

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación
de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Autor:

**Bach. Vara Alva, Juan Manuel Cipriano
Código ORCID: 0009-0009-9610-3699**

Asesor:

**Dr. León Bobadilla, Abner Itamar
DNI. N°32942184
Código ORCID: 0000-0003-2949-6591**

**Nuevo Chimbote - Perú
2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación
de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022”**

Tesis para obtener el Título profesional de ingeniero civil

REVISADO Y APROBADO POR:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'León Bobadilla', is positioned above a horizontal line.

Dr. León Bobadilla, Abner Itamar
DNI. N°32942184
Código ORCID: 0000-0003-2949-6591
ASESOR

Nuevo Chimbote - Perú
2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación
de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022”**

Tesis para obtener el Título profesional de ingeniero civil

REVISADO Y APROBADO POR:

Ms. Julio Cesar Rivasplata Díaz
DNI. N°32770844
Código ORCID: 0000-0002-4180-9362
Presidente

Ms. Luz Esther Álvarez Asto
DNI. N°32968961
Código ORCID: 0000-0001-6491-6569
Secretaria

Dr. León Bobadilla, Abner Itamar
DNI. N°32942184
Código ORCID: 0000-0003-2949-6591
Integrante



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
- EPIC -

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 15 días del mes de noviembre del año dos mil veinticuatro, siendo las 10: 00 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 718-2024-UNS-CFI, con fecha 07.11.2024, integrado por los siguientes docentes: Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Ms. Luz Esther Álvarez Asto (Secretaria), Dr. Abner Itamar León Bobadilla (Integrante), Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Accesitaria) en base a la Resolución Decanal N° 744-2024-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "APLICACIÓN DE MEDIDA SUSTENTABLE: SISTEMA BITUFOR EN LA PAVIMENTACIÓN DE 8.4 KM DE LA CARRETERA CARBONERA – NEPEÑA 2022", presentado por el Bachiller: VARA ALVA JUAN MANUEL CIPRIANO con cód. N° 0201013007, quien fue asesorado por el docente Dr. Abner Itamar León Bobadilla según lo establece la T. Resolución Decanal N° 581 -2022-UNS-FI, de fecha 21.09.2022.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
VARA ALVA JUAN MANUEL CIPRIANO	17	BUENO

Siendo las 11.00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

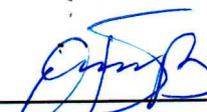
Nuevo Chimbote, 15 de noviembre de 2024.



Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Presidente



Ms. Luz Esther Álvarez Asto
Secretaria



Dr. Abner Itamar León Bobadilla
Integrante

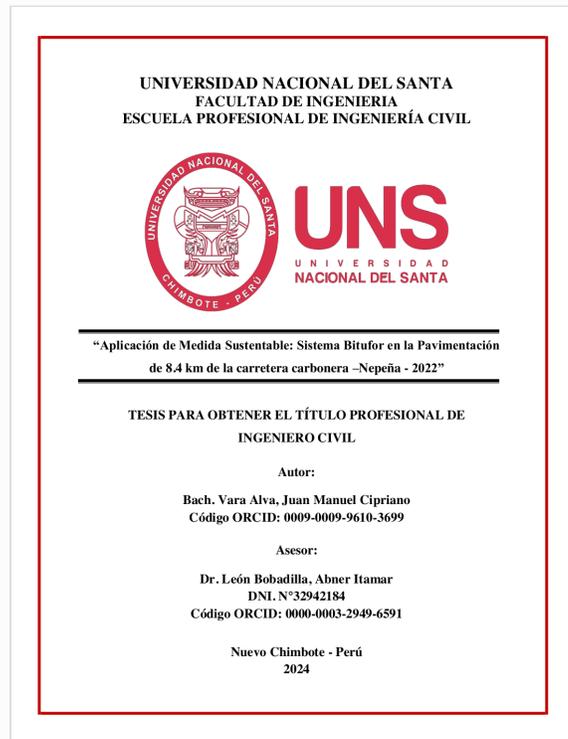


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Abner Itamar Leon Bobadilla
Título del ejercicio: Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pav...
Título de la entrega: INFORME FINAL PARA EMPASTAR.pdf
Nombre del archivo: INFORME_FINAL_PARA_EMPASTAR.pdf
Tamaño del archivo: 6.1M
Total páginas: 208
Total de palabras: 47,715
Total de caracteres: 232,219
Fecha de entrega: 06-dic.-2024 11:56a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2543092057



INFORME FINAL PARA EMPASTAR.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	12%
2	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uprit.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	ia801502.us.archive.org Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1%



DEDICATORIA

A **DIOS** ya que él me da fuerza de seguir adelante, y seguir con mis metas que me planteo cada día.

A mis hijos y esposa que siempre me apoyaron durante todo este proceso, y gracias a ellos nuevamente por darme las fuerzas para conseguir este objetivo.

A los docentes de la escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil, y en especial a mi asesor por guiarme en este camino de aprendizaje, que gracias a su experiencia pude lograr ser el profesional que soy ahora..

VARA ALVA, Juan Manuel Cipriano



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme vivir este momento tan especial en mi vida; a pesar de las dificultades, fue mi soporte para poder afrontar cada problema con sabiduría.

A todos los maestros que, a lo largo de cinco años, me han proporcionado una variedad de conocimientos que nos ayudarán a enfrentar los desafíos diarios de un ingeniero civil.

Un agradecimiento especial a mi asesor, el Dr. Abner Itamar León Bobadilla, por su ayuda profesional en la elaboración del presente estudio. a nuestros amigos y familiares, quienes confiaron siempre en mi desarrollo profesional.

VARA ALVA, Juan Manuel Cipriano



INDICE GENERAL

1.	CAPITULO I: INTRODUCCION.....	15
1.1.	Descripción del Problema.....	15
1.2.	Formulación Del Problema.....	16
1.2.1.	Problema General.....	16
1.2.2.	Problema Específicos.....	16
1.3.	Objetivos de la investigación.....	17
1.3.1.	Objetivo General.....	17
1.3.2.	Objetivos Especifico.....	17
1.4.	Hipótesis de la Investigación.....	17
1.5.	Justificación e importancia de la investigación.....	18
1.5.1.	Justificación Técnica.....	18
1.5.2.	Justificación social.....	18
1.5.3.	Justificación Económica.....	18
1.5.4.	Justificación por relevancia.....	18
1.6.	Limitaciones de la Investigación.....	18
1.6.1.	Limitación Geográfica.....	18
1.6.2.	Limitación Técnica.....	19
1.6.3.	Limitación Social.....	19
1.6.4.	Limitación de Información.....	19
2.	CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	21
2.1.	Antecedentes.....	21
2.2.	Marco Conceptual.....	25
2.2.1.	Pavimentos.....	25
2.2.2.	Trafico Vial.....	27
2.2.3.	Sistema Bitufor.....	32
2.2.4.	Instalación del Sistema Bitufor.....	34
2.2.5.	Método AASHTO 93.....	36



3.	CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	45
3.1.	Enfoque de Investigación.....	45
3.2.	Método de Investigación.....	45
3.2.1.	Tipo de investigación.....	45
3.2.2.	Nivel de investigación.....	45
3.3.	Diseño de Investigación	46
3.4.	Población	46
3.5.	Muestra y Muestreo	47
3.6.	Operacionalización de Variables	47
3.6.1.	Variable de estudio.....	47
3.6.2.	Matriz de consistencia.....	48
3.6.3.	Matriz de operacionalización de Variables.....	49
3.7.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	51
3.7.1.	Técnicas utilizadas para la recolección de datos	51
3.7.2.	Instrumentos utilizados para la recolección de datos	52
3.7.3.	Procedimientos.....	53
3.8.	Método de análisis de datos.....	71
4.	CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	73
4.1.	Análisis e interpretación de Resultados	74
4.1.1.	Determinación del sistema bitufor como medida sustentable.....	74
4.1.2.	Diagnóstico de la condición actual de los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022.....	108
4.1.3.	Determinación de características mecánicas de suelos y Estudio deTráfico vehicular.....	112
4.1.4.	Diseño de pavimento flexible con el sistema bitufor.....	116
4.1.5.	Diferencia económica entre sistema de pavimneto flexible con bitufor y flexible tradicional	118
4.2.	Discusión	123
5.	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
5.1.	Conclusiones.....	126



5.2. Recomendaciones	129
6. CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
7. CAPITULO VII: ANEXOS	135



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Factores para determinar el tránsito en el carril de diseño</i>	28
Tabla 2. <i>Configuración de ejes</i>	29
Tabla 3. <i>Factores de crecimiento acumulado (Fca)</i>	31
Tabla 4. <i>Valores de confiabilidad para una etapa de diseño (10 o 20 años)</i>	38
Tabla 5. <i>Valores de confiabilidad para dos etapas de diseño de 10 años cada uno</i>	39
Tabla 6. <i>Desviación estándar normal (Z_R) para una etapa de diseño (10 o 20 años)</i>	40
Tabla 7. <i>Desviación estándar normal (Z_R) para dos etapas de diseño de 10 años cada uno</i>	41
Tabla 8. <i>Tramos de estudio correspondientes a la carretera Carbonera - Nepeña</i>	47
Tabla 9. <i>Matriz de consistencia</i>	48
Tabla 10. <i>Operacionalización de variable Independiente</i>	49
Tabla 11. <i>Operacionalización de la Variable Dependiente</i>	49
Tabla 12. <i>Vehículos Ligeros y pesados para el conteo Vehicular</i>	59
Tabla 13. <i>Pesos mínimos de muestra para analisis granulométrico</i>	63
Tabla 14. <i>Tipologías de la Muestra Patrón CBR</i>	66
Tabla 15. <i>Valores típicos de suelos</i>	69
Tabla 16. <i>Valores típicos para base y sub-base</i>	70
Tabla 17. <i>Ejes equivalentes ligeros y pesados</i>	74
Tabla 18. <i>Cálculo de número de repeticiones - ESAL</i>	75
Tabla 19. <i>Resumen de valores CBR de los puntos de exploración en estudio</i>	76
Tabla 20. <i>Variable y cálculo del número estructural propuesto (SN) del tramo I</i>	77
Tabla 21. <i>Variable y cálculo del número estructural propuesto (SN) del tramo II</i>	77
Tabla 22. <i>Variable y cálculo del número estructural propuesto (SN) del tramo III</i>	78
Tabla 23. <i>Variable y cálculo del número estructural propuesto (SN) del tramo IV</i>	78
Tabla 24. <i>Calculo de espesores de la estructura del pavimento flexible del tramo I</i>	79
Tabla 25. <i>Calculo de espesores de la estructura del pavimento flexible del tramo II</i>	79
Tabla 26. <i>Calculo de espesores de la estructura del pavimento flexible del tramo III</i>	80
Tabla 27. <i>Calculo de espesores de la estructura del pavimento flexible del tramo IV</i>	80



Tabla 28. <i>Parámetros de diseño de carga que se aplicara de acuerdo al programa WinDEPAV.</i>	81
Tabla 29. <i>Propiedades mecánicas de la estructura del pavimento incluido el sistema bitufor del TRAMO I:</i>	81
Tabla 30. <i>Propiedades mecánicas de la estructura del pavimento incluido el sistema bitufor del TRAMO II:</i>	88
Tabla 31. <i>Propiedades mecánicas de la estructura del pavimento incluido el sistema bitufor del TRAMO III:</i>	95
Tabla 32. <i>Propiedades mecánicas de la estructura del pavimento incluido el sistema bitufor del TRAMO IV:</i>	101
Tabla 33. <i>Porcentaje de material grueso y fino</i>	112
Tabla 34. <i>Contenido de Humedad</i>	113
Tabla 35. <i>Variable de límite liquido, limite plástico e índice de plasticidad</i>	113
Tabla 36. <i>Índice medio diario anual proyectado (IMDAp)</i>	114
Tabla 37. <i>Valores de máxima densidad seca, optimo contenido de humedad y CBR</i>	114
Tabla 38. <i>Resumen del cálculo del IMDs y IMDa</i>	115
Tabla 39. <i>Índice medio diario anual proyectado (IMDAp)</i>	115
Tabla 40. <i>Variable y cálculo de los espesores del tramo I y tramo III</i>	116
Tabla 41. <i>Variable y cálculo de los espesores del tramo II</i>	117
Tabla 42. <i>Variable y cálculo de los espesores del tramo III</i>	117
Tabla 43. <i>Variable y cálculo de los espesores del tramo IV</i>	118
Tabla 44. <i>Presupuesto de los 3 modelos propuestos del TRAMO I</i>	119
Tabla 45. <i>Presupuesto de los 3 modelos propuestos del TRAMO II</i>	120
Tabla 46. <i>Presupuesto de los 3 modelos propuestos del TRAMO III</i>	121
Tabla 47. <i>Presupuesto de los 3 modelos propuestos del TRAMO IV</i>	122



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vía Carretera Carbonera hacia Nepeña, 8.4 km.....	19
Figura 2. <i>Componentes del Sistema Bitufor</i>	32
Figura 2. <i>Medidas y dimensiones</i>	33
Figura 4. <i>Desplegado y fijación</i>	36
Figura 5. Imagen Satelital de la Carretera Carbonera – Nepeñ – Santa – Ancash.....	46
Figura 6. Registro de deterioro de la carpeta de rosadura-afirmado en guía de observación.....	58
Figura 7. Esfuerzo del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo I.....	82
Figura 8. Identificación de <i>Esfuerzo del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo I</i>	83
Figura 9. <i>Esfuerzo del Modelo III (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo I</i>	84
Figura 10. <i>Deformación del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo I</i>	85
Figura 11. <i>Deformación del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo I</i>	86
Figura 12. <i>Deformación del Modelo III Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo I</i>	87
Figura 13. <i>Esfuerzo del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo II</i>	89
Figura 14. <i>Esfuerzo del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo II</i>	90
Figura 15. <i>Esfuerzo del Modelo III (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo II</i>	91
Figura 16. <i>Deformación del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo II</i>	92
Figura 17. <i>Deformación del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo II</i>	93
Figura 18. <i>Deformación del Modelo III Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo II</i>	94
Figura 19. <i>Esfuerzo del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo III</i>	95



Figura 20. Esfuerzo del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo III.....	96
Figura 21. Esfuerzo del Modelo III (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo III	97
Figura 22. Deformación del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo III.....	98
Figura 23. Deformación del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo III.....	99
Figura 24. Deformación del Modelo III Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo III	100
Figura 25. Esfuerzo del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo IV	102
Figura 26 . Esfuerzo del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo IV.....	103
Figura 27. Esfuerzo del Modelo III (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo IV.....	104
Figura 28. Deformación del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo IV.....	105
Figura 29 . Deformación del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo IV.....	106
Figura 30. Deformación del Modelo III Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo IV	107
Figura 31. Falla por Deformación.....	108
Figura 32. Falla por Erosión.....	109
Figura 33. Falla por Presencia de baches (huecos).....	110
Figura 34. Falla por Encalaminado.....	111



INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. <i>Ecuación para el diseño</i>	37
Ecuación 2. <i>Ecuación para el diseño</i>	42
Ecuación 3. <i>Porcentaje de agua añadido</i>	65
Ecuación 4. <i>Cálculo de CBR</i>	65
Ecuación 5. <i>Cálculo de N° rep (EE 8.2 TN)</i>	66
Ecuación 6. <i>Ecuación básica para el diseño de pavimento flexible</i>	67
Ecuación 7. <i>Cálculo de número estructural propuesto</i>	67
Ecuación 8. <i>Módulo de Resiliencia a partir del %CBR</i>	69
Ecuación 9. <i>Módulo de Elasticidad de Sub-Base a partir del Módulo de Subrasante y espesor</i>	69
Ecuación 10. <i>Módulo de Elasticidad de Base a partir del Módulo de Sub-base y espesor</i> .	70



Resumen

La presente investigación comprendió el estudio del tramo de la carretera Carbonera - Nepeña con una longitud total de 8.4 km, que se encuentra ubicada en el distrito de Nepeña, provincia del Santa, en el Departamento de Áncash. El objetivo general del presente trabajo de fue proponer la aplicación de medida sustentable: sistema Bitufor en la pavimentación de 8.4km de la carretera carbonera – Nepeña – 2022; siendo uno de sus objetivos específicos el dar a conocer y abrir debate sobre el impacto económico y técnico que existe entre un pavimento flexible tradicional y el de sistema Bitufor. La investigación demostró que la hipótesis es válida, puesto que en esta investigación demostró que al aplicar el sistema Bitufor en la pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera – Nepeña mejoró la transitabilidad, ya que aplicando el sistema Bitufor de acuerdo a los resultados obtenidos en el programa WinDEPAV mostró que tuvo un mejor comportamiento al someterse una carga de 5.60 kgf/cm² con respecto al pavimento flexible tradicional. Sin embargo; a pesar que demuestra, que técnicamente es sustentable y prolonga el tiempo de vida útil; económicamente no es sustentable para la mencionada vía, ya que el sistema bitufor es más caro con respecto al pavimento flexible tradicional.

PALABRAS CLAVE: Sistema Bitufor, medida sustentable, pavimento flexible, impacto económico, impacto técnico.



Abstract

The present investigation included the study of the section of the Carbonera - Nepeña highway with a total length of 8.4 km, which is located in the district of Nepeña, province of Santa, in the Department of Ancash. The general objective of this work was to propose the application of a sustainable measure: Bitufor system in the paving of 8.4km of the coal highway – Nepeña – 2022; One of its specific objectives being to publicize and open debate on the economic and technical impact that exists between a traditional flexible pavement and that of the Bitufor system. The investigation demonstrated that the hypothesis is valid, since in this investigation it was demonstrated that by applying the Bitufor system in the paving of 8.4 km of the coal - Nepeña highway, trafficability improved, since applying the Bitufor system according to the results obtained in The WinDEPAV program showed that it had better performance when carrying out a load of 5.60 kgf/cm² compared to the traditional flexible pavement. However; Although it demonstrates that it is technically sustainable and prolongs its useful life; Economically it is not sustainable in the aforementioned way, since the bitufor system is more expensive compared to traditional flexible pavement.

KEYWORDS: Bitufor system, sustainable measure, flexible pavement, economic impact, technical impact.



CAPITULO I

INTRODUCCION



1. CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. Descripción del problema

En Perú, se lleva a cabo este método desde hace varios años y es más común en la capital, sin embargo, el uso de mallas de acero no es algo nuevo ni en los países desarrollados del mundo. En la década de 1950, los países desarrollados iniciaron esa labor. Esto se debe al hecho de que cuando el asfalto mezclado en caliente tiene las propiedades de compresión más altas, sus propiedades de tracción son más bajas, lo que permite obtener resistencias a la tracción más altas en servicio cuando se utiliza el refuerzo.

Es posible que el uso de hormigón armado en Portland fuera una alternativa a esta idea, y se ha utilizado con éxito desde entonces. Sin embargo, en 1970 se dejó de usar la malla de acero de refuerzo, ya que su la instalación presentaba muchas complicaciones y de igual manera la forma de cómo trabajarlo, era muy complicada. Como se muestra, una de las consecuencias del uso del proceso constructivo antes mencionado fue que con el tiempo aparecían grietas transversales en los empalmes de las mallas. Estas grietas se formaban como resultado de la expansión y contracción de la malla, lo que requería un traslape adecuado entre los 9 rollos. Debido a que las máquinas de pavimentación causaban movimiento durante el proceso de pavimentación, la malla se pandeaba y debilitaba la densidad en la capa superior de la mezcla de asfalto en caliente. De manera similar, se encontró que la malla de acero estaba corroída, lo que resultó en ser más delgada (disminución del área transversal) y fractura en las grietas. A pesar de las deficiencias que pudieran ser significativas y que se presentaron durante el proceso de construcción, se determinó que las mallas no ayudaban a prevenir o retrasar la aparición de grietas en el pavimento.

