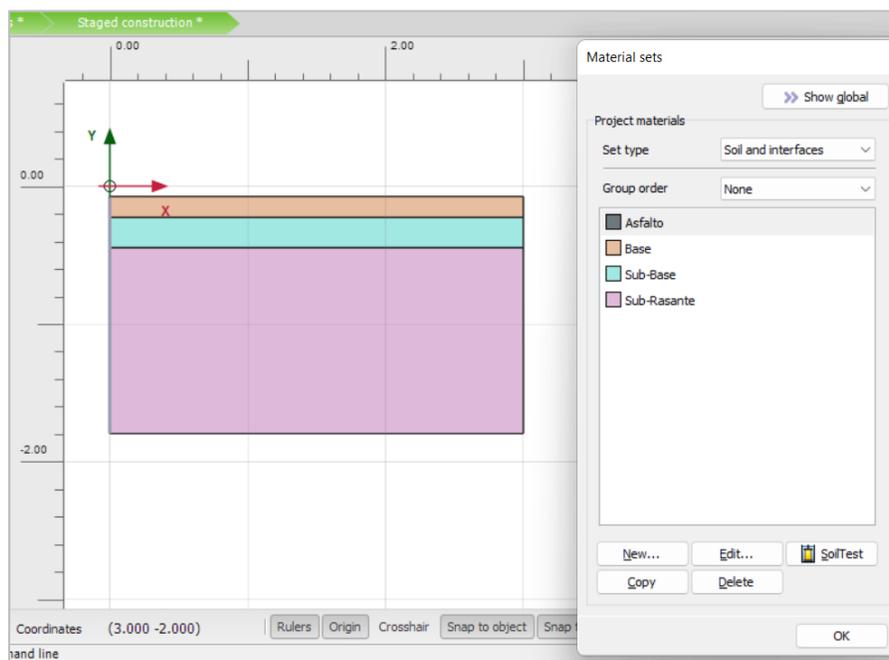


MODELO 05 (Km. 87+500 al Km. 95+805)

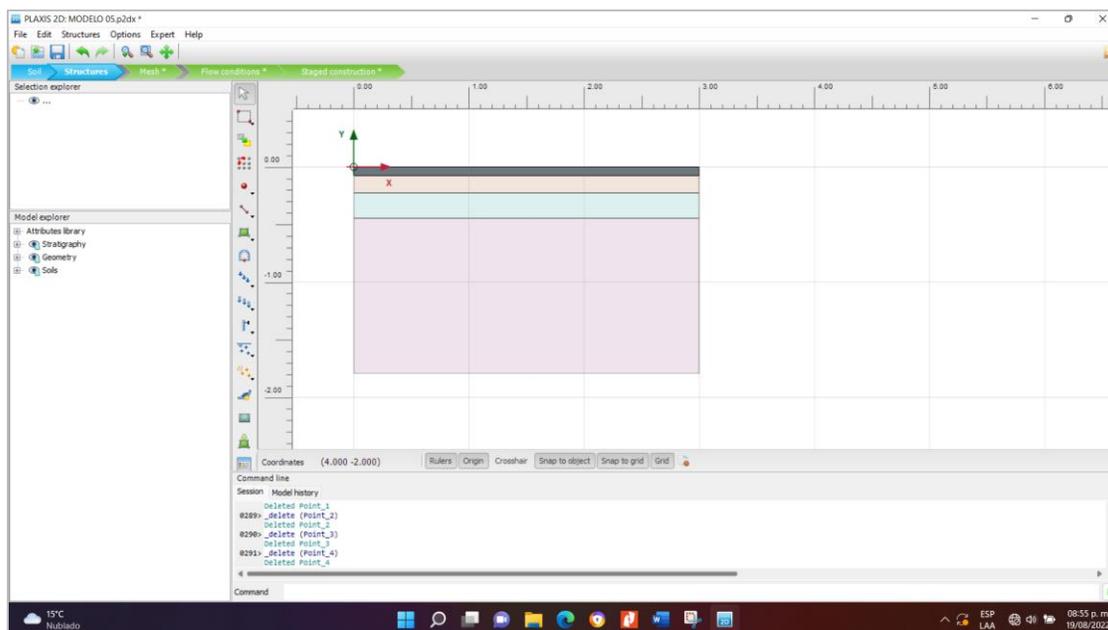
- Creación del modelo geométrico



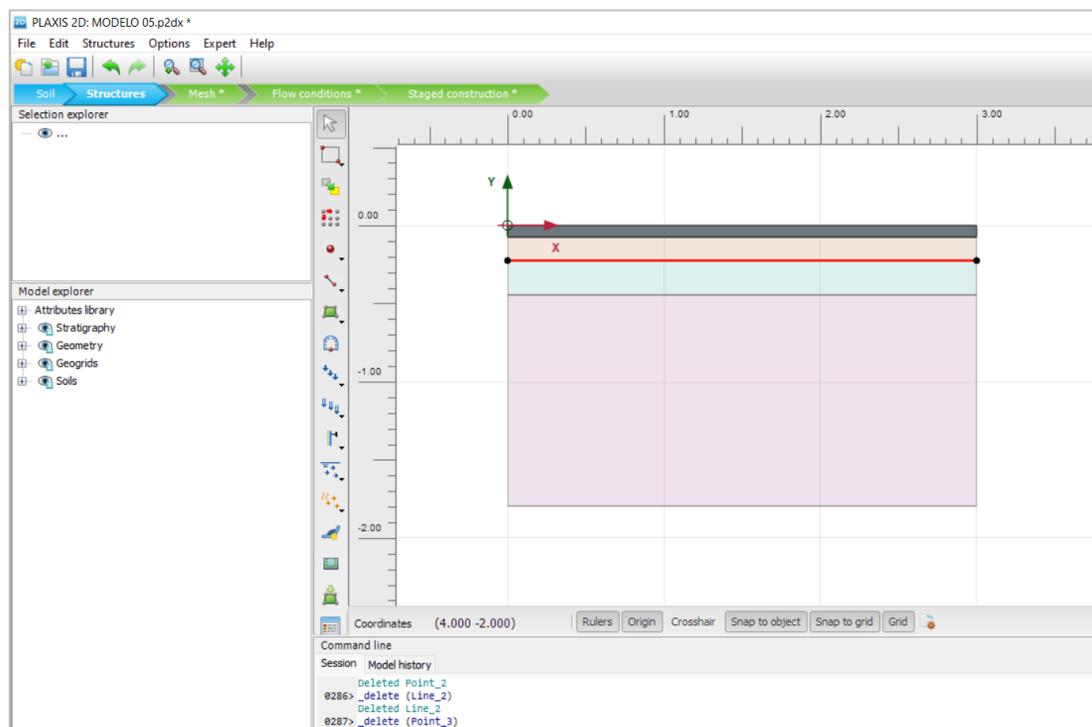
- SOIL: Definición de composición del pavimento