En el nivel nacional, La realidad demuestra que el Perú a comparación de sus vecinos en la región, cuenta con infraestructura vial en pésimas condiciones y pavimentos en mal estado. Al evaluarlos, se detectaron diversas fallas en las superficies, las cuales pueden dañar el conjunto estructural si no se mejoran a tiempo. (CONDORI, 2018)

Los siguientes son nuestros problemas generales y específicos, según lo expuesto:



Ya que las rutas ya sean carreteras a nivel de trochas o pavimentadas, estas siempre serán esenciales para la comunicación y muy importantes para el desarrollo de las personas y sus sociedades, porque estas permiten conectar ciudades y pueblos para así lograr su desarrollo mediante crecimiento económico y diversidad cultural. No obstante, es importante destacar que su calidad ha mejorado significativamente a lo largo de los siglos, lo que ha llevado a su estructura a diversificar su proceso y construcción para mejorar su serviciabilidad. La función principal es permitir el traslado de las personas, mediante la conexión que estas permiten por medio de vehículos. Debe ser como uno de los principales objetivos, tener estructuras viales en buen estado en todo el país, ya que interconectan los pueblos y ciudades logrando cerrar brechas de desigualdad y así generar crecimiento económico, cultural, etc. y así mejoran la vida de las personas. Se sabe que el desarrollo social, económico y cultural de un pueblo se logrará al estar comunicados y conectar cada rincón del país.

Como resultado, se está considerando la implementación del sistema actual como modelo para el desarrollo del siguiente proyecto: "APLICACIÓN DE MEDIDA SUSTENTABLE: SISTEMA BITUFOR EN LA PAVIMENTACIÓN DE 8.4 KM DE LA CARRETERA CARBONERA – NEPEÑA – 2022". Al aparecer grietas en la carpeta asfáltica de un pavimento flexible genera un problema de gran importancia, por lo que se tiene solucionar mediante la rehabilitación de los pavimentos ya que esto genera estos tengan menor durabilidad. Por lo tanto, la presente tesis propone el uso del sistema Bitufor (Mesh Track + Slurry Seal) como solución a este problema, para comprobar que, al añadir una malla de acero de refuerzo, la estructura del pavimento mejora recibiendo los esfuerzos a los cuales está sometido y a su vez dilata el tiempo de duración de la misma.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Es una medida sustentable la aplicación del sistema Bitufor en el diseño del pavimento flexible de la pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera – Nepeña-2022?



1.2.2. Problema Específicos

- ✓ ¿Cuál es la condición actual de los 8.4 km de la carretera Carbonera – Nepeña -2022?.
- ✓ ¿Cuáles son las características mecánicas de suelos y estudio de tráfico en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022?.
- ✓ ¿Cómo se realiza el diseño técnico de un pavimento flexible bajo el sistema Bitufor en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022?.
- ✓ Dar a conocer la diferencia económica entre un pavimento tradicional y uno aplicando el sistema Bitufor en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

- ✓ Determinar si la aplicación del sistema Bitufor en el diseño del pavimento flexible de la pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña-2022, es una medida sustentable.

1.3.2. Objetivos Especifico

- ✓ Diagnosticar de la condición actual de los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022.
- ✓ Identificar las características mecánicas de suelos y estudio de tráfico en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022
- ✓ Dar a conocer el diseño técnico de pavimento flexible enfocado en el sistema Bitufor para los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022.
- ✓ Dar a conocer la diferencia económica entre un pavimento tradicional y uno aplicando el sistema Bitufor en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022.

1.4. Hipótesis de la investigación

Si se realiza la aplicación de medida sustentable: sistema Bitufor en la pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña – 2022; entonces mejorará las condiciones técnicas y económicas.



1.5. Justificación e importancia de la investigación

1.5.1. Justificación técnica

Esta investigación se justifica técnicamente por cuanto demostró que aplicar el sistema bitufor mejora las condiciones de serviciabilidad y durabilidad del pavimento flexible del tramo estudiado.

1.5.2. Justificación social

Esta investigación se justifica en el ámbito social por cuanto, la población se beneficiará aplicando el presente método sostenible y servirá a nuevos proyectos de infraestructura vial, otorgándole calidad y duración en las obras viales, y con ello mejorando el estatus y la calidad de vida de los pobladores.

1.5.3. Justificación económica

Esta investigación, que estudia la construcción de la pavimentación flexible de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña utilizando el método bitufor, no logró justificarse económicamente para dicho tramo; ya que en la comparación de costos en el presente estudio arrojó que la utilización de este método, presenta porcentajes elevados en su presupuesto, en comparación al presupuesto que se emplearía mediante el método tradicional.

1.5.4. Justificación por relevancia

La presente investigación se justifica por relevancia, dado que el método Bitufor se ha desarrollado como medida de rehabilitación de la carpeta asfáltica mejorando con ello técnicamente toda la estructura del pavimento flexible y que le otorgará durabilidad y resistencia, necesarias para la ejecución de futuras obras viales que le otorguen a la población, obras de calidad y duraderas, Por lo tanto, servirá para futuras investigaciones

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Limitación Geográfica:

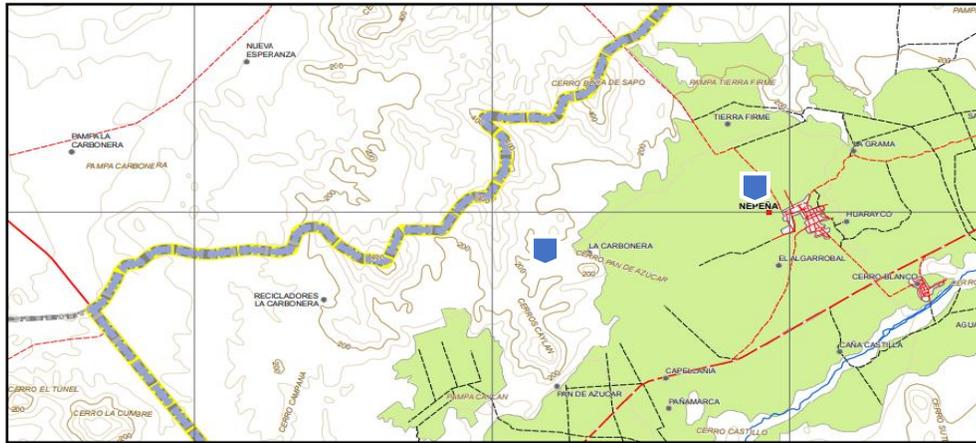
La presente investigación toma lugar y se limita en la Carretera Carbonera – Nepeña.

- Departamento : Ancash
- Provincia : Santa
- Distrito : Nepeña
- Referencia : Carretera carbonera –Nepeña



Figura 1.

Vía Carretera Carbonera hacia Nepeña, 8.4 km



Nota. Recuperado de “Obtenido de “IGN Minedu – Carta Nacional Digital. PIADER: Vías, Hidrografía, Cascos urbanos. 2015.

1.6.2. Limitación Técnica:

Se tuvo que realizar un conteo vehicular el cual no se pudo estar las 24 horas del día, debido al polvo y la contaminación que genera el tráfico en la zona. Así mismo se realizó los ensayos en el laboratorio de la UNS, generando una limitación, ya que no estaba disponible en todo momento, porque existe una gran cantidad de tesis y alumnos usándolo

1.6.3. Limitación Social:

En las tareas de excavaciones para las calicatas, los pobladores especulaban que se trataba de alguna obra, por lo que exigían de manera airosa, limitándonos a continuar con las tareas de recolección de muestras.

1.6.4. Limitación de Información:

Respecto al sistema bitufor, es difícil obtener información en el internet.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO



2. CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Vallejos & Vásquez (2020) en la tesis de investigación “Uso del sistema bitufor en la reducción de las patologías del pavimento flexible de las avenidas Junín y Miguel Grau. Castilla – Piura. 2020”; el objetivo general de esta investigación fue verificar como existe una reducción de patologías en un pavimento ubicado en la avenida Junín y Miguel Grau usando el sistema bitufor. Se usó las normas AASHTO 93 como también el manual de carreteras: suelos geología, geotecnia y pavimentos, estas normas se utilizaron para poder obtener el espesor del pavimento. Además, para poder realizar el diseño estructural de la vía, se necesitó conocer el estado del pavimento existente mediante un estudio de deflectometría utilizando la viga de benkelman. Se eligió un tramo el cual se encuentra entre la avenida Miguel Grau y avenida Junín. Para iniciar la investigación respecto al sistema bitufor, se llevó a cabo un estudio de tráfico con un ESAL de 3,655,697 EE. También se desarrolló un diseño de pavimento según la metodología AASHTO 93, se utilizó el manual de carreteras como también los ensayos realizados y los principios determinados en Bélgica. Se utilizó el sistema bitufor para poder realizar el diseño estructural del pavimento, lo que resultó en una reducción del 20% de asfalto, además de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, se encontró un CBR del 40.14% en los ensayos realizados para determinar las deformaciones de la estructura del pavimento, las cuales se encuentran en condiciones deficientes de serviciabilidad, la cual se encontraban con varias fallas cerca de la base granular. En Bélgica, se utilizaron modelos matemáticos tridimensionales para determinar que el sistema bitufor reducirá el deterioro como resultado del objetivo general. Como resultado, se ha demostrado que el uso del sistema Bitufor disminuye el deterioro de la estructura del asfaltado. Este es un innovador porque mejora el soporte de cargas sometidas a la estructura, ya que retrasa la pronta falla y prolonga la vida útil del pavimento flexible.



Mamani (2021) según su tesis: “Evaluación del sistema bitufor para mejorar la estructura del. Pavimento flexible en la av. Uzuña, distrito de Polobaya, Arequipa, 2021”; trato de verificar el comportamiento del sistema bitufort para comprobar el diseño de la estructura de pavimento flexible en la zona de Av. Polobaya. Para soluciones, se utiliza el sistema bitufort para determinar las propiedades físicas y mecánicas del sustrato granular existente. Es una investigación explicativa, cuantitativa y experimental. Se utiliza una población circular de Loncco de 12,00 km y se muestrea en una progresión de 24.000 km a 25.240 km. Los suelos existentes serán recolectados y probados para propiedades mecánicas como tamaño de partícula (AASHTO T-11, T-27 y T-88) y propiedades físicas como CBR (AASHTO-T-193) al 100%. La MD es superior al 80 % y cumple con los parámetros y límites de Attenberg (AASHTO T-89). Existen partes de la estructura dañada, no en todo el tramo de estudio, pero si una gran parte, por lo que solo se puede quitar la capa asfáltica y se aplica el sistema bitufort como nuevo pavimento. Tiene la capacidad de absorber todo el estrés provocado por el tráfico. El instrumento probado con el método Kappa de Cohen tiene un valor de 0.61, tiene un buen nivel de confiabilidad y por ende este sistema hará que el pavimento tenga una vida útil mayor prolongada. El sistema Bitufort puede reducir los costos en un 40% y agilizar la construcción. La capa asfáltica debe ser de 2 cm de espesor.

Zarate y Peláez (2020). En su estudio de investigación retrata la falta de carreteras aún quedan por pavimentar, la predominante topografía accidentada que existe en los pueblos aledaños colindantes a Simbal, zona que representa el desarrollo turístico y agrícola de dicha localidad. Ante ello en su investigación desarrolla tema correspondiente al mejoramiento de los caminos vecinales, y al refuerzo del pavimento flexible. Con el objetivo de otorgar un beneficio a la población. El objetivo de su investigación consistió en aplicar el sistema bitufor para minimizar el deterioro prematuro en el pavimento flexible, pudiendo determinar el método ideal, de una vía pavimentada, mejorándola con mallas metálicas, en donde existe la presencia de un desnivel pronunciado; así mismo, el estudio pretendió el mejoramiento del tránsito vehicular para facilitar el transporte de las mercancías necesarias para poder brindar las actividades de recreación que se ofrecen en el



local turístico , de igual modo se buscó elevar el estándar de vida de la población mejorando las condiciones de vida de sus habitantes. Los resultados de este estudio fueron, un IMDA de 317 vehículos y una vía tipo III. El diseño del pavimento flexible que se obtuvo fue carpeta asfáltica 1.2cm, base 25cm y sub base 20cm, así mismo se utilizó el sistema bitufor que consiste en colocar una malla metálica sobre la base granular, antes de que reciba al material bituminoso (carpeta asfáltica) con E=1pulgada, el estudio concluyó que si es posible utilizar dicho método y adherirlo a la estructura del pavimento.

Quispe (2022). En su investigación su objetivo fue el analizar si al aplicar el método de pavimentación bitufor reduciría la deformación y desgaste del pavimento flexible, utilizó el tipo de investigación experimental puesto que se manipularon las variables y los datos fueron obtenidos con la aplicación de la experimentación, la investigación también fue aplicada y se utilizó el enfoque cuantitativo, utilizándose instrumento como normas técnicas, laboratorio de mecánica de suelos, aplicación de fórmulas en hojas de cálculo. Se tuvo como población un jirón en Villa María del triunfo y como muestra una calle en dicho jirón. Misma que menciona en su tesis. De la investigación se obtuvo como resultados el cálculo del IMDA para poder determinar el número de calicatas que se debió excavar, por lo que se excavaron calicatas con profundidad de la cual dio metro y medio; luego dichas muestras fueron analizadas en el laboratorio de suelo, para luego arrojar resultados sobre la presencia de arena pobremente gravada con limo posterior a ello se ejecutó el ensayo Proctor modificado con el fin de obtener la densidad máxima y el contenido de humedad optimo, para luego proceder con el ensayo CBR dándose los resultados de resistencia de en la subrasante, subbase y base, un aves obtenidos estos resultados se procedió a realizar el diseño con el ensayo Marshall realizándose diez muestras de pavimento flexible natural y 10 de pavimento flexible con sistema bitufor, dándose como resultado que al aplicar el ensayo de Marshal, al pavimento flexible con bitufor presentó más estabilidad , por lo que concluyó su investigación en que, presentó mejora en relación al pavimento flexible natural , recomendando su aplicación del método estudiado.



2.1.2. Antecedentes Internacionales

Alzate, Franco y Tarquino (2019). En su estudio de investigación realizó estudios de diagnóstico y optimización del estado de la carretera de tercera clase en Camellón San Nicolas en la vereda Barzalosa del Municipio de Girardot – Colombia, con el objetivo de plantear un tipo de estructura de pavimentación flexible y rígido para comparar y determinar cual es el que conviene para el sector. Para la investigación se recolecto mucha información sobre métodos empíricos y de diseño, que pudieron ser recolectada de fuentes confiables en campo; para ser trasladada a laboratorio con el fin de ser analizada. Para el diseño del pavimento flexible se utilizó el método AASTHO 1993, mientras que para el pavimento rígido el PCA y luego se elaboró su presupuesto para cada uno, concluyendo que el más adecuado para la región y el sector; es el pavimento flexible; debido al nivel socioeconómico y de tránsito que presenta dicho centro poblado.

Malo (2024). En su trabajo de investigación tiene como objetivo general, el realizar un Estudio de nivel comparativo para el diseño de estructura de pavimentos. Por lo que se centra en un convenio que se realizó entre el gobierno descentralizado en Azuay y la UPS (universidad técnica salesiana). Dicho convenio resalta la importancia de lograr el diseño de un pavimento flexible, que signifique ahorro y eficiencia. Dicho convenio buscó incentivar el logro económico en la provincia de Azuay, a través de mejoras a la infraestructura vial, y por ende mejoras en lo social.

Por tanto, el trabajo de investigación en el laboratorio de suelos mediante ensayos que se llevaron a cabo, así como el estudio de tránsito, logró obtener el diseño de tres tipos de pavimentos flexibles con proyecciones a dos décadas, los cuales fueron pavimento convencional, pavimento flexible reforzado con geo-sintéticos, y pavimento flexible con base estabilizada con cemento. Por lo que el estudio concluyó que, si cumplió con el objetivo propuesto, en relación al pavimento flexible reforzado con geo-sintéticos.



En su investigación, **Cabrera. (2022)** En la tesis de investigación en donde planteó la elaboración de estudios definitivos en ingeniería con fines de mejoramiento de una vía de longitud de 6.5 km, ubicada en la provincia de Loja-Ecuador. En donde se diseñó un pavimento flexible con base granular y cemento para su estabilización, obteniéndose como resultados, que alcanzó resistencia de 28kg/cm^2 , a los siete días calendarios, para un $e = 0.15\text{m}$.

Es su estudio de investigación, **Juan Venegas (2022)** elaboró estudios de ingeniería con el objetivo de mejorar la vía vecinal en la localidad parroquial de San Sebastián de Yuluc de la provincia de Loja-Ecuador; En donde se realizó una estabilización de base en cemento de 0.17m de espesor, que obtuvo una resistencia a los siete días $> 30\text{kg/cm}^2$.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Pavimentos

El Ing. Miguel Ángel Tapia, quien investiga la respuesta de los pavimentos, quien en los últimos 10 años ha sido uno de los investigadores más importantes en Latinoamérica y ha tenido mucha importancia por su investigar cómo se comportan los pavimentos flexibles, ya que sus investigaciones se basan en teoría que continúan vigentes a la fecha. Por lo que es importante destacar que los estudios realizados por Vergara se apoyan en dichas teorías; por lo que define el pavimento como un grupo de capas que tienen una función estructural y que van de forma horizontal una encima de otra, también indica que su diseño técnico incluye materiales apropiados y compactados. Respecto a la resistencia de los pavimentos, el autor concluye que:

Sostiene, su teoría basada en aquellas que aún se encuentran vigentes; donde indica que a lo largo de la vida útil del pavimento, estas estructuras estratificadas se sostienen por encima de la subrasante de una vía obtenida durante el proceso de exploración y deben resistir adecuadamente las cargas. (Miguel Ángel Tapia, 2011)



Es aquella estructura que resiste y soporta la carga del tránsito disipando la fuerza que recibe de los vehículos. Por lo general, está compuesto por una capa asfáltica, una base y una subbase. Las capas del pavimento se encuentran por encima de la subrasante, estas soportan de manera correcta las cargas que genera el tránsito, el cual es transferido a toda la estructura de dicho pavimento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014).

Así mismo el ministerio de economía y finanzas mantiene el concepto teórico vigente, el mismo que define como aquella que está construido por encima de la subrasante de la vía, tiene como objetivo soportar las cargas causados por el transito generado, obteniéndose una seguridad y comodidad. Normalmente, se compone de una capa de rodadura, una base y una sub-base. (Ministerio de Economía y finanzas, 2015)

a) Subrasante

La subrasante es la capa en donde se apoya el pavimento y el rasgo único que define las características de los materiales que componen la subrasante se denomina módulo de Resiliencia. Cuando se comenzaron a realizar los primeros diseños de pavimento, estas se basaban determinando las propiedades a través de granulometría, plasticidad, clasificación de suelos, resistencia al corte, variaciones de temperaturas y drenaje.

b) Sub-base:

Es aquella que se encuentra por debajo de la base y que se construye sobre la subrasante. Es prescindible cuando la subrasante tiene una capacidad de carga alta. Su función es estabilizar y servir de cimiento para la base para la compactación y colocación. Tiene una función de drenaje ideal, por lo que el material utilizado no debe contener partículas menores a 0.075 mm. Una base granular suele consistir en materiales tamizados de manera total o parcial o un suelo estabilizado con algún cementante. (Miguel Ángel Tapia, 2011)



c) Base Granular:

Es parte de la estructura del pavimento, está por debajo de la carpeta asfáltica, y tiene como función principal, transmitir a la sub-base las cargas que generen el tránsito por encima de la capa de asfalto. Está compuesto por materiales granulares; un compuesto adicional para crear una base granular es un material asfáltico, cal, cemento Portland, por lo tanto, esta debe ser apto para soportar la carga superficial y poder transmitir a la sub-base. (Miguel Ángel Tapia, 2011)

2.2.2. Trafico Vial

Es aquel que sirve para el diseño de acuerdo a la planificación de elementos de vialidad, incluido el diseño del pavimento y la plataforma del camino, el ingeniero debe conocer con relativa y suficiente precisión la demanda de tráfico. Para la sección de carretera encuestada, las encuestas de tráfico deben proporcionar datos del índice promedio diario (IMDA). El requisito actual de capacidad de vehículos por tipo para cada dirección de tráfico se conoce como IMDA. El desgaste de la carretera está directamente relacionado con la presión de los ejes y los neumáticos. Para lograrlo, se necesitaron dos días diferentes, uno de los cuales era un día laborable normal y el otro un sábado, donde se debe tener en cuenta que el trafico se encuentre en normalidad. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014).