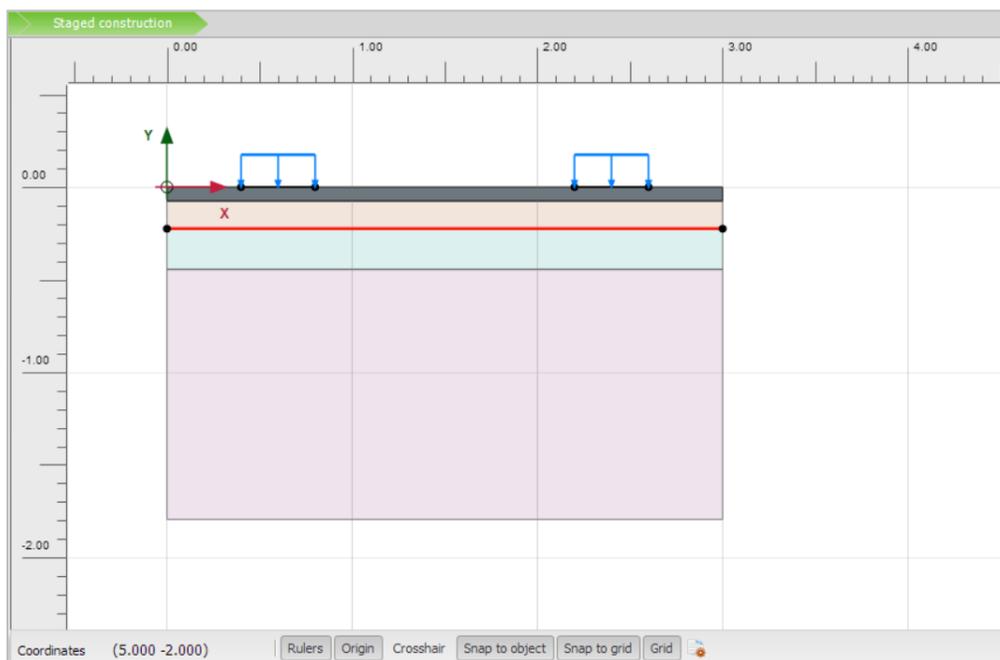
- STRUCTURES: Se agregó la carpeta asfáltica



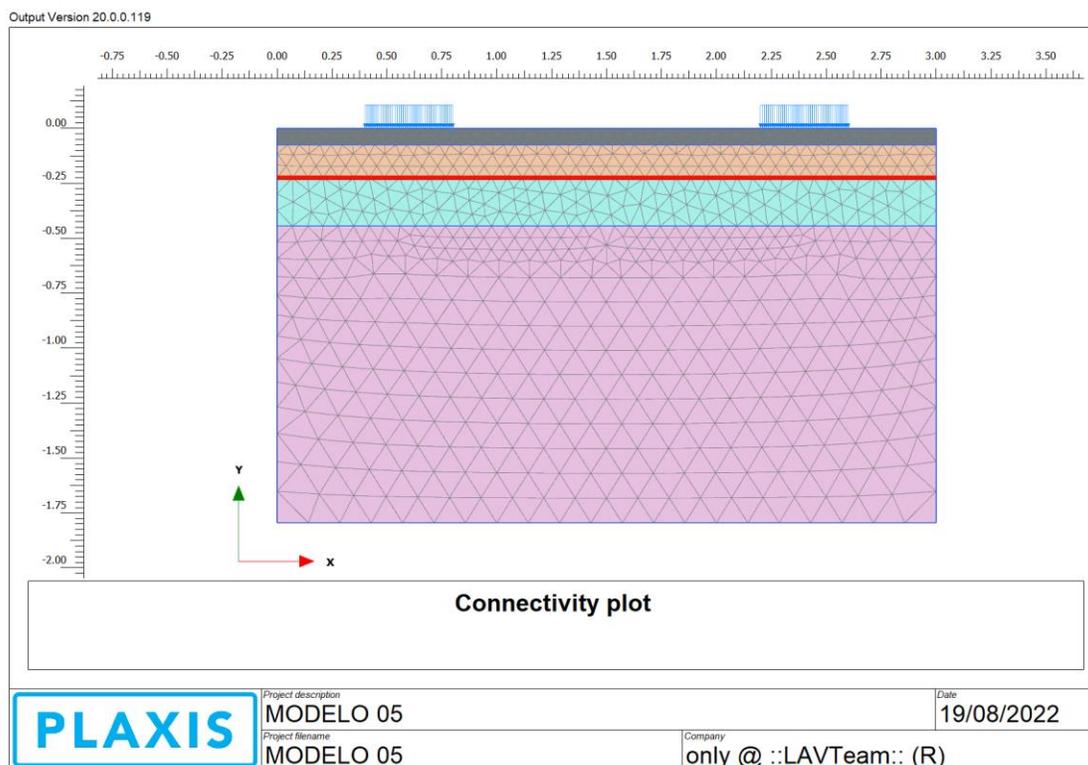
- STRUCTURES: Se asignó una geomalla biaxial BXSQ2020



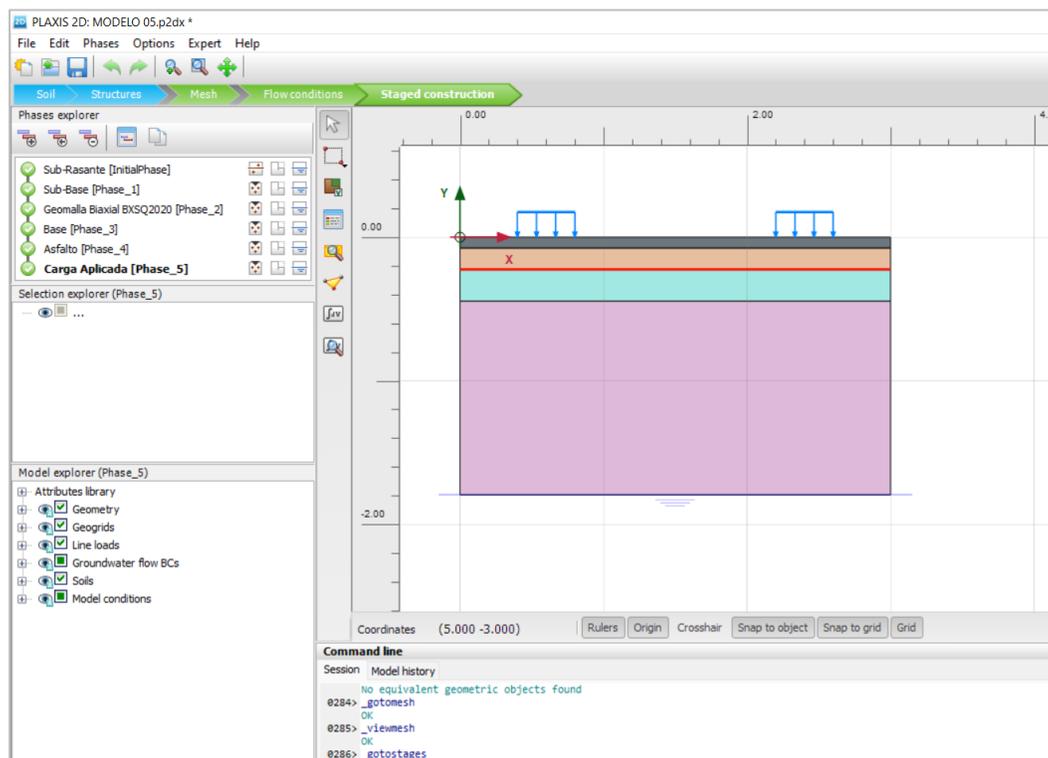
- STRUCTURES: Se asignó la carga por tráfico vehicular