2.2.2.1. Factor direccional y factor carril:

El número de direcciones o sentidos y el número de carriles por calzada de carretera serán considerados para el tráfico del carril de diseño del pavimento, según el porcentaje o factor ponderado aplicado al IMD. (Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2014).



Tabla 1.

Factores para determinar el tránsito en el carril de diseño

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

Nota. Recuperado de “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimento”; Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p.62, Lima, Perú.

2.2.2.2. Numero de repeticiones de ejes equivalentes

Según AASHTO el efecto de las cargas que generan cada eje mide como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el período de diseño que se realizara el análisis. Los esfuerzos sometidos por un eje simple de dos ruedas tradicional cargado con 8.2 toneladas de peso y neumáticos a la presión de 80 libras por pulgada se define como EE según AASHTO. Existen diferentes factores equivalentes que suplen a los esfuerzos que generan los vehículos pesado sobre el pavimento flexible, a esto se le



denomina ejes equivalentes. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014)

Tabla 2.

Configuración de ejes

Conjuntos de Ejes (s)	Nomenclatura	N° 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 Eje Rueda Simple + 2 Eje Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

Nota. Recuperado de “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimento”; Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p.65, Lima, Perú.

Cuando no hay estaciones de pesaje que puedan registrar las cargas por tipo de eje, la medición de la demanda requerirá muestreos significativos de tránsito. En Perú, la investigación más común se enfoca en la clasificación



muestra de la carga según el tipo de vehículo. Para determinar el tráfico promedio, se trabaja con el tránsito pesado, ya que estos mostrarán el tránsito real. De esta manera, el factor vehículo pesado de cada tipo de vehículo se calculará utilizando las mediciones obtenidas para cada tipo de vehículo pesado.

2.2.2.3. Cálculo de tasa de crecimiento y proyección

La dinámica de crecimiento socioeconómico determina la tasa anual de crecimiento del tránsito. Existe una relación entre el aumento de población con respecto al crecimiento de vehículos que transitan, también cuando existe mayor cantidad de vehículos pesados entonces existe un crecimiento de la economía, que se representa como el Producto Bruto Interno (PBI). El aumento del tráfico suele ser del 2 % al 6 %. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014).

La proyección de la demanda también puede dividirse en dos partes. La demanda de vehículos de pasajeros se estima que aumentará al ritmo de la tasa anual de crecimiento de la población, mientras que la demanda de vehículos de carga se estima que aumentará al ritmo de la tasa anual de crecimiento de la economía. Ambos índices de expansión están relacionados con la región, la cual suele tener estadísticas sobre estas tendencias. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014)

$$\text{Factor Fca} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}; \text{ Donde:}$$

r = Tasa anual de crecimiento

n = Período de diseño



Tabla 3.

Factores de crecimiento acumulado (Fca)

Periodo de Analisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa anual de crecimiento (r)							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.09
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.19	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	12.81	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.1	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

Nota. Recuperado de “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimento”; Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p.64, Lima, Perú.

2.2.2.4. Clasificación de número de repeticiones de ejes equivalentes.

De acuerdo al Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimento del año 2014, esta clasifica los caminos pavimentados con pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos en quince (15) rangos de número de repeticiones de EE en el carril y período de diseño, que van desde 75,000 EE hasta 30'000,000 EE. El Ingeniero Responsable llevará a cabo un Estudio Específico en los tramos a pavimentar con números de repeticiones de EE superiores a 30'000,000. En este estudio, el Ingeniero Responsable realizará un análisis técnico de las alternativas de pavimento y justificará la solución elegida. Los caminos con un costo de construcción menor o igual a 1'000,000 EE se consideran de bajo volumen de tráfico y



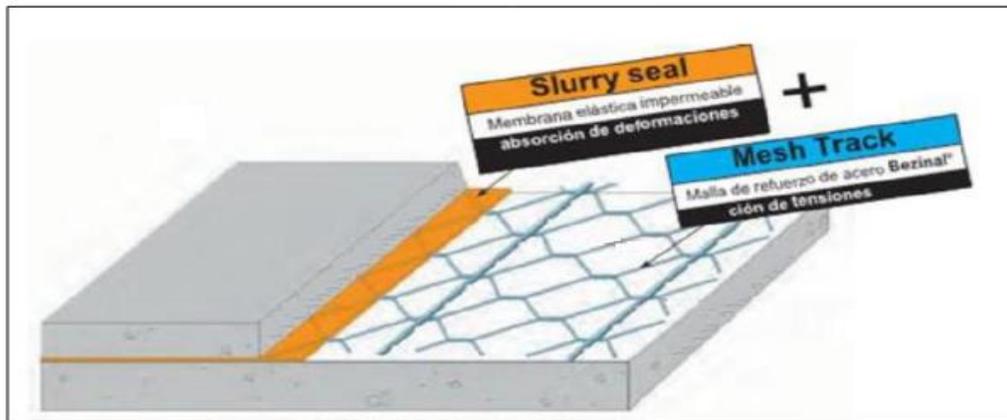
se recomienda un período de diseño de 10 años. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014)

2.2.3. Sistema Bitufor

Este sistema trata de la instalación de una malla de acero para reforzar la carpeta de rodadura, el cual se combina con una capa de lechada asfáltica o también llamada slurry seal antes de colocar la carpeta. El concepto se basa principalmente en que, si la mezcla de asfalto en caliente (HMA) es fuerte en compresión y débil en tensión, entonces se puede usar el refuerzo para brindar resistencia a la tracción. El concreto Portland reforzado con acero (PCC) fue el primero en adoptar esta idea. En la siguiente imagen se muestra los componentes de dicho sistema:

Figura 2.

Componentes del Sistema Bitufor



Nota. Recuperado de “Proceso Constructivo de la Instalación del Sistema MESH TRACK Malla de Acero para Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Rígidos y Flexibles”; Prodac, 2015.

2.2.3.1. Lechada Asfáltica (Slurry Seals)

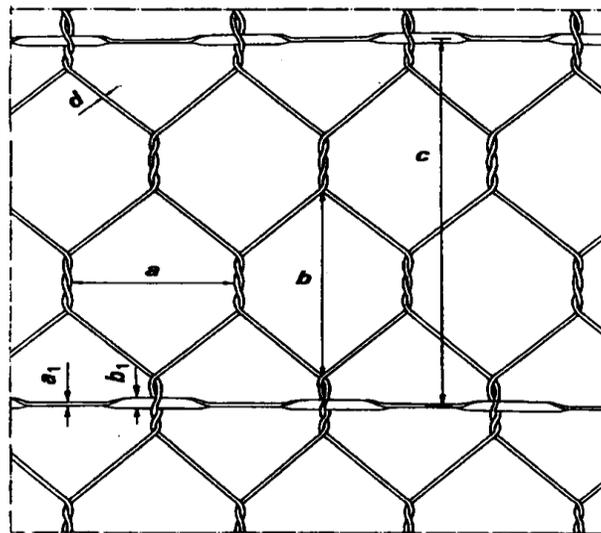
Tratamiento superficial de mezclas compuestas por emulsiones asfálticas, agregados bien graduados, tales como agua, aditivos y llenante mineral combinados en proporciones adecuadas formando un material fluido, homogéneo y pastoso o cremoso con la consistencia necesaria para poder efectuar la puesta en obra, mediante el extendido en una o dos capas continuas (de 3 a 20 mm de espesor) mediante cepillos o rastras de goma para rellenar grietas y fisuras de un pavimento existente. Después del rompimiento y curado proporciona un sellado impermeable y antideslizante, para protección de pavimentos envejecidos y descarnados. (Pérez, 2021)

2.2.3.2. Malla de Acero para Refuerzo (MESH TRACK)

La Malla de refuerzo de acero para la rehabilitación de pavimentos rígidos y flexibles, en combinación con una capa de lechada asfáltica ó Slurry Seal, antes de la colocación de un revestimiento bituminoso. (Prodac, 2015)

Figura 3.

Medidas y dimensiones



Nota. Recuperado de “Proceso Constructivo de la Instalación del Sistema MESH TRACK Malla de Acero para Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Rígidos y Flexibles”; Prodac, 2015, p.2, Lima, Perú.



La red es un tejido de malla de alambre hexagonal, este alambre está recubierto con Bezinal®, también la malla esta reforzada transversalmente a intervalos regulares por platinas de acero que están entrelazados en la malla. El tamaño nominal de la red es (80 ± 8) mm x (118 ± 14) mm y la distancia entre las líneas axiales de los alambres transversales de refuerzo es (245 ± 20) mm. El ancho Standard de la malla de refuerzo es 200, 300, 330 y 400 ± 8 cm. Pudiendo ser también diferente a estas medidas dependiendo del diseño de la vía. (Prodac, 2015)

2.2.4. Instalación del Sistema Bitufor

Este sistema es muy sencillo de instalar, ya que al tener la estructura del pavimento flexible como es la sub-base y base ya compactada, esta se coloca por encima de esta última, y queda dentro de la carpeta de rodadura. Para formar la superposición, se prepara la base plana y homogénea, para luego instalar la malla cuadrangular sobre esta y luego unirse con la carpeta asfáltica, se muestra en la Figura 3 sobre toda la superficie.

a) Trabajos Previos

- Dependiendo del espesor existente de pavimento de asfalto se deberá fresar o escarificar, tratando en lo posible aproximarse al inicio de la fisura, si este sea el caso.
- En el caso de que solo se quiera reforzar el pavimento y que este tenga problemas de ahuellamiento, se deberá fresar las “olas” y se dejará nivelado el pavimento
- Rellenar los baches ó desniveles con una capa niveladora, compactar bien
- No se aceptarán zonas con deformaciones superiores a 1.5 cm. Ni juntas con separaciones vacías mayores a 1 pulgada. El objetivo de esto, es que la malla metálica esté siempre en contacto con la superficie del pavimento y no se



encuentre suspendida ya que esto disminuiría su eficiencia en el retardo de la aparición de las fisuras.

- Una vez finalizadas las reparaciones previas detalladas en el punto anterior, se deberá limpiar prolijamente la superficie del pavimento existente mediante agua a presión, soplador, escobas mecánicas, escobillas, detergentes u otros.
- Cualquiera sea la metodología de limpieza utilizada, se deberá asegurar la eliminación completa del polvo, partículas sueltas, aceites, pinturas o cualquier tipo de impureza que pueda afectar el proceso de adherencia del Slurry Seal o la lechada asfáltica, afectando la instalación del sistema de refuerzo.

b) Desplegado y fijación de la malla de Acero

Se recomienda estirar o tensar previamente la malla de alambre para evitar arrugas o pliegues durante la instalación. Los vehículos no deben circular por la red hasta que esté completamente cubierta. Al realizar el trabajo, los vehículos de trabajo deben tener cuidado y evitar frenar, acelerar o hacer giros bruscos en la rejilla para evitar dañar la capa intermedia.

Desenrollar la malla de la parte superior del rollo, tal como se muestra en la foto a continuación:



Figura 4.

Desplegado y fijación



Nota. Recuperado de “Proceso Constructivo de la Instalación del Sistema MESH TRACK Malla de Acero para Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Rígidos y Flexibles”; Prodac, 2015, p.6, Lima, Perú.

2.2.5. Método AASHTO 93

Este método fue creado por la asociación estadounidense AASHTO y es consistente con la determinación del número estructural (SN) para cada uno de los espesores de las capas que formarán el pavimento futuro. El CBR es considerado como uno de los parámetros clave de esta técnica. (Torres y Pérez, 2017)

Este método se basa en modelos que se desarrollaron para calcular los espesores utilizando la performance del pavimento, las cargas de los vehículos y la resistencia de las subrasantes. Por lo tanto, utiliza el rendimiento del pavimento, las cargas de los vehículos y la resistencia de la subrasante para determinar el espesor. El objetivo del modelo es encontrar y determinar el número de diseño requerido (SNr) para identificar y determinar un conjunto de espesores para cada capa de la estructura de pavimento para asegurar un desempeño en servicio adecuado para el período de diseño especificado. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014)

2.2.5.1. Período de diseño

Para el manual actual de diseño de pavimentos flexibles, los caminos con bajo volumen de tránsito tendrán un período de diseño de 10 años, dos



etapas de diseño de 10 años y un período de diseño de 20 años. El ingeniero de diseño de pavimentos puede ajustar el período de diseño según las condiciones específicas del proyecto y los requisitos de la entidad. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014)

2.2.5.2. Variables

La ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente:

Ecuación 1. *Ecuación para el diseño*

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.39 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

A partir de esta ecuación, se dan las siguientes definiciones:

a) Ejes equivalentes (W_{18})

W_{18} es el número acumulado de ejes simples que equivale a 18000 libras (80 kN) durante el período de diseño, lo que equivale al número de repeticiones de EE de 8.2t; este número se estableció de acuerdo con los datos del estudio de tráfico. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014)

b) Módulo de Resiliente (M_R)

El módulo de resistencia (M_R) es una medida de la rigidez del suelo subrasante. Para calcularlo, se debe usar un ensayo de resistencia de acuerdo con las recomendaciones AASHTO. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014).



c) Confiabilidad (%R)

El criterio de confiabilidad (%R) del método AASHTO representa la probabilidad de que una estructura específica se comporte de acuerdo con lo previsto durante su período de diseño. Esta probabilidad depende de la variabilidad de los factores que influyen en la estructura y el comportamiento del pavimento. Sin embargo, solicitudes diferentes a las esperadas, como la calidad de la construcción, las condiciones climáticas excepcionales, el crecimiento excepcional del tráfico pesado más allá de lo previsto, y otros factores, pueden reducir la vida útil prevista de un pavimento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014)

Tabla 4. Valores de confiabilidad para una etapa de diseño (10 o 20 años)

Tipos de Caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Nivel de confiabilidad (R)
Camino de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	65%
	T _{P1}	150,001	300,000	70%
Resto de Caminos	T _{P2}	300,001	500,000	75%
	T _{P3}	500,001	750,000	80%
	T _{P4}	750,001	1,000,000	80%
	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	85%
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	T _{P7}	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. Recuperado de “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimento”; Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p.123, Lima, Perú.

R_{Etapa} = Confiabilidad de cada etapa

R_{Total} = Confiabilidad total para el período total de diseño

N = Número de etapas



Tabla 5.

Valores de confiabilidad para dos etapas de diseño de 10 años cada uno.

Tipos de Caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Nivel de confiabilidad (R)		
				1era Etapa	2da Etapa	3ra Etapa
Camino de Bajo Volumen de Tránsito Resto de Caminos	T _{P0}	75,000	150,000	81%	81%	65%
	T _{P1}	150,001	300,000	84%	84%	70%
	T _{P2}	300,001	500,000	87%	87%	75%
	T _{P3}	500,001	750,000	89%	89%	80%
	T _{P4}	750,001	1,000,000	89%	89%	80%
	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	92%	92%	85%
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	92%	92%	85%
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	92%	92%	85%
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	95%	95%	90%
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	95%	95%	90%
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	95%	95%	90%
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	95%	95%	90%
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	97%	97%	95%
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	97%	97%	95%
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	97%	97%	95%
T _{P15}		>30'000,000	97%	97%	95%	

Nota. Recuperado de “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimento”; Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p.124, Lima, Perú.

d) Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Z_R)

El valor de confiabilidad seleccionado para un conjunto de datos en una distribución normal se representa mediante el coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Z_R). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014)



Tabla 6.

Desviación estándar normal (Z_R) para una etapa de diseño (10 o 20 años)

Tipos de Caminos	Traáfico	Ejes equivalentes acumulados		Desviación estándar normal (Z_R)
Camino 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. Recuperado de “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimento”; Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p.125, Lima, Perú.



Tabla 7.

Desviación estándar normal (Z_R) para dos etapas de diseño de 10 años cada uno

Tipos de Caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Desviación estándar normal (Z_R)
Camino de Bajo Volumen de Tránsito Resto de Caminos	T_{P0}	75,000	150,000	-0.878
	T_{P1}	150,001	300,000	-0.994
	T_{P2}	300,001	500,000	-1.126
	T_{P3}	500,001	750,000	-1.227
	T_{P4}	750,001	1,000,000	-1.227
	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.405
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.405
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.405
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.645
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.645
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.645
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.645
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.881
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	-1.881
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.881
T_{P15}		>30'000,000	-1.881	

Nota. Recuperado de “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimento”; Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p.125, Lima, Perú.

e) Desviación Estándar Combinada (S_0)

La desviación estándar combinada (S_0) es un valor que considera la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y otros factores que afectan el comportamiento del pavimento, como la construcción, el medio ambiente e la incertidumbre del modelo. Para los pavimentos flexibles, la Guía AASHTO recomienda valores de S_0 entre 0.40 y 0.50, mientras que el presente Manual recomienda para los diseños recomendados un valor de 0.45. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014)



f) Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

El Índice de Serviciabilidad Presente muestra la comodidad de desplazamiento del usuario. Su valor oscila entre 0 y 5. Un valor de 5 indica la mayor comodidad teórica (difícil de alcanzar), mientras que un valor de 0 indica la peor comodidad teórica. El PSI disminuye con el deterioro de la condición de la vía. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014)

g) Número Estructural Propuesto (SNR)

Los datos se procesan y aplican a la ecuación de diseño AASHTO para obtener el número estructural, que representa el espesor total del pavimento a colocar. Este espesor se debe convertir a los espesores efectivos de las capas de rodadura, base y subbase utilizando los coeficientes estructurales. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014)

Con la siguiente ecuación se puede obtener dicha conversión:

Ecuación 2. *Ecuación para el diseño*

$$SN = a_1 x d_1 + a_2 x d_2 x m_2 + a_3 x d_3 x m_3$$

Donde:

a_1, a_2, a_3 = coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente

d_1, d_2, d_3 = espesores (en centímetros) de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente

m_2, m_3 = coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente.



La ecuación SN no tiene una solución única, según AASHTO, lo que significa que hay muchas combinaciones de espesores en cada capa que dan una solución satisfactoria. El Ingeniero Proyectista debe realizar un análisis de comportamiento de las alternativas de estructuras de pavimento seleccionadas para determinar la alternativa que ofrece los mejores valores de niveles de servicio, funcionales y estructurales, menores a los admisibles, en relación al tránsito que debe soportar la calzada. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, 2014)



CAPITULO III

METODOLOGÍA



3. CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Enfoque de investigación

Según su naturaleza de la información recogida para responder al problema de investigación, la presente investigación adoptó un **enfoque cuantitativo**, ya que la investigación evidencia empíricamente datos que se lograron tomar de la “realidad”, en otras palabras, de fenómenos que se pueden medir y ser observados en el mismo entorno natural. Es descriptiva porque explica fenómenos; así mismo permitió evaluar los datos de manera científica, de forma numérica con la ayuda de la estadística, componiéndose de etapas en secuencia y probatorias; Así mismo entre los elementos de investigación existe una relación que se pudo delimitar, identificando plenamente el inicio del problema y su dirección. **Aparicio (2019)**

3.2. Método de investigación

3.2.1. Tipo de investigación

La presente investigación según su tipo, es **Aplicada**, porque apuntó a descubrir conocimientos que tuvieron una aplicación inmediata a la realidad, planteando la construcción de la carretera, aplicando el método Bitufor en la construcción de 8.4km de la carretera Carbonera - Nepeña. Que incluyó la construcción de carpeta asfáltica, base y subbase. Así mismo se utilizó la experiencia del investigador y la aplicó en estudios de campo. **Aparicio (2019)**

3.2.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es **descriptiva**, ya que se ejecutó el diagnóstico de la situación actual de los 8.4km de la carretera Carbonera – Nepeña-2022; así también, primero se realizó el diseño de un pavimento flexible normal; en la carretera Carbonera -Nepeña, y luego se realizó el diseño de la medida sustentable del sistema bitufor; con el fin de describir las características comparativas técnico-económicas de ambos diseños. **Aparicio (2019)**



3.3. Diseño de Investigación

El diseño utilizado en la presente Investigación, es **No Experimental**, de **corte transversal** o seccional, debido a que el estudio se realizó en un momento y lugar determinado, en el que se pudo evaluar sub grupos de estudio de donde se pudo recoger información, sin la necesidad de repetir las observaciones. El diseño no experimental se le atribuye por cuanto se recogieron datos de campo en un intervalo único determinado de tiempo, y no se manipuló la variable independiente debido a que el sistema bitufor ya ha sido definido y la metodología de diseño ya existe; de otra manera dicha, la aplicación del sistema bitufor en el diseño de un pavimento flexible ya se ha aplicado en diferentes investigaciones, que se han ejecutado en otros proyectos de carreteras. **Aparicio (2019)**

3.4. Población

El trabajo de investigación en mención, presenta como población finita a la carretera entre el centro poblado la Carbonera – Nepeña.

Figura 5.

Imagen Satelital de la Carretera carbonera - Nepeña - Santa - Ancash



Nota. Obtenido de Google Earth, Google, s.f..2013



3.5. Muestra y muestreo

La muestra utilizada, es representada por 8.4km de la carretera Carbonera – Nepeña, por otro lado, el muestreo se obtuvo de la elección de 4 tramos de estudio que componen el total de longitud de la carretera estudiada.

Tabla 8.

Tramos de estudio correspondientes a la carretera Carbonera-Nepeña.

ITEM	TRAMO	LONGITUD	PROGRESIVA
1	TRAMO I	2,180 m	0+000 AL 2+180
2	TRAMO II	680 m	2+180 AL 2+860
3	TRAMO III	740 m	2+860 AL 3+600
4	TRAMO IV	4,440 m	3+600 AL 8+040

Nota. Elaboración propia.

El tipo de muestreo que se utilizó fue el no probabilístico; ya que las muestras no se escogieron siguiendo un sistema aleatorio, por lo tanto, significa que dichos tramos (muestras), fueron elegidas y determinados, intencionalmente por conveniencia.

Aparicio (2019)

3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.6.1. Variables de estudio:

✓ **Variable Dependiente:**

- ✓ Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera – Nepeña.

✓ **Variable Independiente:**

- ✓ Aplicación de medida sustentable: Sistema BITUFOR



3.6.2. Matriz de Consistencia

Tabla 9. Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Es una medida sustentable la aplicación del sistema Bitufor en el diseño del pavimento flexible de la pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña-2022?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar si la aplicación del sistema Bitufor en el diseño del pavimento flexible de la pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña-2022, es una medida sustentable.</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL</p> <p>Si se realiza la aplicación de medida sustentable: sistema Bitufor en la pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña – 2022; entonces mejorará las condiciones técnicas y económicas.</p>	<p>Dependiente:</p> <p>pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera – Nepeña.</p>
<p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <p>¿Cuál es la condición actual de los 8.4 km de la carretera Carbonera – Nepeña -2022?.</p>	<p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <p>Diagnosticar la condición actual de los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022</p>	<p>Los 8.4 km de la carretera Carbonera – Nepeña -2022, se encuentra completamente deteriorada.</p>	<p>Independiente:</p> <p>Aplicación de medida sustentable: sistema Bitufor.</p>
<p>¿Cuáles son las características mecánicas de suelos y estudio de tráfico en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022?.</p>	<p>Identificar las características mecánicas de suelos y estudio de tráfico en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022</p>	<p>Es indispensable determinar los estudios de mecánica de suelos y estudio de tráfico para diseñar un pavimento flexible para los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña - 2022.</p>	
<p>¿Cómo se realiza el diseño técnico de un pavimento flexible bajo el sistema Bitufor en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022?.</p>	<p>Dar a conocer el diseño técnico de pavimento flexible enfocado en el sistema Bitufor para los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022.</p>	<p>La aplicación de sistema Bitufor en los 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña – 2022; dará a conocer las condiciones de diseño de un pavimento flexible bajo el sistema Bitufor.</p>	
<p>Dar a conocer la diferencia económica entre un pavimento tradicional y uno aplicando el sistema Bitufor en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022?.</p>	<p>Dar a conocer la diferencia económica entre un pavimento tradicional y uno aplicando el sistema Bitufor en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022?</p>	<p>Aplicar un diseño de pavimento flexible con sistema bitufor en la 8.4 km de la carretera carbonera – Nepeña – 2022; es mucho más económico que aplicar el diseño de pavimento flexible tradicional.</p>	



3.6.3. Operacionalización de variables

Tabla 10. Operacionalización de la variable Independiente

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA DE MEDICION
VARIABLE INDEPENDIENTE APLICACIÓN DE MEDIDA SUSTENTABLE: SISTEMA BITUFORT.	Este sistema obedece a la instalación de una malla de acero con el objetivo de reforzar la carpeta de rodadura, combinándose con una capa de lechada asfáltica antes de colocar la carpeta. Con el objetivo de usarlo como refuerzo para brindar resistencia a la tracción. Prodac (2015)	Se procederá a realizar el diseño de la pavimentación flexible bajo el sistema bitufor, con el objetivo de comprobar si realmente es un sistema sustentable en comparativa con el diseño convencional de pavimento flexible, en el que se harán pruebas de esfuerzos, deformaciones, incluyendo su análisis técnico - económico.	TECNICA	Parámetros de diseño necesarios para aplicar el sistema bitufor.	Manual Prodac	Nominal
			Espesor de la carpeta de rodadura.	Fuentes Bibliográficas	Respuesta de la estructura del pavimento	
			ECONOMICA	Planilla de metrados y elaboración de costos y presupuestos.	Análisis de metrados y precios unitarios mediante Excel y S10	



Tabla 11. Operacionalización de la variable dependiente

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA DE MEDICION
VARIABLE DEPENDIENTE PAVIMENTACIÓN DE 8.4 KM DE LA CARRETERA CARBONERA – NEPEÑA.	<p>Es aquella estructura que resiste y soporta la carga del tránsito disipando la fuerza que recibe de los vehículos. Por lo general, está compuesto por una capa asfáltica, una base y una subbase. Las capas del pavimento se encuentran por encima de la subrasante, estas soportan de manera correcta las cargas que genera el tránsito, el cual es transferido a toda la estructura de dicho pavimento. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras. (2014)</p>	<p>Se procederá a realizar el diseño de la pavimentación flexible tradicional, realizándose estudios básicos como topográficos, de tráfico, suelos, para lograr dicho diseño convencional se utilizará el método ASSHTO, con el fin de evaluar los esfuerzos, deformaciones, y realizar su análisis técnico -económico.</p>	Diagnóstico de la situación Actual	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación del estado de la vía. • Clasificación por condición de la carretera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Guía de observación Manual (MTC) • Ficha Estándar Manual (MTC) 	Nominal
			Tráfico	<ul style="list-style-type: none"> • Índice medio diario Anual • Numero de repeticiones. (ESALs) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ficha IMD-MTC • ASSTHO 1993 	
			Caracterización del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Granulometría • Contenido de Humedad • Límite de consistencia • Proctor Modificado • CBR • Base 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma MTC E107 • Norma MTC E108 • Norma MTC E110 y MTC E111. • Norma MTC E115 • Norma MTC E132 • Guía de Observación 	
			Diseño técnico	<ul style="list-style-type: none"> • Criterios para diseño con AASHTO. • Espesores en la estructura de pavimento. • Respuesta estructural del pavimento. 	<ul style="list-style-type: none"> • AASHTO 1993 • AASHTO 1993 • Software WinDEPAV. 	
			Costo	<ul style="list-style-type: none"> • Planilla de metrados y presupuesto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de metrados y precios unitarios mediante Excel y S10 	



3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. Técnicas utilizadas para la recolección de datos para la presente investigación fueron:

- **Para determinar si la aplicación del sistema Bitufor en el diseño del pavimento flexible de la pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña-2022, es una medida sustentable.**
 - a) **Técnicas**

Para el diseño de Pavimento:

Se empleo el método de análisis de laboratorio a través de la recolección de muestras de suelo, para ensayos de laboratorio, con fines a la aplicación de diseño de pavimentos; validadas por el Manual de Ensayo de Materiales en su versión 2016, que han sido aprobados por R.D N° 18-2016-MTC/14 el 03 de marzo del 2016, aplicables a nivel nacional. Así como la ficha técnica de conteo vehicular aprobada y validada por el MTC, especificadas en el manual de carreteras - Mantenimiento o conservación vial 2018 -MTC, así mismo validada, mediante el Decreto Supremo N 034-2008-MTC y la guía de diseño de Estructura de Pavimento AASHTO-1993.

Para elaboración de presupuesto comparativo:

Método de análisis de costos y presupuestos; para realizar el comparativo entre ambos tipos de diseño de pavimentos (tradicional y bitufor).

- **Para diagnosticar la condición actual de los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022.**

La técnica utilizada realizar el diagnóstico fue la observación, a través de su instrumento denominado guías de observación o fallas en la vía y la ficha técnica estandarizada que clasifica por la clase de deficiencia que presenta la carretera, proporcionada y validada por el manual de carreteras -Mantenimiento o conservación vial 2018 -MTC.



- **Para determinar las características mecánicas de suelos y estudio de tráfico en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022, la técnica utilizada fue:**

Técnica: Ensayos de laboratorio, y pruebas de clasificación realizadas en los materiales pétreos y suelos para poder determinar su granulometría, plasticidad, densidad, resistencia, expansión, adherencia al asfalto y dureza.

- **Para dar a conocer el diseño técnico de pavimento flexible enfocado en el sistema Bitufor para los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022.**

Técnica: Se realizó el método de análisis de diseño de pavimentos; validadas por el Manual de Ensayo de Materiales en su versión 2016 y la guía de diseño de Estructura de Pavimento AASHTO-1993.

- **Para dar a conocer la diferencia económica entre un pavimento tradicional y uno aplicando el sistema Bitufor en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña - 2022**

Técnica: Método de análisis de costos y presupuestos; para realizar el comparativo económico, entre ambos tipos de diseño de pavimentos (tradicional y bitufor).

3.7.2. Instrumentos utilizados para la recolección de datos de la presente investigación fueron:

- a) **Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2023**

➤ **Guía de observación de deterioros o fallas en la vía**

El presente instrumento utilizado fue la guía de observación, proporcionada por el manual de carreteras -Mantenimiento o conservación vial 2018 -MTC; con el que se identificó las fallas y se determinó el estado actual de la vía con la finalidad de diagnosticar su estado. El presente instrumento ha sido validado por un grupo de expertos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, conforme al Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura vial, aprobado por Decreto Supremo N 034-2008-MTC, que señala en el numeral 4.1 de su artículo 4, precisa que este Ministerio, a través de la Dirección general de Caminos y Ferrocarriles, **es la Autoridad Competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de infraestructura vial,**



fiscalizar su cumplimiento, e interpretar las normas técnicas contenidas en dicho reglamento. Así mismo en su Art. 19, en concordancia con la Primera Disposición complementaria final de la misma norma señala que este Ministerio, a través de la Dirección general de Caminos y Ferrocarriles, elabora, actualiza y **aprueba los manuales** para la gestión de la infraestructura vial. Que, el reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura vial, ha previsto en su artículo 18, **que los manuales son documento de carácter normativo y de cumplimiento** obligatorio, **que sirven como instrumentos técnicos** a las diferentes fases de gestión de la infraestructura vial; por lo que se deduce que, al haber sido aprobado y revisado, por expertos en la materia, otorgan un grado alto de confiabilidad.

➤ **Ficha Técnica estandarizada que clasifica por la clase de deficiencia que presenta la carretera.**

La presente ficha técnica proporcionada por el manual de carreteras - Mantenimiento o conservación vial 2018 -MTC, así mismo validada, mediante el Decreto Supremo N 034-2008-MTC, nos mostró el nivel de fallas y su calificación conforme a los tipos de deterioro especificados por el MTC. Con la finalidad de conocer el nivel de deterioro de la carretera Carbonera – Nepeña.

b) Manual de Carreteras – Mantenimiento o conservación vial 2018 (MTC)

El Manual de Carreteras aprobado y validado por Decreto Supremo N 034-2008-MTC, donde indica que **los manuales son documento de carácter normativo y de cumplimiento** obligatorio, **que sirven como instrumentos técnicos** a las diferentes fases de gestión de la infraestructura vial; nos sirvió como guía para identificar las fallas, las cuales pueden ser estructurales o superficiales en la carretera Carbonera – Nepeña.

c) Ficha técnica de conteo Vehicular

Esta ficha técnica aprobada por el MTC, y especificadas en el manual de carreteras -Mantenimiento o conservación vial 2018 -MTC, así mismo validada,



mediante el Decreto Supremo N 034-2008-MTC nos sirve como guía para el conteo de vehículos livianos y pesados que circulan en nuestro país. El conteo vehicular se debe realizar por unos días y con ello se calcula el IMDS y otros parámetros necesarios. Que, el reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura vial, ha previsto en su artículo 18, **que los manuales son documento de carácter normativo y de cumplimiento obligatorio, que sirven como instrumentos técnicos** a las diferentes fases de gestión de la infraestructura vial; por lo que se deduce que, al haber sido aprobado y revisado, por expertos en la materia, otorgan un grado alto de confiabilidad.

d) Normas técnicas peruanas, normas ASTM y MTC

Las normas del MTC, validadas por diversos grupos de expertos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, y reglamentadas mediante Decretos Supremos, que se utilizaron en la presente investigación fueron:

- Norma MTC E 107: Esta norma nos sirvió como guía en los ensayos de laboratorio para realizar el análisis granulométrico por tamizado.
- Norma MTC E 108: Esta norma nos describe el procedimiento y cálculo para obtener el porcentaje del contenido de humedad.
- Norma MTC E 110: Esta norma nos sirvió como guía para realizar el ensayo de limite líquido.
- Norma MTC E 111: Esta norma nos indica cómo obtener en el laboratorio el limite plástico.
- Norma MTC E 115: Esta norma nos describe como realizar el ensayo de Proctor Modificado en laboratorio, para luego calcular el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca.
- Norma MTC E 132: Esta norma nos describe los pasos para realizar el ensayo California Bearing Ratio (CBR), obteniéndose la capacidad de soporte del suelo, para luego con este dato obtenido poder realizar el diseño del espesor del pavimento.

Las normas del NTP/ASTM utilizadas fueron:



- Norma NTP 1339.135 / ASTM D 2487: El reglamento Ingles y norma técnica peruana nos ayudó a poder realizar la calificación de suelos con los sistemas AASHTO y SUCS.

e) Guía de diseño de Estructura de Pavimento AASHTO

La guía de la American Asociación of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) el cual es un organismo normativo que publica especificaciones, protocolos de ensayos y directrices que se utilizan en el diseño y la construcción de carreteras, este instrumento utilizado es validado por la Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte, conformada por un grupo de expertos en la materia, miembros del Departamento de Transporte de cada estado del país de EE:UU, así como de Puerto Rico y del Distrito de Columbia, y son quienes establecen las normas, publican especificaciones y hacen pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en todo EE:UU y el mundo.

f) Software

Uno de los softwares utilizados es el WinDEPAV, el cual se utilizó para realizar el diseño de pavimento flexible y también para el diseño incorporando el sistema bitufor, ésta herramienta fue validada por el Instituto de Vías de la Universidad del Cauca en Colombia desarrollado en 1993. El programa se relaciona directamente con el programa DEPAV que fue desarrollado por los Ingenieros Alfonso Murgueitio Valencia, Carlos Alberto Benavides y Efraín de Jesús Solano Fajardo para la Investigación Nacional de Pavimentos de Colombia (INPACO) de 1993. Otro software utilizado fue el S10 – Costos y Presupuestos, validado por la empresa Multinacional Microsoft en el año 1997, año en el que se establece una alianza estratégica de negocios entre sus creadores y el gigante del Software Microsoft. Así mismo sirvió para determinar el presupuesto del pavimento diseñado tradicional y el pavimento diseñado agregando el sistema bitufor, donde se puede determinar la diferencia de presupuestos.



3.7.3. Procedimientos

3.7.3.1. Procedimiento de diagnóstico de la situación actual de la carretera

Se aplicaron **guías de observación** teniendo como referencia el **Manual de Carreteras**, consiguiéndose también información complementaria que se detalla a continuación:

- Se consigno el número de guías de observación utilizadas, se identificaron las fallas por progresiva, así como el día que se ejecutó la guía de observación, el sitio en donde se realizó y y la característica de la vía observada.
- Se realizó la movilización de todo el personal para aplicar el instrumento de la guía de observación, es así que se inició en la progresiva 0+000 hasta el 2+180km del tramo de la carretera la Carbonera – Nepeña, a lo largo del recorrido en dicho tramo, se pudo verificar que la carretera se encuentra a nivel afirmado en su superficie de rodadura, sin embargo, el material granular existente presenta un avanzado deterioro en la carretera, debido a la erosión, deformaciones y la aparición de múltiples baches, significando un riesgo para la seguridad vial, ya que dichas irregularidades podrían provocar, pérdida de tracción, dificultad para el frenado y que los vehículos derrapen.
- Se realizó la movilización de todo el personal para aplicar el instrumento de la guía de observación, es así que se inició en la progresiva 2+180 hasta el 2+860km del tramo de la carretera la Carbonera - Nepeña. a lo largo del recorrido en dicho tramo, se pudo verificar que la carretera se encuentra a nivel afirmado en su superficie de rodadura, sin embargo, el material granular existente presenta un avanzado deterioro en la carretera.
- Posterior a ello Se realizó la movilización con el objetivo de aplicar la guía de observación, a la progresiva 2+860km hasta el 3+600km del tramo en estudio. a lo largo del recorrido en dicho tramo, se pudo verificar que la carretera se encuentra a nivel afirmado y que el material granular que existe actualmente se encuentra en estado de deterioro, debido a la erosión, deformaciones y baches.
- Y como ultima movilización del personal, se tuvo el tramo ubicado entre las progresivas 3+600km hasta 8+040km. a lo largo del recorrido en dicho tramo, se pudo verificar que la carretera se encuentra a nivel afirmado en su superficie de rodadura, presenta erosión y deformaciones.



Fotografía 1.
Calicata N-09



- Al finalizar el recorrido y haber llenado las guías de observación; se procedió al llenado de las fichas técnicas estándar del manual de carreteras mantenimiento o conservación vial del MTC, identificando los tipos de deterioro a la superficie de rodadura de la carretera Carbonera – Nepeña, misma que se encuentra a nivel de trocha. Para posteriormente elaborar un diagrama de barras tanto para deformaciones, baches, ondulaciones y surcos longitudinales; con el objetivo de visualizar cual de todos tuvo mayor incidencia, con el objetivo de determinar cuáles fueron las que tuvieron mayor incidencia en el deterioro de la superficie de rodadura.



Figura 6.