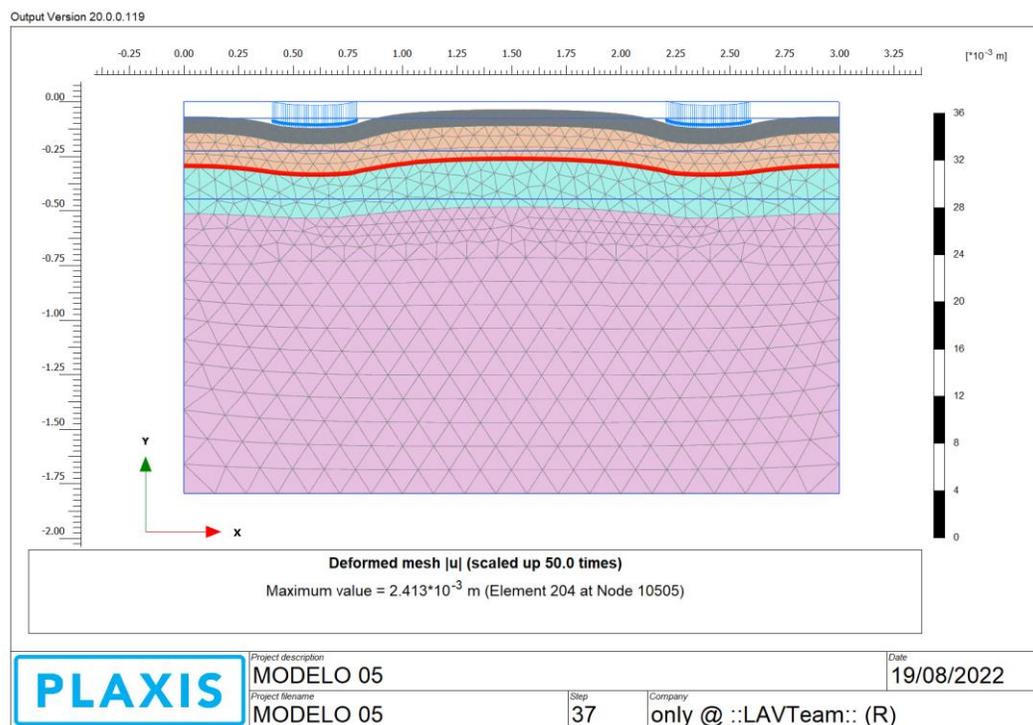
- MESH: Discretización del pavimento



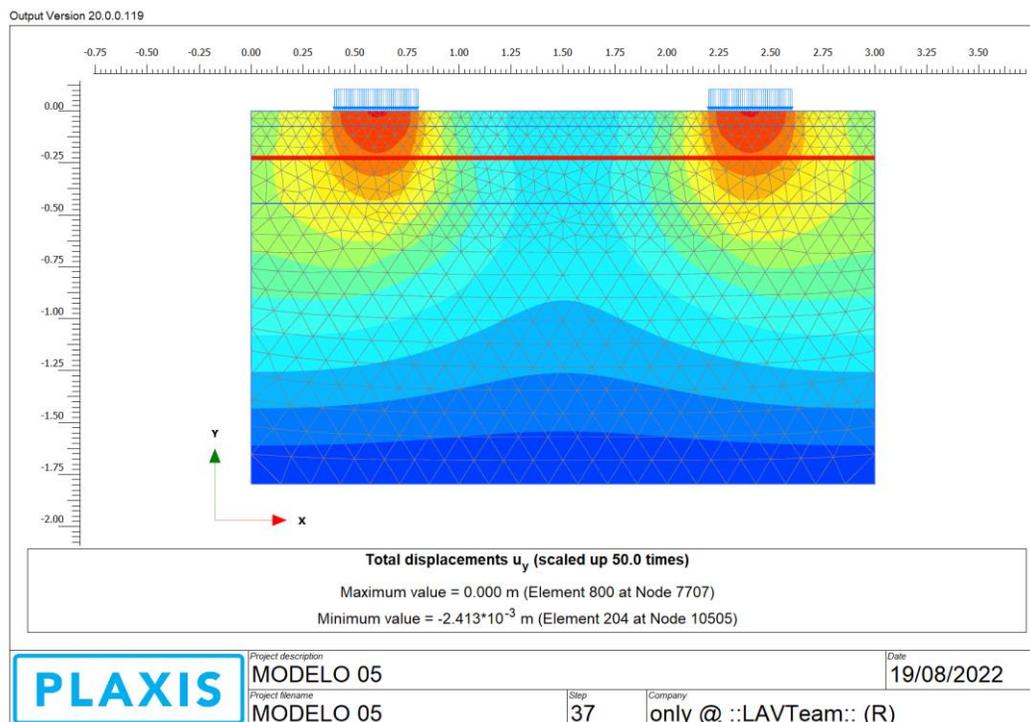
- STAGED CONSTRUCTION: Comprobación de fases de construcción