Registro de deterioro de la carpeta de rodadura-afirmado en guía de observación

Guía de Observación	
Carretera: Panamericana Norte	Nº Guía: 01
Progresiva: km 0+000	Fecha: 19 – 07 - 2024
Tipo de Pavimento: Pavimento Afirmado	Lugar: Nepeña
Calificación para cada tipo de Deterioro o falla de la capa de rodadura	
a. Deformación	
• Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm	<input type="checkbox"/>
• Huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm.	<input checked="" type="checkbox"/>
• Huellas/hundimiento entre >= 10cm.	<input type="checkbox"/>

Nota. Elaboración propia. Instrumento aplicado en la presente investigación de la Guía de observación para diagnosticar el deterioro de la carpeta de rodadura-afirmado de los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022,

3.7.3.2. Procedimiento para el Estudio de Tráfico

➤ **Conteo Vehicular:**

El conteo vehicular se realizó por siete (07) días, dichos datos se registraron de acuerdo a la ficha técnica estándar de conteo vehicular del MTC, y con esto se halló el IMDS para vehículos pesados y ligeros. EL lugar en donde se instaló la estación de conteo fue a la altura de la progresiva 2+180km, en la carretera Carbonera - Nepeña.



Fotografía 2.

Conteo vehicular carretera Carbonera – Nepeña.



Tabla.12.

Vehículos ligeros y pesados para el conteo vehicular

Tipo de Vehículo	Configuración Vehicular
Vehículos Ligeros	Autos
	S.Wagnon
	Panel
	Rural
Omnibus	Micros
	2E
	3E
Camión	4E
	2E
	3E
Semitraylers	4E
	2S1
	2S2
	2S3
	3S1
Traylers	3S2
	≥ 3S3
	2T2
	2T3
	3T2
≥ 3T3	

Nota. Recuperado de “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimento”; Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p.62, Lima, Perú.



➤ **IMDA actual:**

Se procedió a calcular el IMDA que lo componen tanto vehículos ligeros y pesados por sus respectivos factores de corrección estacional. Cabe precisar que dichos factores se tomaron de la estación más cercana, a nuestra investigación, tal como es el peaje **Vesique** se tomaron como muestra factores de conteo correspondientes al mes de febrero, dándonos valores de 0.6992 y de 0.7587 para vehículos ligeros y pesados, de manera respectiva. Por lo que se obtuvo un IMDA de 78 veh/día (ligeros) y 8 veh/día (pesados).

➤ **IMDA proyectado:**

Se realizó el cálculo del IMDA proyectado, para ello se tomó como valor de “n” igual a 10 (criterio propio). Los valores de tasa anual de crecimiento del tránsito por tipo de vehículo “r”, se extrajeron del reporte del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) emitido en abril del 2022, donde se tuvo para unidades ligeras una tasa de aumento del 3.28% y en unidades pesadas un aumento del 4.50%. Con estos valores y con el valor de IMDA previamente ya calculado se halló el valor del IMDA proyectado con un valor de 115 veh/día.

➤ **Cálculo de los ejes equivalentes:**

Para realizar el cálculo de los ejes equivalentes; debido a que es un requisito indispensable para realizar el diseño del pavimento flexible, se obtuvo los ejes equivalentes por cada tipo de vehículo pesado (EE día-carril), donde se obtuvo $\sum EE \text{ día-carril} = 43.34$.

3.7.3.3. Procedimiento para determinar la caracterización del Suelo mediante Estudio de Mecánica de Suelos (ensayos de laboratorio)

(a) Puntos de Exploración

Se realizaron calicatas dentro del tramo de 8.40km de la carretera La Carbonera – Nepeña, distribuidas en 13 calicatas distribuidas de la siguiente manera; (C-1) y (C-2) en el km 0+000; (C-3) en el km 1+090; (C-3) y (C-4) en el km 2+180; (C-5) y (C-6) en el km 2+520; (C-7) en



el km 2+860; (C-8) en el km 3+230; (C-9) en el km 3+600; (C-10) y (C-11) en el km 5+820; (C-12) y (C-13) en el km 8+040; estas tuvieron una medida de 2.00m de largo x 1.50m de ancho y de profundidad 1.50m, con la finalidad de determinar características mecánicas de tipo de suelos que se encuentra en dicha carretera. Así mismo las calicatas se realizaron según las técnicas de exploración utilizadas fueron según lo indicado en el RNE E-050.

(b) Contenido de Humedad

Procedimiento

- Se seleccionaron tres recipientes, nombrándose de la siguiente manera R1, R2 y R3 respectivamente, cabe resaltar que los recipientes representan las taras. Luego se procedió al pesaje anotándose los valores obtenidos.
- Se colocaron las muestras obtenidas de las calicatas realizadas y se las colocaron en los recipientes (tara), con el fin de pesar cada muestra y realizar apuntes, registrando cada dato obtenido; primero del peso que tuvo cada recipiente, y luego el peso del recipiente más la muestra húmeda.
- Se procedió a ingresar las muestras dentro de los recipientes al interior de un horno de secado con una temperatura de 110 ± 5 °C, por 24 horas.
- Luego se sacaron los recipientes o taras con las muestras, fuera del dejándoselas enfriar por un rango de media hora, para su fácil manipuleo, a continuación, se procedió nuevamente a pesar y a realizar las anotaciones de los resultados que se obtuvieron del peso de la tara más la muestra seca para continuar con el cálculo respectivo.



Obteniendo los siguientes resultados:

438.47 = Peso de la tara más el suelo húmedo, en gramos.

477.15 = Peso de la tara más el suelo secado en horno, en gramos.

91.95 = Peso de la tara, en gramos.

4.15 = Peso del agua en gramos.

395.89 = Es el Peso de las partículas sólidas en gramos.

1.20 = es el porcentaje de humedad resultante

Fotografía 3.

Peso de tara y muestra humedad para el secado en horno



(c) Análisis Granulométrico por tamizado

Se tomó una muestra aproximada de 500 gr, este peso mínimo para poder realizar el análisis granulométrico se determinó de acuerdo al manual de ensayo y materiales del MTC.



Tabla 13.

Pesos mínimos de muestra para análisis granulométrico

Diámetro nominal mm (pulg)	Peso mínimo aproximado (g)
9,5 (3/8")	500
19.6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37.5(1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

Nota. Recuperado de “Manual de Ensayo de Materiales”; Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016, p.45, Lima, Perú.

Procedimiento:

- Primero, las muestras extraídas de las calicatas realizadas se secaron, empleando un horno a una temperatura constante 110°.
- Posterior a ello se retiraron las muestras secas para ser medidas y realizar los cálculos.
- Luego se lavo la muestra colocando la malla #200 como filtro, una vez que el agua pasaba por dicha malla y esta sea transparente. Para ser luego separada la muestra que no pasaba por la malla empleando una cuchara. Con el fin de ingresar dicho sobrante nuevamente al horno con el objetivo de ser secada en el horno por 24 horas.
- Lo que paso la malla #200 fue deducido mediante la resta del peso inicial.
- Posteriormente se inicia el proceso de tamizado nuevamente por la malla #200 como filtro.
- Al final se pesa la muestra de suelo que queda retenido en cada tamiz.
- Se realizan los cálculos empleando las fórmulas correspondientes.



(d) Limite liquido

Procedimiento:

Se tomó una muestra de suelo (300g) que previamente se tamizo por la malla N° 40. Luego con una pequeña muestra (60g), se le añadió una cantidad diferida de agua, para luego colocarla en la Copa Casagrande y se le hizo una abertura con el ranurador. Después se accionó la Copa a razón de 2 golpes por segundo hasta que la muestra se cierre en 1.3cm, para luego extraer una parte del suelo y pesarla. Este proceso se realizó en 3 muestras con diferente cantidad de agua agregada, para estas se cierran a 1.3 cm en la Copa Casagrande en un intervalo de 15 – 25, 20 – 30, 25 – 35 golpes respectivamente.

Por Consiguiente, dichas muestras se secan en el horno, para luego obtener el contenido de humedad y poder realizar el grafico “curva de fluidez” y asi obtener el % de contenido de humedad a los 25 golpes.

(e) Limite Plástico

Procedimiento:

De la muestra utilizada en el límite líquido, utilizamos 20 gr para determinar el limite plástico. De los cuales, de dicha muestra se eligió de 3 a 6 gramos, para luego hacerlo rodar entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio), formando un rollo de diámetro aproximado de 3.15 cm y asi va perdiendo la humedad al pasar los minutos. Para luego colocarlo en una tara de peso conocido y asi obtener el contenido de humedad. El limite liquido es el contenido de humedad promedio de dos muestras ensayadas.

(f) Proctor Modificado

Procedimiento:

Para este ensayo, se les agrega distintos porcentajes de humedad a cada muestra, para luego el material colocarlo en un molde circular en 5 capas, cada capa va ir compactada con 25 o 56 golpes. Después de completada la compactación se retira el anillo superior y se nivela con



una hoja. Luego de enrasar el molde, se retira su placa base y se registra el peso. A continuación, se retira el material del molde, luego se obtiene el contenido de humedad sacando 2 muestras. CBR

Se tomó 15 kg de muestra por cada calicata, donde se separó en 3 partes, y cada una de ellas se le agregó el porcentaje de humedad obtenida en el ensayo de Proctor modificado que se realizó con antelación. Para después obtener los datos del área, volumen y peso del molde donde se harán los ensayos del CBR. Y continuar con la compactación de 3 moldes, donde cada uno es compactado en cinco capas con golpes de 55, 26 y 12 golpes que se realizaran con el pistón, después de realizado lo mencionado anteriormente, de la muestra sobrante se toman 2 muestras para obtener del promedio de estas el contenido de humedad. A continuación, se coloca el molde en un compresor multifuncional con una presión que no exceda los 4.5 kg. Para terminar, se registran las profundidades para elaborar la curva de carga vs penetración.

Para determinar el porcentaje de agua que se va a añadir a la muestra se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 3. *Porcentaje de agua añadido*

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

H = Humedad prefijada

h = Humedad natural

El índice del CBR se obtiene de la siguiente manera:

Ecuación 4. *Cálculo de CBR*

$$CBR = \frac{C1}{CE} \times 100$$



Donde:

CBR = Índice de CBR

CI = Carga obtenida en lb/plg²

CE = Carga Estándar en lb/plg²

Las características de la muestra estándar son las siguientes:

Tabla 14.

Tipologías de la Muestra Patrón CBR

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	Kgf/cm ²	lb/plg ²
2.54	0.10	6.90	70.31	1.00
5.08	0.20	10.35	105.46	1.50

Nota. Recuperado de “Manual de Ensayo de Materiales”; Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016, p.255, Lima, Perú.

3.7.3.4. Procedimiento para el diseño Técnico del pavimento flexible tradicional

(a) Numero de repeticiones de Ejes Equivalentes 8.2 Tn

Según AASTO, el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes 8.2 tn, se obtiene según la siguiente ecuación:

Ecuación 5. *Cálculo de N° rep (EE 8.2 TN)*

$$N^{\circ} \text{rep} = \sum \text{EE día - carril} \times \text{Fca} \times 365$$

En donde:

- $\sum \text{EE día - carril}$: Ejes equivalentes por vehículo pesado
- Fca: Factor de crecimiento acumulado

(b) Variables del diseño por el método AASHTO 93

Las variables que se usaran son las siguientes:

- Z_R : Coeficiente de desviación estándar
- S_O : Desviación estándar combinada
- W_{18} : Numero de repeticiones EE de 8.2 TN
- ΔPSI : Variación de serviciabilidad



- M_R : Modulo de Resiliencia

Estas variables son usadas en la siguiente ecuación básica para el diseño del pavimento flexible:

Ecuación 6. *Ecuación básica para el diseño de pavimento flexible*

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.0$$

A parte de las variables indicadas en la Ecuación 14, se determinaron

las siguientes variables, las cuales también influyen en el diseño:

- %R: Confiabilidad
- P_i : Serviciabilidad Inicial
- P_f : Serviciabilidad final
- T_{pi} : Tipo de trafico
- Etapas: Número de etapas

(c) Número estructural propuesto

Según AASHTO 93, el número de diseño calculado se convierte en el espesor de la carpeta de rodadura, base y sub base, estas se determinan en la siguiente ecuación:

Ecuación 7. *Cálculo de número estructural propuesto*

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

Donde:

- a_1, a_2, a_3 : Coeficiente de carpeta de rodadura, base y sub base respectivamente
- d_1, d_2, d_3 : Espesor de carpeta de rodadura, base y sub base respectivamente
- m_2, m_3 : Coeficiente de drenaje de base y sub base respectivamente



3.7.3.5. Procedimiento para el diseño técnico de pavimento flexible adicionado el sistema bitufor

Después de realizarse el diseño de pavimento flexible tradicional mediante la guía AASHTO 93, se diseñó el pavimento flexible adicionado el sistema bitufor, donde se determinó 3 modelos los cuales fueron:

- Pavimento flexible tradicional
- Pavimento flexible + sistema bitufor
- Pavimento flexible + sistema bitufor – 20% espesor de la carpeta de rodadura.

Para luego analizar el comportamiento mediante el programa WinDEPAV, donde se le aplica una carga de 5.60 kgf/cm² a cada modelo para evaluar los esfuerzos y deformación que soporta cada capa de la estructura del pavimento flexible en los 3 modelos propuestos.

Para la aplicación del programa WinDEPAV se necesitan conocer las propiedades mecánicas de la estructura del pavimento los cuales son:

- Módulo de Elasticidad y coeficiente de poisson de la carpeta de rodadura (se asume 15,300 kg/cm² y 0.35 respectivamente de acuerdo a referencias anteriores)
- Módulo de Elasticidad y coeficiente de poisson del sistema bitufor, donde se asume 2,039,432.43 y 0.35 respectivamente, estos datos se obtuvieron de la revista PRODAC.

Las propiedades mecánicas de la base, sub base y subrasante se determinarán de acuerdo al CBR obtenido en los ensayos de estudio de suelos. Donde el módulo de Resiliencia o Modulo de elasticidad de la subrasante se determinó de acuerdo al Manual de carreteras, suelos geología, geotecnia y pavimentos con la siguiente ecuación:



Ecuación 8. Módulo de Resiliencia a partir del %CBR

$$M_R = 2555 \times \%CBR^{0.64}$$

Para luego determinar el módulo de poisson de la subrasante dependiendo del tipo de suelo que se encuentra en los siguientes rangos como se indica en el siguiente cuadro:

Tabla 15.
Valores típicos de suelos

Material	Módulo de elasticidad E(Mpa)	Módulo de Poisson
Arena suelta	10.5 – 24.0	0.20 – 0.40
Arena media	17.0 – 27.0	0.25 – 0.40
Arena densa	34.5 – 55.0	0.30 – 0.45
Arena muy densa	> 60.0	0.30 – 0.45
Limo arenoso	10.5 – 17.5	0.20 – 0.40
Arena y Grava	69.0 – 175.0	0.15 – 0.35
Arcilla blanda	2.0 – 5.0	-
Arcilla media	5.0 – 10.0	0.20 – 0.50
Arcilla rigida	10.0 – 24.0	-

Nota. Recuperado de “Algunas consideraciones sobre el módulo de poisson”; Ministerio de Obras Públicas, Transporte, y Vivienda y Desarrollo Urbano, 2006, p.18, El Salvador.

Al obtenerse los datos anteriores, de acuerdo a Fredy Alberto Reyes Lizano se pasa a obtener el modulo de elasticidad de la base y sub base a partir del modulo de elasticidad de la subrsante mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación 9. Módulo de Elasticidad de Sub-Base a partir del Módulo de Subrasante y espesor

$$E_n = E_{n+1} [1 + 7.18 * \log(h_n) - 1.56 * \log(E_{n+1}) * \log(h_n)]$$



Donde:

- E_n : Modulo de elasticidad de subrasante
- h_n : espesor de la capa de sub-base

Ecuación10. *Módulo de Elasticidad de Base a partir del Módulo de Sub-base y espesor*

$$E_n = E_{n+1} [1 + 10.52 * \log(h_n) - 2.1 * \log(E_{n+1}) * \log(h_n)]$$

Donde:

- E_n : Modulo de elasticidad de sub-base
- h_n : espesor de la capa de base

Después se determinó los módulos de poisson de acuerdo al siguiente cuadro:

Tabla 16.

Valores típicos para base y sub-base

Material	Módulo de elasticidad E(Ksi)		Módulo de Poisson ν
	Minimo	Maximo	
Sub base Granular	5	30	0.20 – 0.40
Base Granular	5	50	0.25 – 0.40

Nota. Recuperado de “Algunas consideraciones sobre el módulo de poisson”; Ministerio de Obras Públicas, Transporte, y Vivienda y Desarrollo Urbano, 2006, p.20, El Salvador.

Y por ultimo de acuerdo al programa WinDEPAV se aplica una carga de 5.60 kgf/cm2 para el analisis de los modelos propuestos.

3.7.3.6. Procedimientos para el análisis de Costos

Después de analizar el comportamiento de los 3 modelos propuestos, se realiza un presupuesto de cada uno de ellos mediante el programa S10 –COSTOS Y PRESUPUESTOS, para verificar si el sistema bitufor es sustentable en esta investigación, haciendo una comparativa, ya que cada modelo tiene diferentes partidas y análisis de precios unitarios.



3.8. MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS.

Hernández Sampieri sugiere emplear un análisis inferencial estadístico para valorar la hipótesis y realizar proyecciones fundamentadas en los datos recabados. Para el próximo estudio de naturaleza cuantitativa, se empleará la Prueba t de Student, ya que utilizaremos la formulación de hipótesis para contrastar las medias y distribuciones de dos grupos. Esta evaluación se llevará a cabo utilizando el software Microsoft Excel, se recopilarán todos los datos y posteriormente se examinarán, determinando si las discrepancias detectadas son relevantes.

Para examinar la información de los exámenes de laboratorio de la tesis, Sampieri sugiere el uso de instrumentos visuales que desempeñen varias funciones relevantes como:

Gráficos

- Los gráficos que se emplean en una tesis favorecen un mejor entendimiento, dado que ilustran detalles complejos de manera clara y comprensible, lo que facilita a los lectores la identificación rápida de tendencias y patrones.
- Es un respaldo al argumento de la investigación, dado que representa las pruebas visuales del proceso o del resultado de la investigación, simplificando de esta manera la transmisión de una conclusión futura. Es un atractivo visual para la audiencia y lectores, ya que mantiene así la atención de los lectores.

Tablas

- Las tablas contribuyen a ordenar los datos recolectados durante el proceso de creación de la tesis. Estas tablas facilitan la entrega rápida de la información que se desea proporcionar.



- Disminuyen una gran cantidad de datos, proporcionando un resumen de todos los datos obtenidos.
- Permiten el contraste entre dos o más variables o categorías.
- Facilitan una interpretación más nítida, proporcionan claridad en investigaciones cuantitativas, dado que posibilitan la exhibición de detalles acerca de las muestras, variables y los métodos de análisis empleados.

Diagramas de Barras

- Facilitan el reconocimiento de tendencias a través del tiempo.
- Los esquemas de barras almacenan datos que resultan esenciales para la investigación.
- Se emplea como un instrumento de pruebas gráficas para los argumentos y conclusiones, confiando en lo que se está investigando.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4. CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. Los resultados obtenidos con respecto al objetivo General: “Determinar si la aplicación del sistema Bitufor en el diseño del pavimento flexible de la pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña-2022, es una medida sustentable”, fueron los siguientes:

4.1.1.1. Diseño de pavimento flexible tradicional

- **Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo ligero y pesado.**

En los 8.4 km de la carretera Carbonera –Nepeña, como se indica en el presente estudio, esta va a tener una calzada con dos sentidos, donde cada sentido tiene su propio carril, y de acuerdo a los resultados obtenidos en el conteo vehicular se realiza el cálculo de ejes equivalentes, como se muestra a continuación:

Tabla 17.