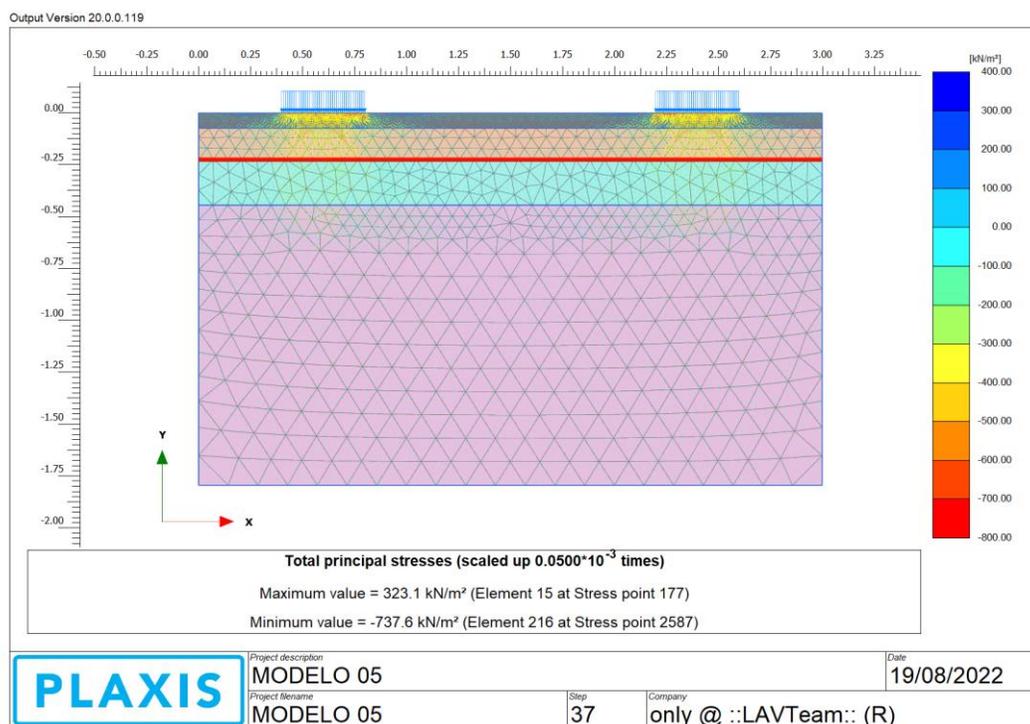
- DEFORMACIONES:



- DESPLAZAMIENTO VERTICAL:

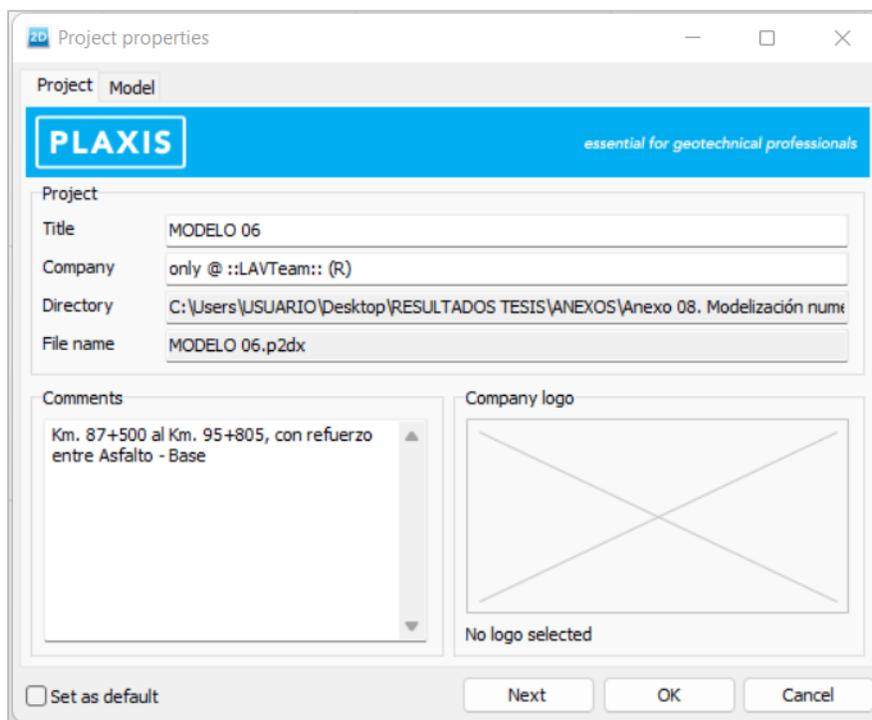


- ESFUERZOS:

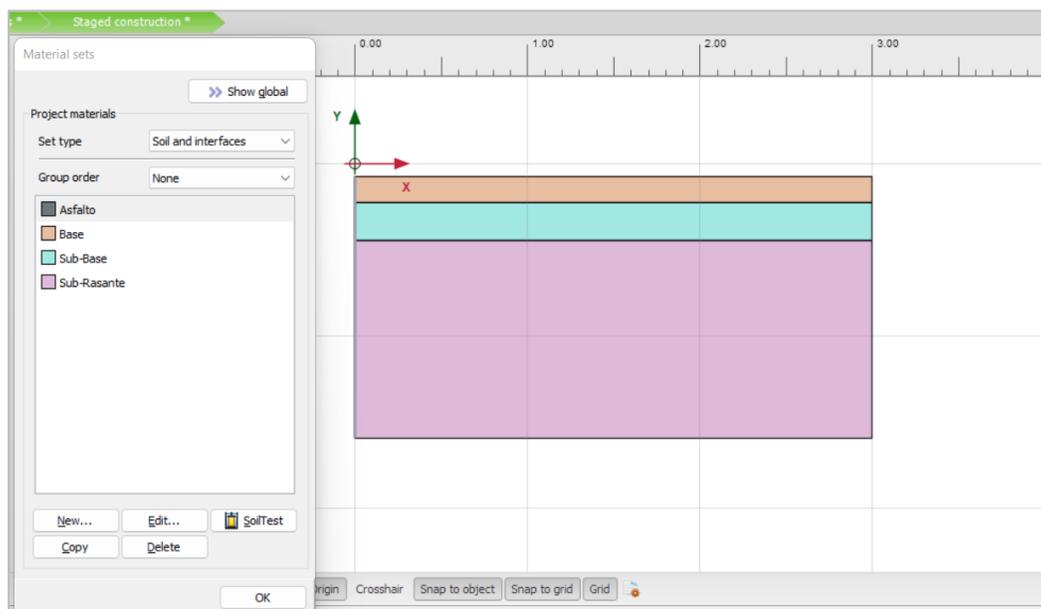


MODELO 06 (Km. 87+500 al Km. 95+805)

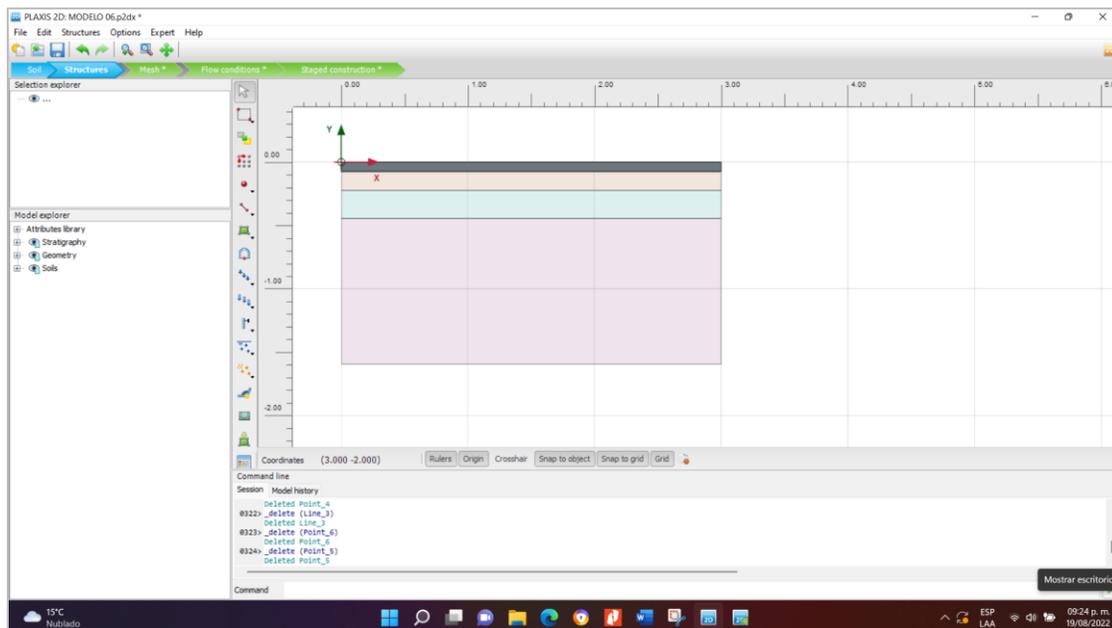
- Creación del modelo geométrico



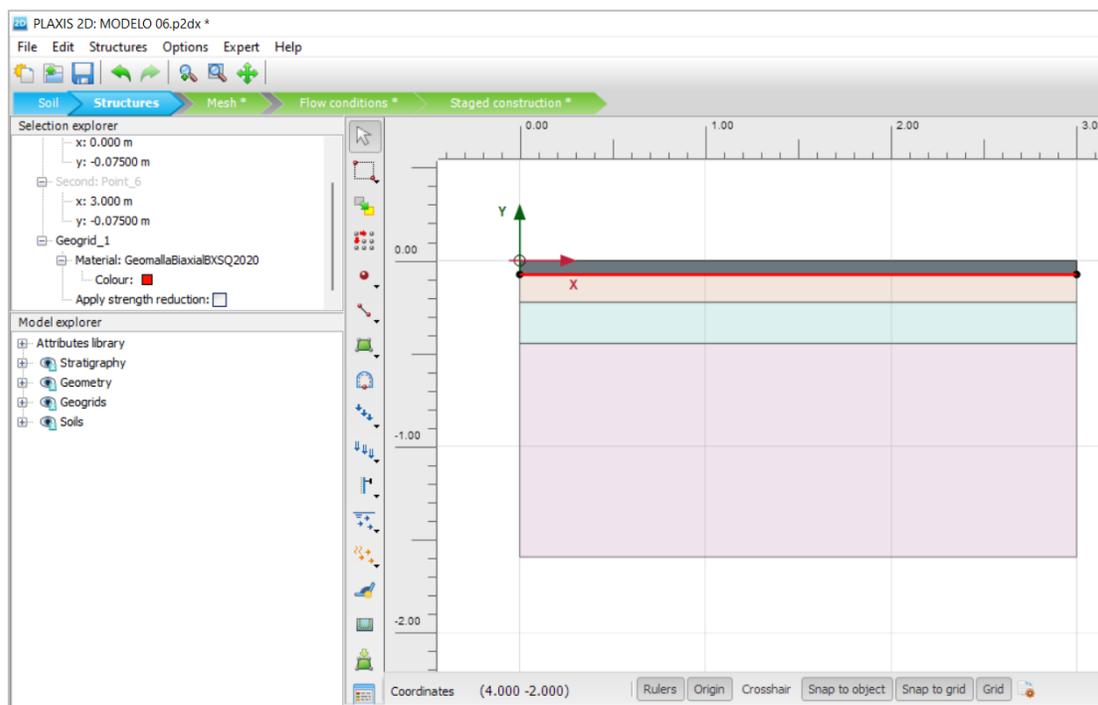
- SOIL: Definición de composición del pavimento



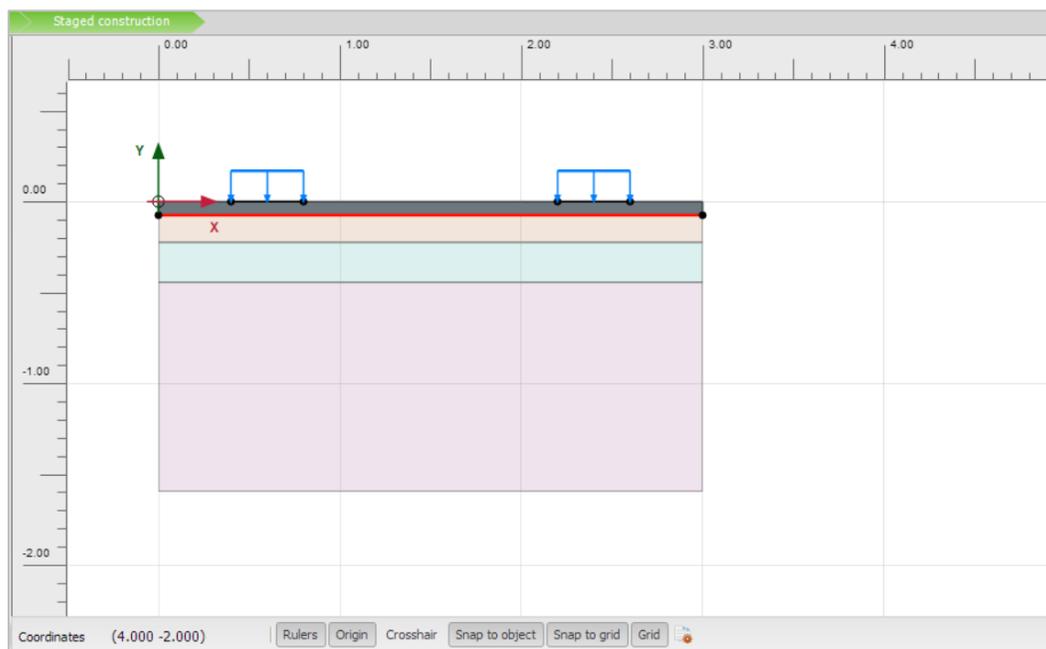
- STRUCTURES: Se agregó la carpeta asfáltica