Ejes equivalentes vehículos ligeros y pesados

TIPO DE VEHICULO	\sum EJES EQUIVALENTES	\sum EE _{dia-carril}
Vehículos livianos	0.07589746	43.33684041
Vehículos pesados	43.26094296	

Nota. Elaboración propia.



- **Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes 8.2 Tn.**

Se tomará solo los ejes equivalentes de los vehículos pesados, de igual manera se tiene una tasa de crecimiento anual de 4.50 % y se diseñara para un periodo de 20 años, se muestra a continuación los resultados obtenidos:

Tabla 18.

Cálculo del número de repeticiones – ESAL

Tasa anual de crecimiento Vehículos pesados	r:	4.50%
Tiempo de vida útil de pavimento (años)	n:	20
Factor direccional x factor carril	(Fd x Fc)	0.50
Factor Fca vehículos pesados $Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$	Fca	31.37
Número de repeticiones de ejes equivalentes (ESAL)		
$N^{\circ} \text{rep de } EE_{8.2tn} = \sum \text{ día-carril } \times Fca \times 365$	ESAL	495362

Nota. Elaboración propia.



- **Número Estructural Propuesto**

Del estudio de mecánica de suelos, los CBR calculados se diferencian mucho entre sí, por lo que se agruparan en 4 secciones.

Tabla 19.

Resumen de valores CBR de los puntos de exploración en estudio

TRAMOS	PROGRESIVA	Ítem	% CBR	% CBR Prom.
TRAMO I	0+000 – 2+180	C1	32.00	28.33
		C2	28.50	
		C3	25.00	
		C4	27.80	
TRAMO II	2+180 – 2+860	C5	12.80	12.80
TRAMO III	2+860 – 3+600	C6	35.00	35.00
TRAMO IV	3+600 – 8+050	C7	23.10	23.66
		C8	24.20	
		C9	22.30	
		C10	20.00	
		C11	23.20	
		C12	25.00	
		C13	27.80	

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presenta el cálculo del número estructural de cada tramo seccionado:



Tabla 20. Variable y cálculo del número estructural propuesto (SN) del tramo I

TRAMO I (PROG. 0+000 – 2+180)		
VARIABLES	SIMBOLO	VALOR
Cargas de tráfico vehicular	ESAL(W18)	495,362.00
Suelo de la subrasante	CBR	28.33%
Módulo de resiliencia de la subrasante	MR(psi)	21718.44
Tipo de tráfico	Tipo	TP2
Numero de etapas	Etapas	1
Nivel de confiabilidad	R	75%
Coefficiente de desviación estándar	Zr	-0.674
Error estándar combinado	So	0.45
Índice de Serviciabilidad Inicial	Pi	3.80
Índice de Serviciabilidad Final	Pt	2.00
Diferencia de Serviciabilidad	Δ PSI	1.80
Número Estructural Propuesto	SN	1.838

Nota. Elaboración propia.

Tabla 21.

Variable y cálculo del número estructural propuesto (SN) del tramo II

TRAMO II (PROG. 2+180 – 2+860)		
VARIABLES	SIMBOLO	VALOR
Cargas de tráfico vehicular	ESAL(W18)	495,362.00
Suelo de la subrasante	CBR	12.80%
Módulo de resiliencia de la subrasante	MR(psi)	13061.87
Tipo de tráfico	Tipo	TP2
Numero de etapas	Etapas	1
Nivel de confiabilidad	R	75%
Coefficiente de desviación estándar	Zr	-0.674
Error estándar combinado	So	0.45
Índice de Serviciabilidad Inicial	Pi	3.80
Índice de Serviciabilidad Final	Pt	2.00
Diferencia de Serviciabilidad	Δ PSI	1.80
Número Estructural Propuesto	SN	2.242

Nota. Elaboración propia.



Tabla 22.

Variable y cálculo del número estructural propuesto (SN) del tramo III

TRAMO III (PROG. 2+860 – 3+600)		
VARIABLES	SIMBOLO	VALOR
Cargas de tráfico vehicular	ESAL(W18)	495,362.00
Suelo de la subrasante	CBR	35.00%
Módulo de resiliencia de la subrasante	MR(psi)	24865.34
Tipo de tráfico	Tipo	TP2
Numero de etapas	Etapas	1
Nivel de confiabilidad	R	75%
Coefficiente de desviación estándar	Zr	-0.674
Error estándar combinado	So	0.45
Índice de Serviciabilidad Inicial	Pi	3.80
Índice de Serviciabilidad Final	Pt	2.00
Diferencia de Serviciabilidad	Δ PSI	1.80
Número Estructural Propuesto	SN	1.741

Nota. Elaboración propia.

Tabla 23.

Variable y cálculo del número estructural propuesto (SN) del tramo IV

TRAMO IV (PROG. 3+600 – 8+050)		
VARIABLES	SIMBOLO	VALOR
Cargas de tráfico vehicular	ESAL(W18)	495,362.00
Suelo de la subrasante	CBR	23.66%
Módulo de resiliencia de la subrasante	MR(psi)	19353.54
Tipo de tráfico	Tipo	TP2
Numero de etapas	Etapas	1
Nivel de confiabilidad	R	75%
Coefficiente de desviación estándar	Zr	-0.674
Error estándar combinado	So	0.45
Índice de Serviciabilidad Inicial	Pi	3.80
Índice de Serviciabilidad Final	Pt	2.00
Diferencia de Serviciabilidad	Δ PSI	1.80
Número Estructural Propuesto	SN	1.924

Nota. Elaboración propia.

- **Cálculo de espesores de la estructura del pavimento flexible**

De los cuatro (4) tramos, los espesores de la estructura del pavimento flexible son las siguientes:



Tabla 24.

Cálculo de espesores de la estructura del pavimento flexible del tramo I

TRAMO I (PROG. 0+000 – 2+180)			
ESTRUCTRA	COEFICIENTE	SIMBOLO	VALOR
CAPA DE RODADURA	Estructural (/cm)	a1	0.17
	Espesor (cm)	d1	5
BASE	Estructural (/cm)	a2	0.052
	Espesor (cm)	d2	10
	Drenaje	m2	1
SUB-BASE	Estructural (/cm)	a3	0.047
	Espesor (cm)	d3	10
	Drenaje	m3	1
NUMERO	NUMERO	SN	1.838
ESTRUCTURAL	ESTRUCTURAL		
	NUMERO	SNR	1.840
	ESTRUCTURAL PROPUESTO		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 25.

Cálculo de espesores de la estructura del pavimento flexible del tramo II

TRAMO II (PROG. 2+180 – 2+860)			
ESTRUCTRA	COEFICIENTE	SIMBOLO	VALOR
CAPA DE RODADURA	Estructural (/cm)	a1	0.17
	Espesor (cm)	d1	5
BASE	Estructural (/cm)	a2	0.052
	Espesor (cm)	d2	10
	Drenaje	m2	1
SUB-BASE	Estructural (/cm)	a3	0.047
	Espesor (cm)	d3	20
	Drenaje	m3	1
NUMERO	NUMERO	SN	2.242
ESTRUCTURAL	ESTRUCTURAL		
	NUMERO	SNR	2.310
	ESTRUCTURAL PROPUESTO		

Nota. Elaboración propia.



Tabla 26.

Cálculo de espesores de la estructura del pavimento flexible del tramo III

TRAMO III (PROG. 2+860 – 3+600)			
ESTRUCTRA	COEFICIENTE	SIMBOLO	VALOR
CAPA DE RODADURA	Estructural (/cm)	a1	0.17
	Espesor (cm)	d1	5
BASE	Estructural (/cm)	a2	0.052
	Espesor (cm)	d2	10
	Drenaje	m2	1
SUB-BASE	Estructural (/cm)	a3	0.047
	Espesor (cm)	d3	10
	Drenaje	m3	1
NUMERO	NUMERO	SN	1.741
ESTRUCTURAL	ESTRUCTURAL		
	NUMERO	SNR	1.840
	ESTRUCTURAL	PROPUESTO	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 27.

Cálculo de espesores de la estructura del pavimento flexible del tramo IV

TRAMO IV (PROG. 3+600 – 8+050)			
ESTRUCTRA	COEFICIENTE	SIMBOLO	VALOR
CAPA DE RODADURA	Estructural (/cm)	a1	0.17
	Espesor (cm)	d1	5
BASE	Estructural (/cm)	a2	0.052
	Espesor (cm)	d2	10
	Drenaje	m2	1
SUB-BASE	Estructural (/cm)	a3	0.047
	Espesor (cm)	d3	20
	Drenaje	m3	1
NUMERO	NUMERO	SN	1.924
ESTRUCTURAL	ESTRUCTURAL		
	NUMERO	SNR	2.310
	ESTRUCTURAL	PROPUESTO	

Nota. Elaboración propia.



4.1.1.2. Resultados para la determinación del diseño de pavimento con bitufor como medida sustentable.

Luego de tener definida los espesores de la estructura de los 3 modelos de cada tramo, se realizó la comparación de los diseños mediante el programa WinDEPAV. Para lo cual se requieren los parámetros de diseño de carga que se aplicara al pavimento de los 4 tramos, como se muestra a continuación:

Tabla 28.

Parámetros de diseño de carga que se aplicara de acuerdo al programa WinDEPAV.

LONGITUD ENTRE RUEDAS	0.324 m
RADIO DEL AREA DEL CONTACTO	0.108 m
PRESIÓN DE CONTACTOS	5.60 Kgf/cm ²

Nota. Elaboración propia.

➤ **TRAMO I (PROG. 0+000 – 2+180):**

Tabla 29.

Propiedades mecánicas de la estructura del pavimento incluido el sistema bitufor del TRAMO I:

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)	RELACION DE POISSON
CAPA DE RODADURA	15,300.00	0.35
SISTEMA BITUFOR	2,039,432.43	0.35
BASE	2,810.72	0.38
SUB-BASE	1,903.66	0.36
SUB RASANTE	1,526.93	0.30

Nota. Elaboración propia.

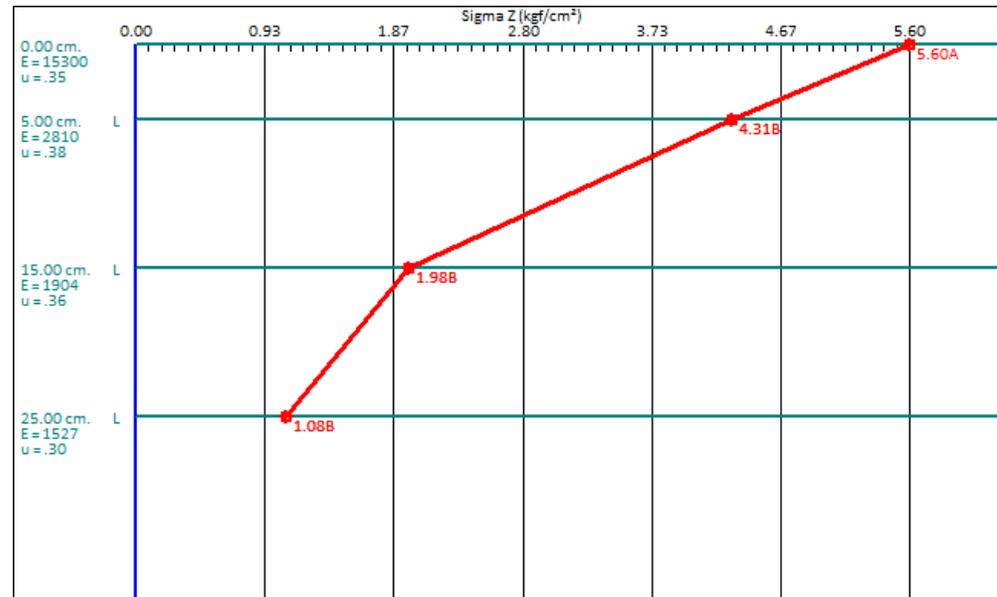
En la tabla anterior, se da a conocer las propiedades mecánicas que componen la estructura del pavimento flexible del TRAMO I. Y a continuación se realiza el análisis del comportamiento del pavimento flexible en los 3 modelos propuestos:



a) ESFUERZOS (kgf/cm²) DEL TRAMO I

Figura 7.

Esfuerzo del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo I



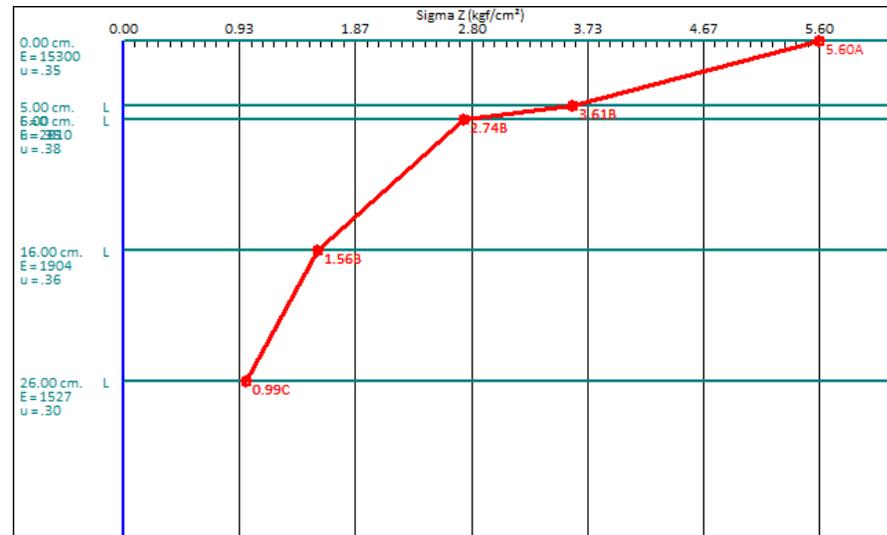
Nota. El gráfico representa la carga aplicada sobre la carpeta de rodadura de 5.60kgf/cm², el mismo que se disipa mientras pasa por cada capa, en el tramo, desde la Progresiva 0+000 hasta la Progresiva 2+180. (pavimento flexible tradicional). Parámetros de diseño de carga aplicados en el winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional del tramo I el cual está comprendido desde la Progresiva 0+000 hasta la Progresiva 2+180, fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², por lo que se aprecia en el grafico la lectura sobre la carpeta de rodadura igual a 5.60 kgf/cm², el cual se va disipando mientras pasa por cada capa de la estructura, teniéndose una lectura de 4.31 kgf/cm² en la parte superior de la capa base granular, continuando con una lectura de 1.98 kgf/cm² entre la parte superior de la sub-base y parte inferior de la base, terminando con una lectura de 1.08 kgf/cm² en la subrasante.



Figura 8.

Esfuerzo del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo I



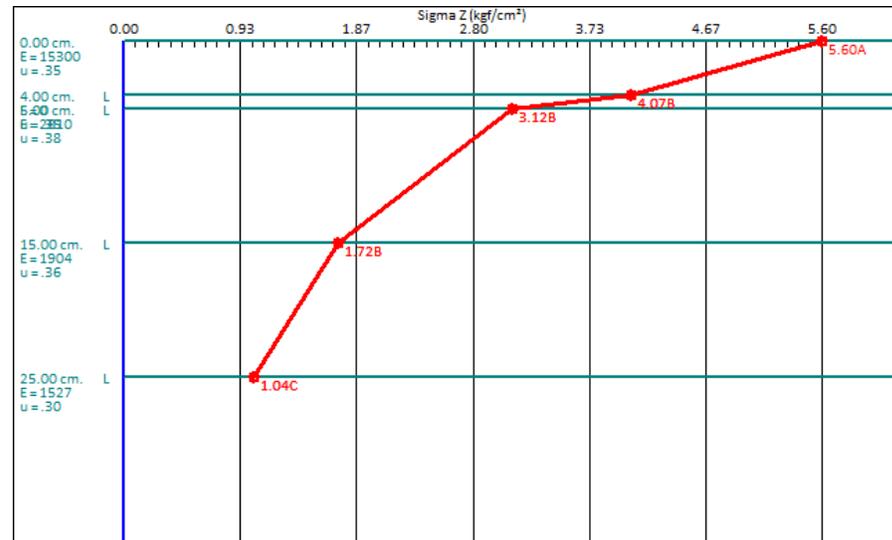
Nota. El gráfico representa la carga aplicada sobre la carpeta de rodadura de 5.60kgf/cm², el mismo que se disipa mientras pasa por cada capa, en el tramo I (el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor), desde la Progresiva 0+000 hasta la Progresiva 2+180. Parámetros de diseño de carga aplicados en el winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor del tramo I el cual está comprendido desde la Progresiva 0+000 hasta la Progresiva 2+180, fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², por lo que se aprecia en el grafico la lectura sobre la carpeta de rodadura igual a 5.60 kgf/cm², el cual se va disipando mientras pasa por cada capa de la estructura, obteniéndose una lectura de 3.61 kgf/cm² entre la carpeta de rodadura y el sistema bitufor, en la siguiente capa se tiene una lectura de 2.74 kgf/cm² entre la parte superior de la capa base granular y parte inferior del sistema bitufor, continuando con una lectura de 1.56 kgf/cm² entre la parte superior de la sub-base y parte inferior de la base, terminando con una lectura de 0.99 kgf/cm² en la subrasante.



Figura 9.

Esfuerzo del Modelo III (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo I



Nota. El gráfico representa la carga aplicada sobre la carpeta de rodadura de 5.60kgf/cm², el mismo que se disipa mientras pasa por cada capa, en el tramo I (el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor -20% del espesor de la carpeta de rodadura del tramo I), desde la Progresiva 0+000 hasta la Progresiva 2+180. Parámetros de diseño de carga aplicados en el winDEPAV.

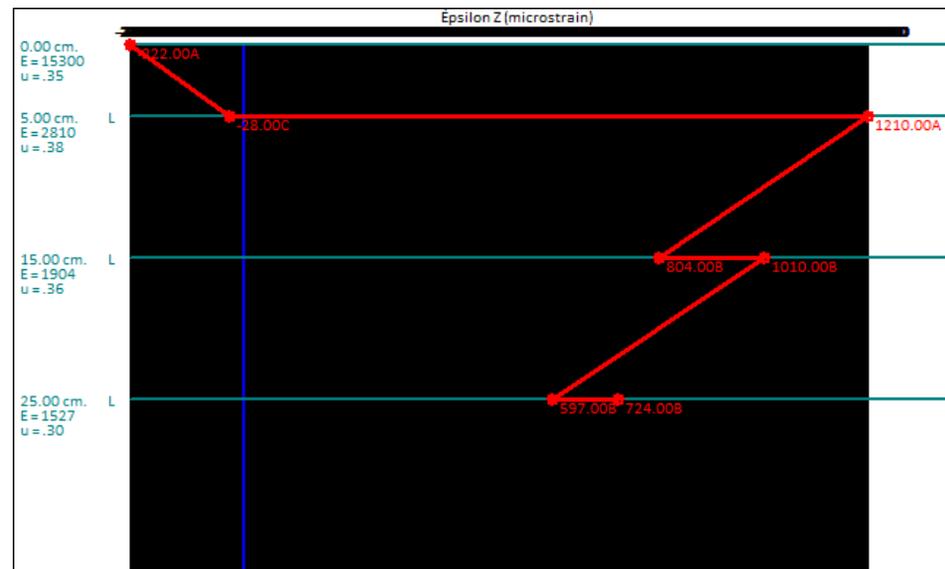
Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura del tramo I, el cual está comprendido desde la Progresiva 0+000 hasta la Progresiva 2+180, fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², por lo que se aprecia en el gráfico la lectura sobre la carpeta de rodadura igual a 5.60 kgf/cm², el cual se va disipando mientras pasa por cada capa de la estructura, obteniéndose una lectura de 4.07 kgf/cm² entre la carpeta de rodadura y el sistema bitufor, en la siguiente capa se tiene una lectura de 3.12 kgf/cm² entre la parte superior de la capa base granular y parte inferior del sistema bitufor, continuando con una lectura de 1.72 kgf/cm² entre la parte superior de la sub-base y parte inferior de la base, terminando con una lectura de 1.04 kgf/cm² en la subrasante.



b) DEFORMACIONES (1 microstrain = 10^{-6} mm) DEL TRAMO I

Figura 10.

Deformación del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo I.



Nota. El gráfico representa la Deformación del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo I. Análisis de deformación de la estructura del pavimento mediante winDEPAV.

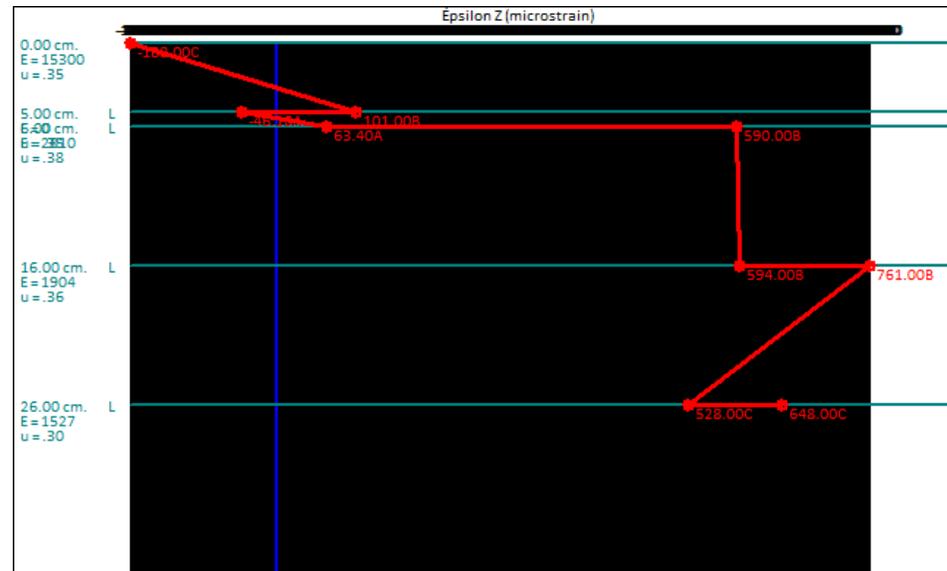
Se puede observar que el pavimento flexible tradicional del tramo I, el cual está comprendido desde la Progresiva 0+000 hasta la Progresiva 2+180, y fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², tiene una deformación de valor negativo en la parte superior de la carpeta de rodadura de -222×10^{-6} mm. Y mientras se va disipando los esfuerzos en cada capa de la estructura, la deformación de la parte superior de la base granular llega a tener una lectura de 1210×10^{-6} mm, continuando con una deformación de 1010×10^{-6} mm entre la base y sub-base, para finalmente tener una lectura de deformación en la subrasante de 724×10^{-6} mm.

En el centro de la rueda doble que fue aplicada a la estructura del pavimento flexible, se obtuvo una deflexión vertical total hacia abajo de 0.4265 mm.



Figura 11.

Deformación del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo I



Nota. El gráfico representa la deformación del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo I. Análisis de deformación de la estructura del pavimento mediante winDEPAV.

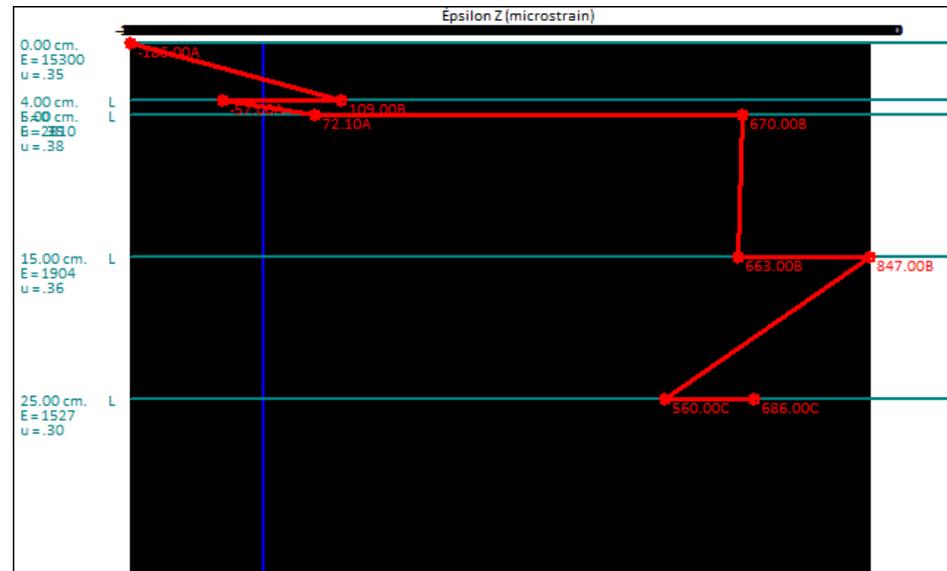
Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor del tramo I, el cual está comprendido desde la Progresiva 0+000 hasta la Progresiva 2+180, y fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², tiene una deformación de valor negativo en la parte superior de la carpeta de rodadura de -188×10^{-6} mm. Y mientras se va disipando los esfuerzos en cada capa de la estructura, la deformación entre la parte superior del sistema bitufor y la parte inferior de la carpeta de rodadura llega a tener una lectura de 101×10^{-6} mm, siguiendo con la lectura entre la base granular y el sistema bitufor se obtiene una deformación de 590×10^{-6} mm, por lo contrario entre la base y sub-base se llega a una deformación de 761×10^{-6} mm, para finalmente tener una lectura de deformación en la subrasante de 648×10^{-6} mm.

En el centro de la rueda doble que fue aplicada a la estructura del pavimento flexible, se obtuvo una deflexión vertical total hacia abajo de 0.4041 mm.



Figura 12.

Deformación del Modelo III Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo I



Nota. El gráfico representa la deformación del Modelo III Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo I. Análisis de deformación de la estructura del pavimento mediante winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura del tramo I, el cual está comprendido desde la Progresiva 0+000 hasta la Progresiva 2+180, y fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², tiene una deformación de valor negativo en la parte superior de la carpeta de rodadura de -186×10^{-6} mm. Y mientras se va disipando los esfuerzos en cada capa de la estructura, la deformación entre la parte superior del sistema bitufor y la parte inferior de la carpeta de rodadura llega a tener una lectura de 109×10^{-6} mm, siguiendo con la lectura entre la base granular y el sistema bitufor se obtiene una deformación de 670×10^{-6} mm, por lo contrario entre la base y sub-base se llega a una deformación de 847×10^{-6} mm, para finalmente tener una lectura de deformación en la subrasante de 686×10^{-6} mm.



“APLICACIÓN DE MEDIDA SUSTENTABLE: SISTEMA BITUFOR EN LA PAVIMENTACIÓN DE 8.4 KM DE LA CARRETERA CARBONERA –NEPEÑA – 2022”

En el centro de la rueda doble que fue aplicada a la estructura del pavimento flexible, se obtuvo una deflexión vertical total hacia abajo de 0.4197 mm.

➤ **TRAMO II (PROG. 2+180 – 2+860):**

Tabla 30.

Propiedades mecánicas de la estructura del pavimento incluido el sistema bitufor del TRAMO II:

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)	RELACION DE POISSON
CAPA DE RODADURA	15,300.00	0.35
SISTEMA BITUFOR	2,039,432.43	0.35
BASE	1,943.87	0.30
SUB-BASE	1,543.01	0.34
SUB RASANTE	918.32	0.19

Propiedades mecánicas que componen la estructura del pavimento flexible del TRAMO II. Elaboración propia.

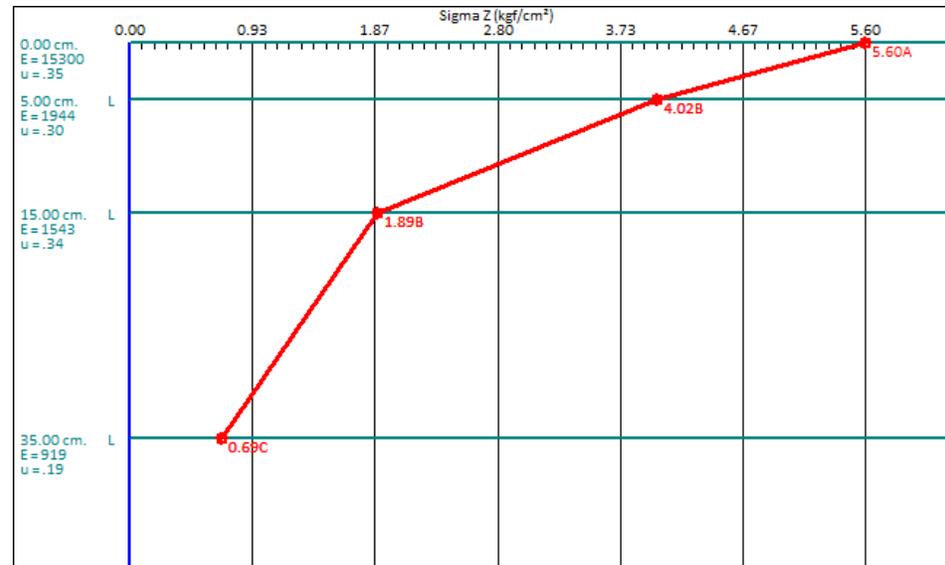
En la tabla anterior, se da a conocer las propiedades mecánicas que componen la estructura del pavimento flexible del TRAMO II. Y a continuación se realiza el análisis del comportamiento del pavimento flexible en los 3 modelos propuestos:



a) ESFUERZOS (kgf/cm²) DEL TRAMO II

Figura 13.

Esfuerzo del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo II



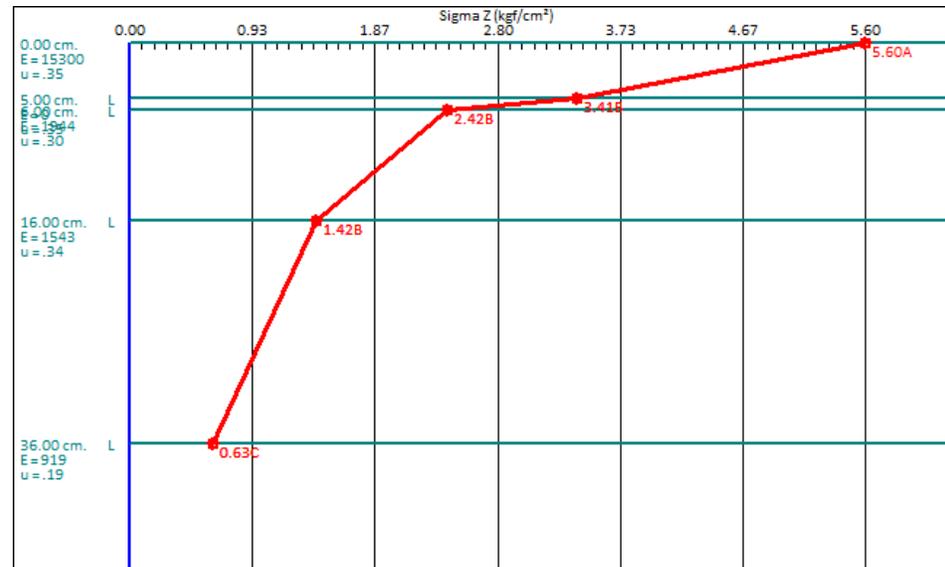
Nota. El gráfico representa la carga aplicada sobre la carpeta de rodadura de 5.60kgf/cm², el mismo que se disipa mientras pasa por cada capa, en el Modelo II del tramo II (Pavimento flexible tradicional), desde la Progresiva 2+180 hasta la Progresiva 2+860. Parámetros de diseño de carga aplicados en el winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional del tramo II el cual está comprendido desde la Progresiva 2+180 hasta la Progresiva 2+860, fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², por lo que se aprecia en el grafico la lectura sobre la carpeta de rodadura igual a 5.60 kgf/cm², el cual se va disipando mientras pasa por cada capa de la estructura, teniéndose una lectura de 4.02 kgf/cm² en la parte superior de la capa base granular, continuando con una lectura de 1.89 kgf/cm² entre la parte superior de la sub-base y parte inferior de la base, terminando con una lectura de 0.69 kgf/cm² en la subrasante.



Figura 14.

Esfuerzo del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo II



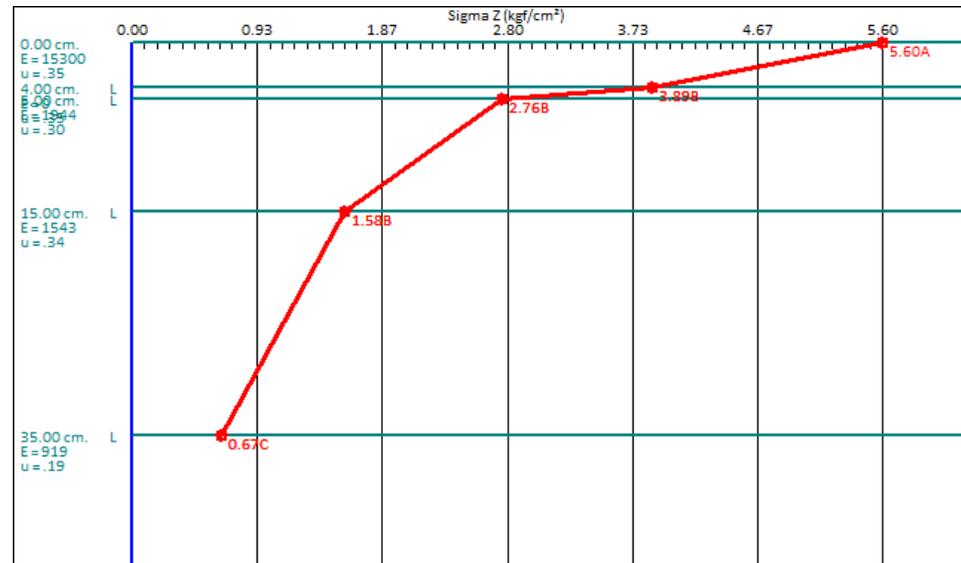
Nota. El gráfico representa la carga aplicada sobre la carpeta de rodadura de 5.60kgf/cm², el mismo que se disipa mientras pasa por cada capa, en el tramo II (pavimento flexible tradicional + sistema bitufor), desde la Progresiva 2+180 hasta la Progresiva 2+860. Parámetros de diseño de carga aplicados en el winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor del tramo II el cual está comprendido desde la Progresiva 2+180 hasta la Progresiva 2+860, fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², por lo que se aprecia en el gráfico la lectura sobre la carpeta de rodadura igual a 5.60 kgf/cm², el cual se va disipando mientras pasa por cada capa de la estructura, obteniéndose una lectura de 3.41 kgf/cm² entre la carpeta de rodadura y el sistema bitufor, en la siguiente capa se tiene una lectura de 2.42 kgf/cm² entre la parte superior de la capa base granular y parte inferior del sistema bitufor, continuando con una lectura de 1.42 kgf/cm² entre la parte superior de la sub-base y parte inferior de la base, terminando con una lectura de 0.63 kgf/cm² en la subrasante.



Figura 15.

Esfuerzo del Modelo III (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo II



Nota. El gráfico representa la carga aplicada sobre la carpeta de rodadura de 5.60kgf/cm², el mismo que se disipa mientras pasa por cada capa, en el tramo III (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura), desde la Progresiva 2+180 hasta la Progresiva 2+860. Parámetros de diseño de carga aplicados en el winDEPAV.

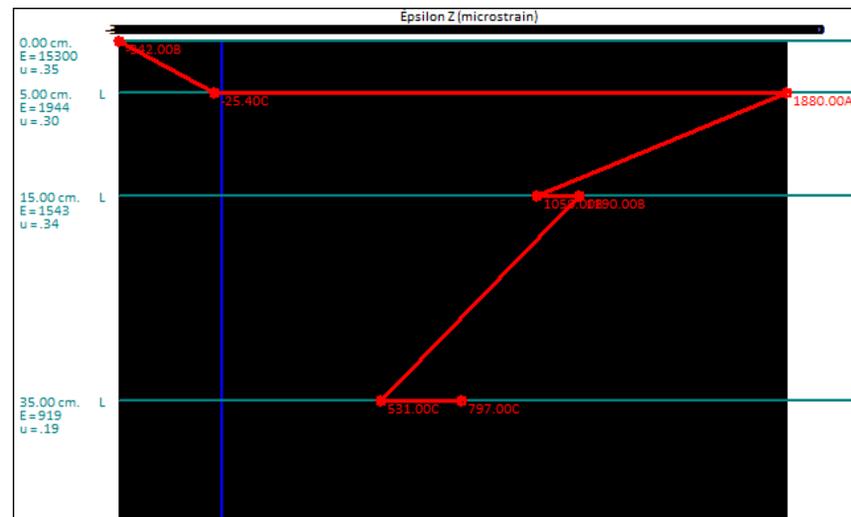
Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura del tramo II, el cual está comprendido desde la Progresiva 2+180 hasta la Progresiva 2+860, fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², por lo que se aprecia en el gráfico la lectura sobre la carpeta de rodadura igual a 5.60 kgf/cm², el cual se va disipando mientras pasa por cada capa de la estructura, obteniéndose una lectura de 3.89 kgf/cm² entre la carpeta de rodadura y el sistema bitufor, en la siguiente capa se tiene una lectura de 2.76 kgf/cm² entre la parte superior de la capa base granular y parte inferior del sistema bitufor, continuando con una lectura de 1.58 kgf/cm² entre la parte superior de la sub-base y parte inferior de la base, terminando con una lectura de 0.67 kgf/cm² en la subrasante.



b) DEFORMACIONES (1 microstrain = 10^{-6} mm) DEL TRAMO II

Figura 16.

Deformación del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo II



Nota. El gráfico representa la deformación del Modelo I ((Pavimento flexible tradicional) del tramo II. Análisis de deformación de la estructura del pavimento mediante winDEPAV.

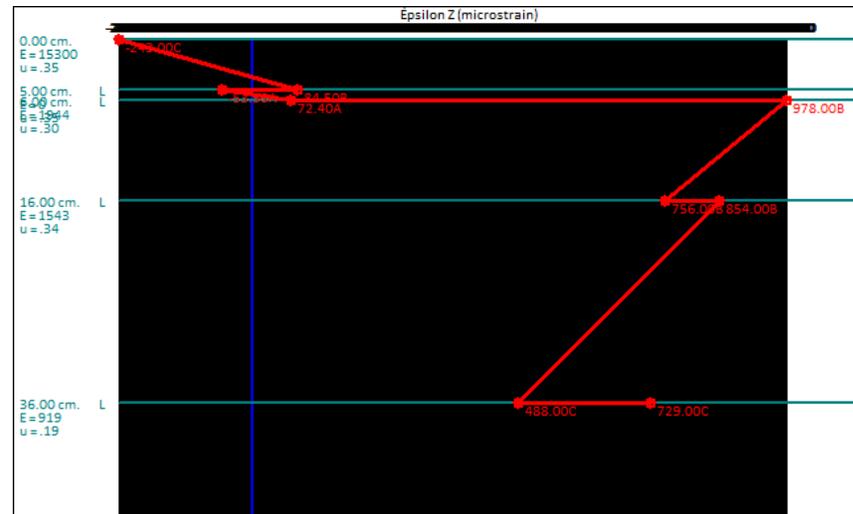
Se puede observar que el pavimento flexible tradicional del tramo II, el cual está comprendido desde la Progresiva 2+180 hasta la Progresiva 2+860, y fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², tiene una deformación de valor negativo en la parte superior de la carpeta de rodadura de -342×10^{-6} mm. Y mientras se va disipando los esfuerzos en cada capa de la estructura, la deformación de la parte superior de la base granular llega a tener una lectura de 1880×10^{-6} mm, continuando con una deformación de 1190×10^{-6} mm entre la base y sub-base, para finalmente tener una lectura de deformación en la subrasante de 797×10^{-6} mm.