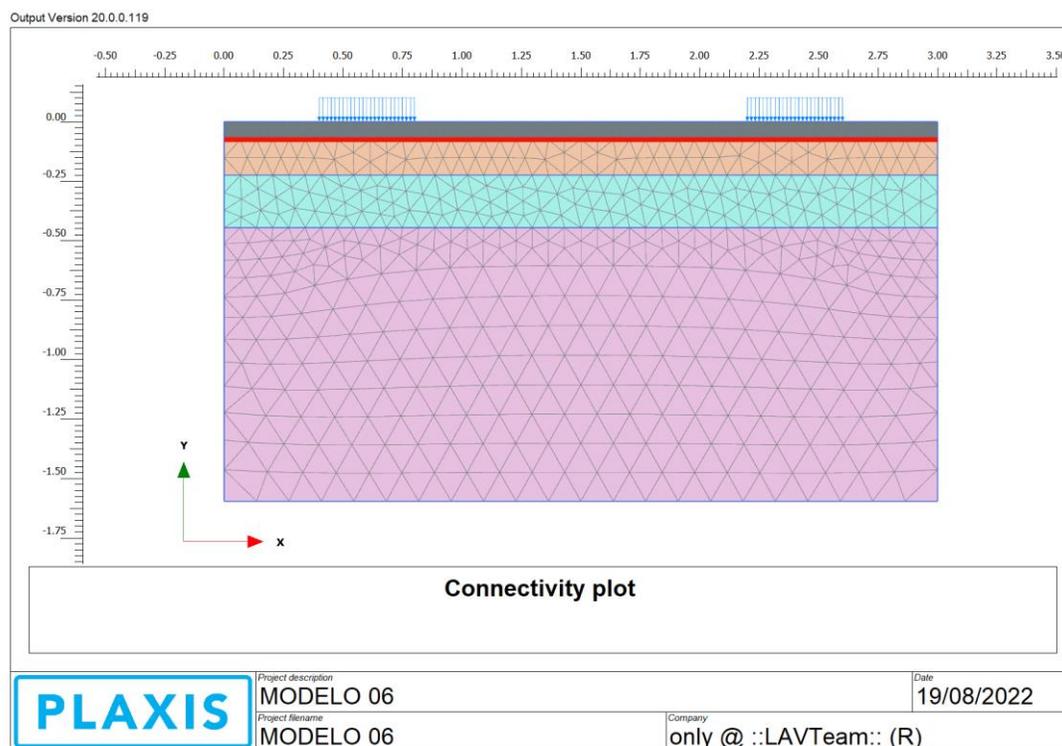
- STRUCTURES: Se asignó una geomalla biaxial BXSQ2020



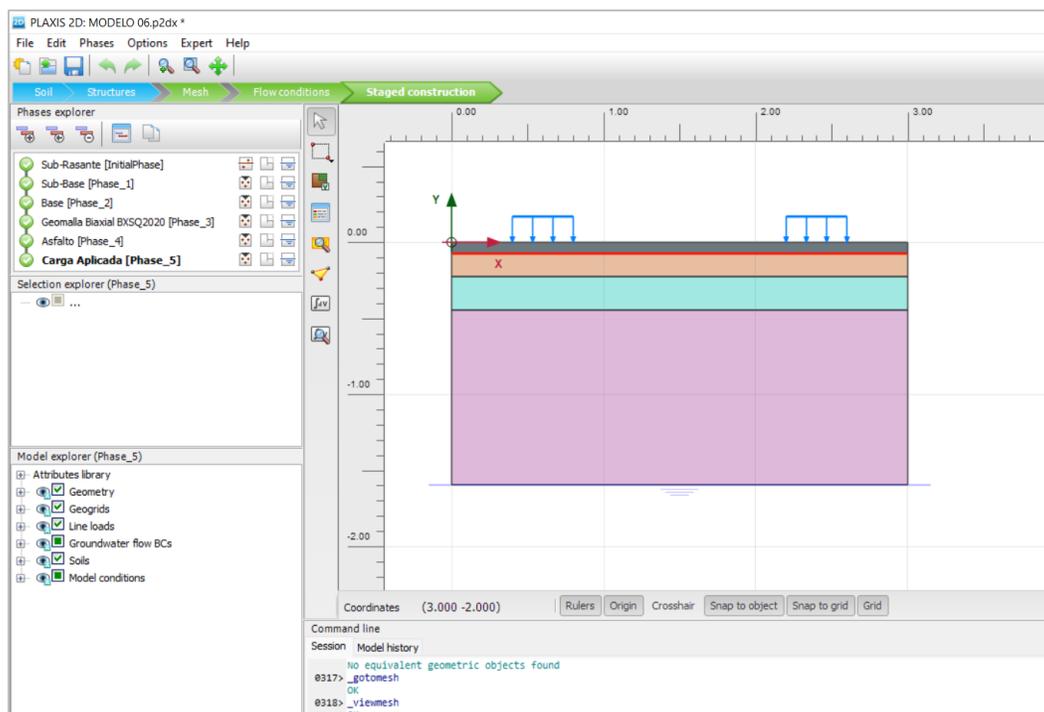
- *STRUCTURES: Se asignó la carga por tráfico vehicular*



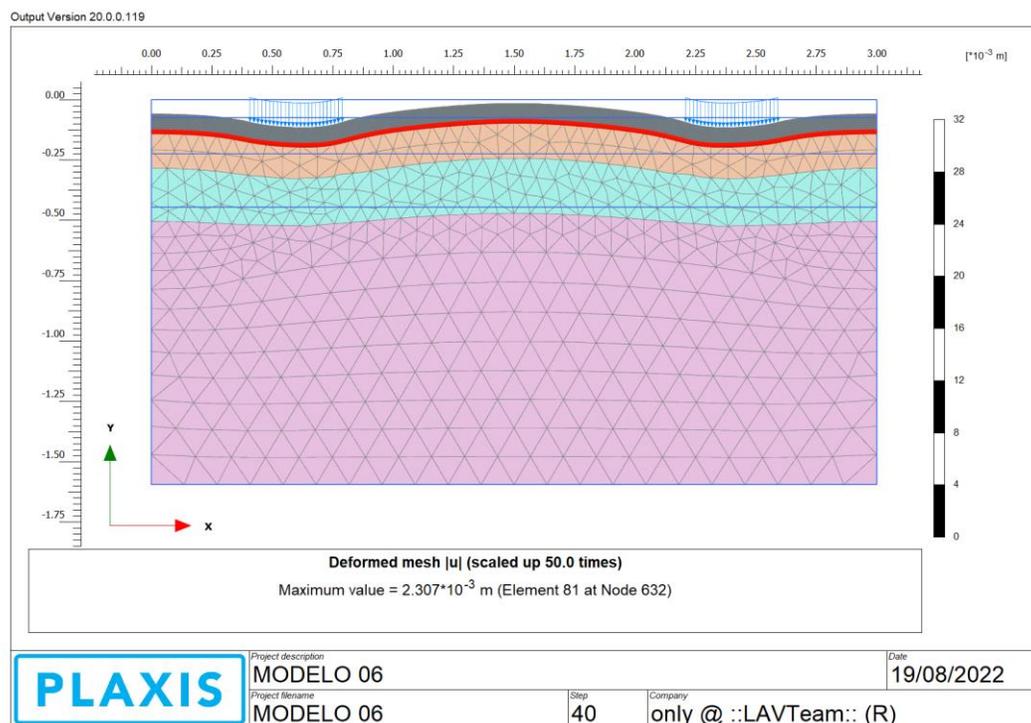
- *MESH: Discretización del pavimento*



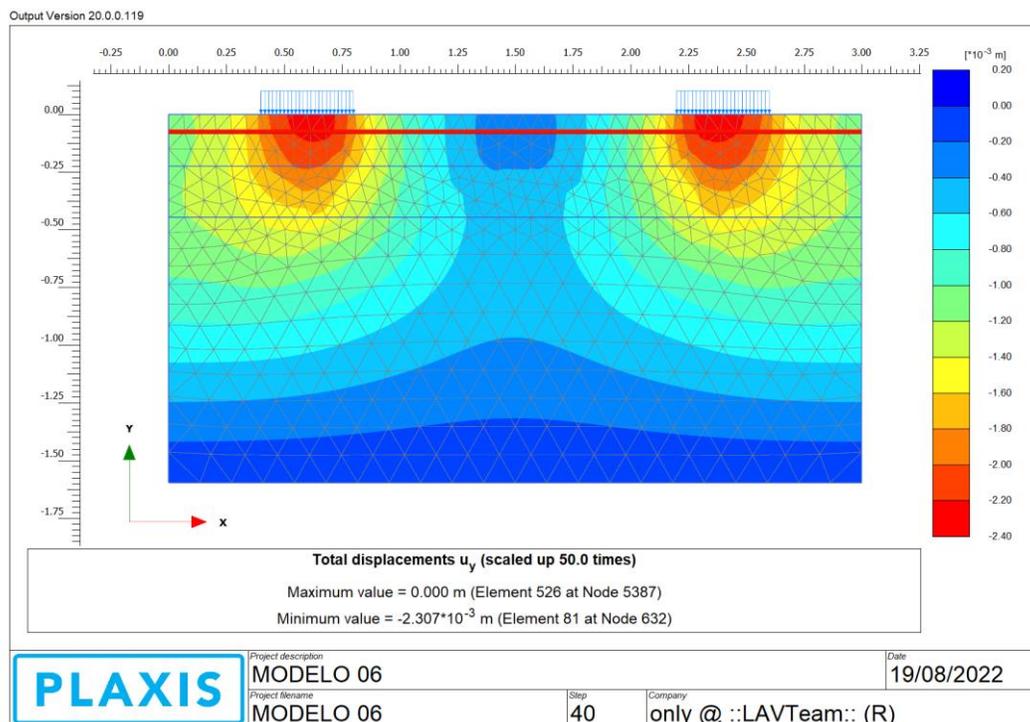
- STAGED CONSTRUCTION: Comprobación de fases de construcción



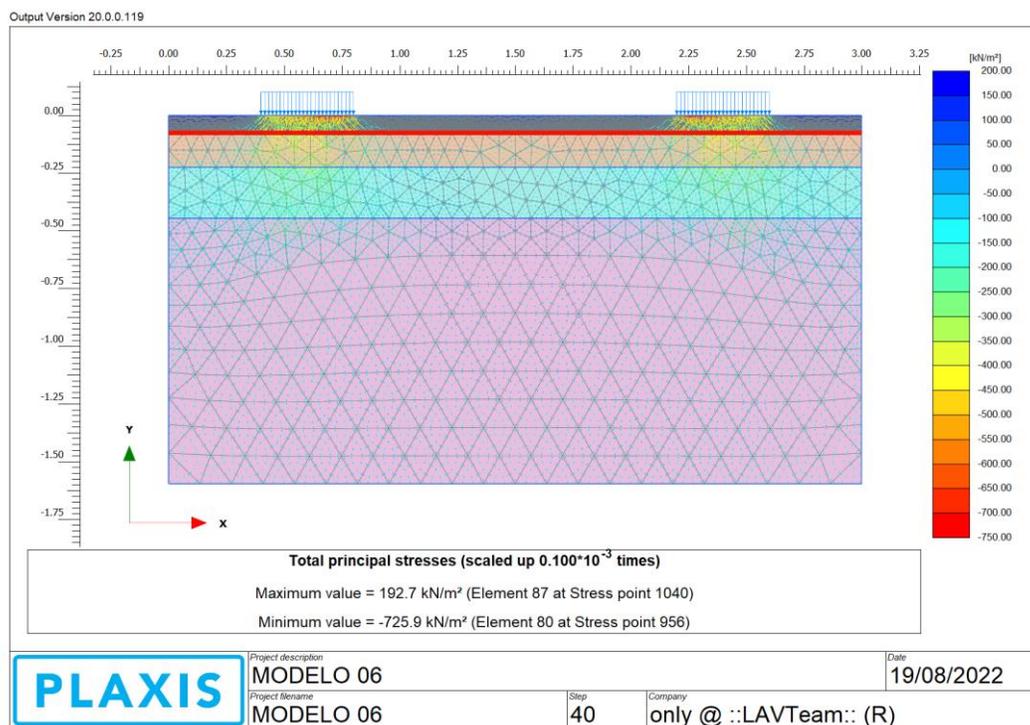
- DEFORMACIONES:



- DESPLAZAMIENTO VERTICAL:



- ESFUERZOS:



ANEXO 09: PANEL FOTOGRÁFICO

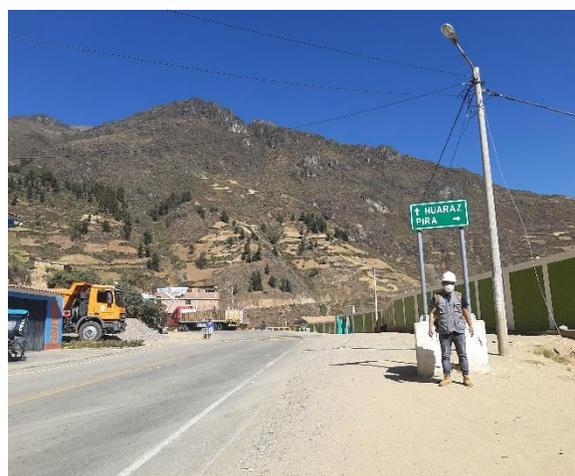




Fotografía 01: Ubicación de la localidad de Pariacoto



Fotografía 02: Punto inicial Km 56 + 480



Fotografía 03: Ubicación de la localidad de Yupash



Fotografía 04: Punto Final Km 95 + 805



Fotografía 05: Hito kilométrico Km 56 + 000



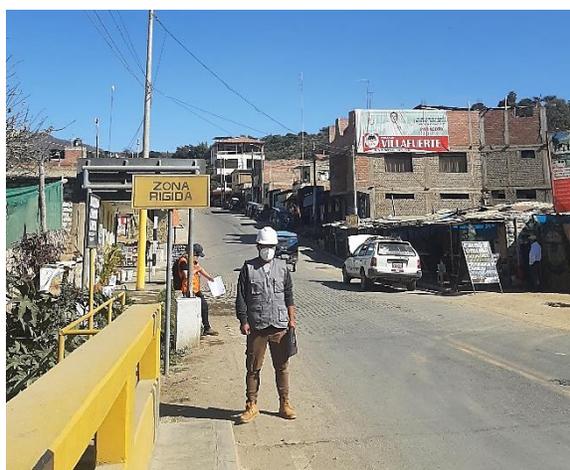
Fotografía 06: Hito kilométrico Km 95 + 000



Fotografía 07: Ubicación de la Estación de Conteo Vehicular - Pariacoto



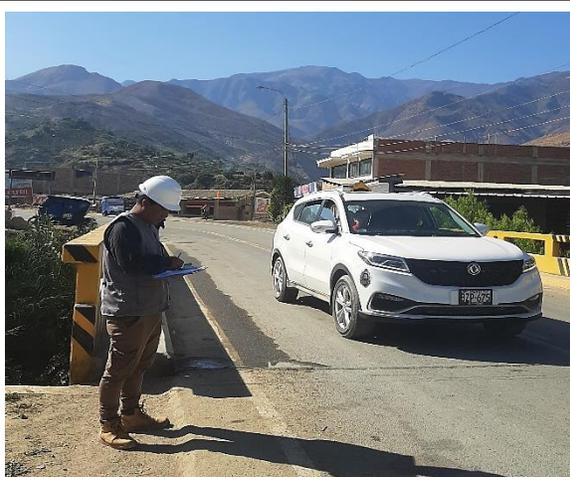
Fotografía 08: Estación E1 - Puente de Pariacoto



Fotografía 09: Conteo del tránsito de acuerdo a Formatos estandarizados del MTC



Fotografía 10: Conteo de tráfico vehicular, Tramo Pariacoto - Yupash



Fotografía 11: Presencia de Vehículos Ligeros



Fotografía 12: Presencia de Vehículos Pesados



Fotografía 13: Presencia de Automóvil en el Tramo Pariacoto - Yupash



Fotografía 14: Presencia de Station Wagon



Fotografía 15: Presencia de Camioneta Pick UP



Fotografía 16: Presencia de Combi Rural en el Tramo Pariacoto - Yupash



Fotografía 17: Presencia de Camión tipo C2



Fotografía 18: Presencia de Camión C3



Fotografía 19: Presencia de Ómnibus en el Tramo Pariacoto - Yupash



Fotografía 20: Presencia de Ómnibus tipo B2



Fotografía 21: Presencia de Station Wagon



Fotografía 22: Presencia de Camión tipo C3 en el Tramo Pariacoto - Yupash



Fotografía 23: Presencia de Semitrayer



Fotografía 24: Presencia de Traylers



Fotografía 25: Identificación y proceso de Cuento Vehicular en la Estación E1



Fotografía 26: Finalizando trabajos de Cuento Vehicular



Fotografía 27: Calicata C-12, Km 59+400 Profundidad 1.50 m obtenido de Exp. Técnico Pariacoto - Yupash



Fotografía 28: Calicata C-31, Km 64+600 Profundidad 1.50 m obtenido de Exp. Técnico Pariacoto - Yupash



Fotografía 29: Calicata C-136, Km 91+250 Lado derecho obtenido de Exp. Técnico Pariacoto - Yupash



Fotografía 30: Calicata C-154, Km 95+750 obtenido de Exp. Técnico Pariacoto - Yupash



Fotografía 31: Inicio del Sector 01 (Km 56+480) y se referenció las coordenadas UTM.



Fotografía 32: Coordenadas UTM del Tramo.



Fotografía 33: Ruta 14-A, de la Red Nacional Vial



Fotografía 34: Verificación del estado del pavimento en el Sector 01 del Tramo Pariacoto - Yupash



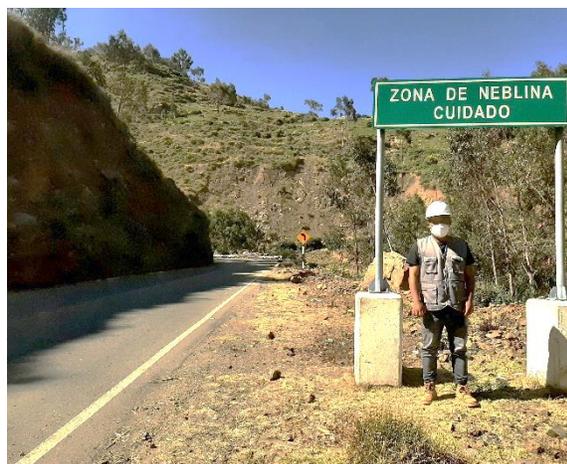
Fotografía 35: Presencia de Fisuras Longitudinales



Fotografía 36: Presencia de depresiones o hundimientos



Fotografía 37: Perdida de agregados de la superficie de rodadura del Sector 01



Fotografía 38: Tramo Final, Sector 01 (Km 87+500)



Fotografía 39: Inicio del Sector 02 (Km 87+500)



Fotografía 40: Verificación del estado del pavimento en el Sector 02 del Tramo Pariacoto - Yupash



Fotografía 41: Perdida de agregados de la superficie de rodadura del Sector 02



Fotografía 42: Tramo Final, Sector 02 (Km 95+850)