En el centro de la rueda doble que fue aplicada a la estructura del pavimento flexible, se obtuvo una deflexión vertical total hacia abajo de 0.6021 mm.



Figura 17.

Deformación del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo II



Nota. El gráfico representa la deformación del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo II. Análisis de deformación de la estructura del pavimento mediante winDEPAV.

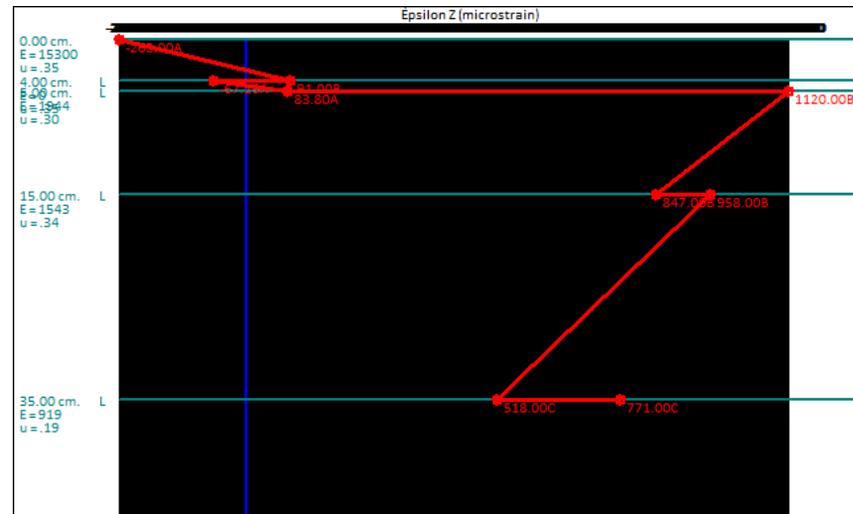
Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor del tramo II, el cual está comprendido desde la Progresiva 2+180 hasta la Progresiva 2+860, y fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², tiene una deformación de valor negativo en la parte superior de la carpeta de rodadura de -243×10^{-6} mm. Y mientras se va disipando los esfuerzos en cada capa de la estructura, la deformación entre la parte superior del sistema bitufor y la parte inferior de la carpeta de rodadura llega a tener una lectura de 84.5×10^{-6} mm, siguiendo con la lectura entre la base granular y el sistema bitufor se obtiene una deformación de 978×10^{-6} mm, por lo contrario entre la base y sub-base se llega a una deformación de 854×10^{-6} mm, para finalmente tener una lectura de deformación en la subrasante de 729×10^{-6} mm.

En el centro de la rueda doble que fue aplicada a la estructura del pavimento flexible, se obtuvo una deflexión vertical total hacia abajo de 0.5574 mm.



Figura 18.

Deformación del Modelo III Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo II



Nota. El gráfico representa del Modelo III Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo II. Análisis de deformación de la estructura del pavimento mediante winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura del tramo II, el cual está comprendido desde la Progresiva 2+180 hasta la Progresiva 2+860, y fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², tiene una deformación de valor negativo en la parte superior de la carpeta de rodadura de -263×10^{-6} mm. Y mientras se va disipando los esfuerzos en cada capa de la estructura, la deformación entre la parte superior del sistema bitufor y la parte inferior de la carpeta de rodadura llega a tener una lectura de 91×10^{-6} mm, siguiendo con la lectura entre la base granular y el sistema bitufor se obtiene una deformación de 1120×10^{-6} mm, por lo contrario entre la base y sub-base se llega a una deformación de 958×10^{-6} mm, para finalmente tener una lectura de deformación en la subrasante de 771×10^{-6} mm.

En el centro de la rueda doble que fue aplicada a la estructura del pavimento flexible, se obtuvo una deflexión vertical total hacia abajo de 0.5813 mm.



➤ **TRAMO III (PROG. 2+860 – 3+600):**

Tabla 31.

Propiedades mecánicas de la estructura del pavimento incluido el sistema bitufor del TRAMO III:

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)	RELACION DE POISSON
CAPA DE RODADURA	15,300.00	0.35
SISTEMA BITUFOR	2,039,432.43	0.35
BASE	3,089.58	0.37
SUB-BASE	2,084.11	0.40
SUB RASANTE	1,748.18	0.34

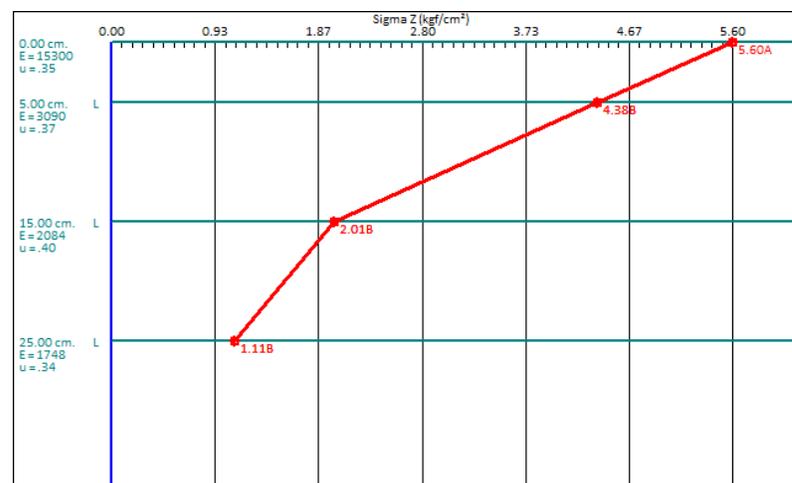
Nota. Propiedades mecánicas de la estructura del pavimento tramo III. Elaboración propia

En la tabla anterior, se da a conocer las propiedades mecánicas que componen la estructura del pavimento flexible del TRAMO III. Y a continuación se realiza el análisis del comportamiento del pavimento flexible en los 3 modelos propuestos:

a) ESFUERZOS (kgf/cm²) DEL TRAMO III

Figura 19.

Esfuerzo del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo III



Nota. El gráfico representa la carga aplicada sobre la carpeta de rodadura de 5.60kgf/cm², el mismo que se disipa mientras pasa por cada capa, en el tramo III (Pavimento flexible tradicional), **desde la 2+860 hasta la Progresiva 3+600**. Parámetros de diseño de carga aplicados en el winDEPAV.



Se puede observar que el pavimento flexible tradicional del tramo III el cual está comprendido desde la Progresiva 2+860 hasta la Progresiva 3+600, fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², por lo que se aprecia en el grafico la lectura sobre la carpeta de rodadura igual a 5.60 kgf/cm², el cual se va disipando mientras pasa por cada capa de la estructura, teniéndose una lectura de 4.38 kgf/cm² en la parte superior de la capa base granular, continuando con una lectura de 2.01 kgf/cm² entre la parte superior de la sub-base y parte inferior de la base, terminando con una lectura de 1.11 kgf/cm² en la subrasante.

Figura 20.

Esfuerzo del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo III



Nota. El gráfico representa la carga aplicada sobre la carpeta de rodadura de 5.60kgf/cm², el mismo que se disipa mientras pasa por cada capa, representa e esfuerzo del modelo II, en el tramo III (pavimento flexible tradicional + sistema bitufor), desde la 2+860 hasta la Progresiva 3+600. Parámetros de diseño de carga aplicados en el winDEPAV.

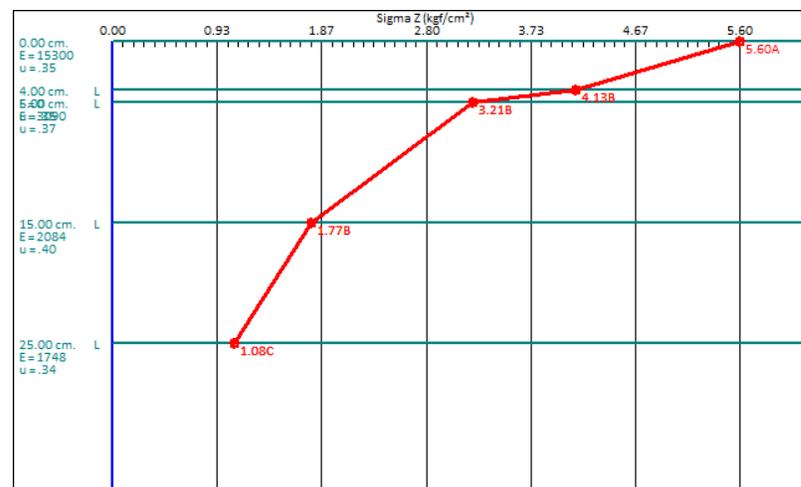
Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor del tramo III el cual está comprendido desde la Progresiva 2+860 hasta la Progresiva 3+600, fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², por lo que se aprecia en el grafico la lectura sobre la carpeta de rodadura igual a 5.60 kgf/cm², el cual se va disipando mientras pasa por cada capa de la



estructura, obteniéndose una lectura de 3.67 kgf/cm² entre la carpeta de rodadura y el sistema bitufor, en la siguiente capa se tiene una lectura de 2.84 kgf/cm² entre la parte superior de la capa base granular y parte inferior del sistema bitufor, continuando con una lectura de 1.61 kgf/cm² entre la parte superior de la sub-base y parte inferior de la base, terminando con una lectura de 1.02 kgf/cm² en la subrasante.

Figura 21.

Esfuerzo del Modelo III (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo III



Nota. El gráfico representa la carga aplicada sobre la carpeta de rodadura de 5.60kgf/cm², el mismo que se disipa mientras pasa por cada capa, representa e esfuerzo del modelo II, (pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura del tramo III), desde la 2+860 hasta la Progresiva 3+600. Parámetros de diseño de carga aplicados en el winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura del tramo III, el cual está comprendido desde la Progresiva 2+860 hasta la Progresiva 3+600, fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², por lo que se aprecia en el grafico la lectura sobre la carpeta de rodadura igual a 5.60 kgf/cm², el cual se va disipando mientras pasa por cada capa de la estructura, obteniéndose una lectura de 4.13 kgf/cm² entre la carpeta de rodadura y el sistema bitufor, en la siguiente capa se tiene una lectura de 3.21 kgf/cm² entre la

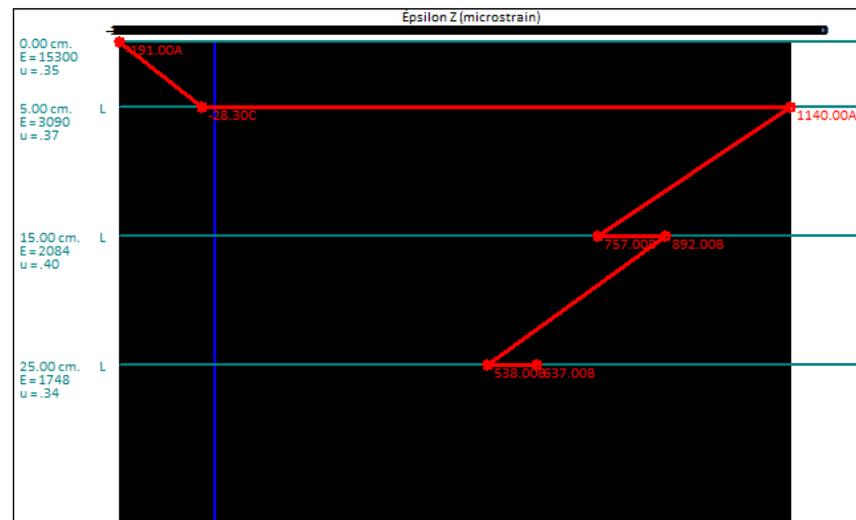


parte superior de la capa base granular y parte inferior del sistema bitufor, continuando con una lectura de 1.77 kgf/cm² entre la parte superior de la sub-base y parte inferior de la base, terminando con una lectura de 1.08 kgf/cm² en la subrasante.

b) DEFORMACIONES (1 microstrain = 10⁻⁶ mm) DEL TRAMO III

Figura 22.

Deformación del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo III



Nota. El gráfico representa la deformación del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo III, desde la Progresiva 2+860 hasta la Progresiva 3+600. Análisis de deformación de la estructura del pavimento mediante winDEPAV.

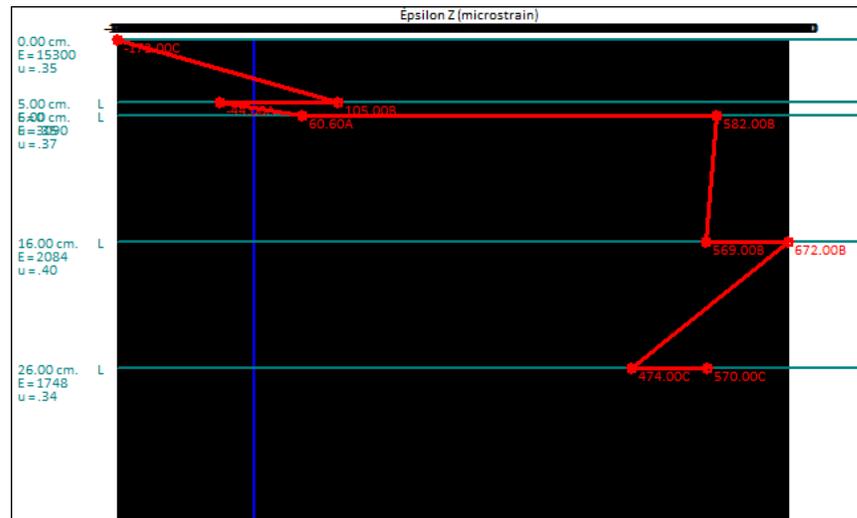
Se puede observar que el pavimento flexible tradicional del tramo III, el cual está comprendido desde la Progresiva 2+860 hasta la Progresiva 3+600, y fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², tiene una deformación de valor negativo en la parte superior de la carpeta de rodadura de -191×10^{-6} mm. Y mientras se va disipando los esfuerzos en cada capa de la estructura, la deformación de la parte superior de la base granular llega a tener una lectura de 1140×10^{-6} mm, continuando con una deformación de 892×10^{-6} mm entre la base y sub-base, para finalmente tener una lectura de deformación en la subrasante de 637×10^{-6} mm.



En el centro de la rueda doble que fue aplicada a la estructura del pavimento flexible, se obtuvo una deflexión vertical total hacia abajo de 0.3811 mm.

Figura 23.

Deformación del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo III



Nota. El gráfico representa la deformación del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo III, desde la Progresiva 2+860 hasta la Progresiva 3+600. Análisis de deformación de la estructura del pavimento mediante winDEPAV.

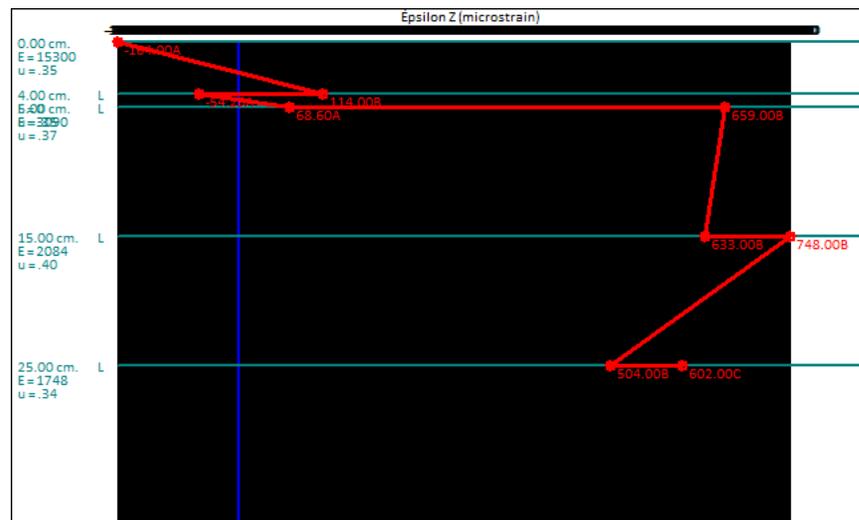
Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor del tramo III, el cual está comprendido desde la Progresiva 2+860 hasta la Progresiva 3+600, y fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², tiene una deformación de valor negativo en la parte superior de la carpeta de rodadura de -172×10^{-6} mm. Y mientras se va disipando los esfuerzos en cada capa de la estructura, la deformación entre la parte superior del sistema bitufor y la parte inferior de la carpeta de rodadura llega a tener una lectura de 105×10^{-6} mm, siguiendo con la lectura entre la base granular y el sistema bitufor se obtiene una deformación de 582×10^{-6} mm, por lo contrario entre la base y sub-base se llega a una deformación de 672×10^{-6} mm, para finalmente tener una lectura de deformación en la subrasante de 570×10^{-6} mm.



En el centro de la rueda doble que fue aplicada a la estructura del pavimento flexible, se obtuvo una deflexión vertical total hacia abajo de 0.3641 mm.

Figura 24.

Deformación del Modelo III Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo III



Nota. El gráfico representa la Deformación del Modelo III Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo III desde la Progresiva 2+860 hasta la Progresiva 3+600. Análisis de deformación de la estructura del pavimento mediante winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura del tramo III, el cual está comprendido desde la Progresiva 2+860 hasta la Progresiva 3+600, y fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², tiene una deformación de valor negativo en la parte superior de la carpeta de rodadura de -164×10^{-6} mm. Y mientras se va disipando los esfuerzos en cada capa de la estructura, la deformación entre la parte superior del sistema bitufor y la parte inferior de la carpeta de rodadura llega a tener una lectura de 114×10^{-6} mm, siguiendo con la lectura entre la base granular y el sistema bitufor se obtiene una deformación de 659×10^{-6} mm, por lo contrario entre la base y sub-base se llega a una deformación de 748×10^{-6} mm, para finalmente tener una lectura de deformación en la subrasante de 602×10^{-6} mm.



En el centro de la rueda doble que fue aplicada a la estructura del pavimento flexible, se obtuvo una deflexión vertical total hacia abajo de 0.3775 mm.

➤ **TRAMO IV (PROG. 3+600 – 8+050):**

Tabla 32.

Propiedades mecánicas de la estructura del pavimento incluido el sistema bitufor del TRAMO IV:

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)	RELACION DE POISSON
CAPA DE RODADURA	15,300.00	0.35
SISTEMA BITUFOR	2,039,432.43	0.35
BASE	2,589.81	0.34
SUB-BASE	1,961.42	0.38
SUB RASANTE	1,360.66	0.27

Nota. Propiedades mecánicas de la estructura del pavimento tramo IV. Elaboración propia.

En la tabla anterior, se da a conocer las propiedades mecánicas que componen la estructura del pavimento flexible del TRAMO IV. Y a continuación se realiza el análisis del comportamiento del pavimento flexible en los 3 modelos propuestos:



a) ESFUERZOS (kgf/cm²) DEL TRAMO IV

Figura 25.

Esfuerzo del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo IV



Nota. El gráfico representa la carga aplicada sobre la carpeta de rodadura de 5.60kgf/cm², el mismo que se disipa mientras pasa por cada capa, en el tramo IV (Pavimento flexible tradicional), desde la Progresiva 3+600 hasta la Progresiva 8+050. Parámetros de diseño de carga aplicados en el winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional del tramo IV el cual está comprendido desde la Progresiva 3+600 hasta la Progresiva 8+050, fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², por lo que se aprecia en el grafico la lectura sobre la carpeta de rodadura igual a 5.60 kgf/cm², el cual se va disipando mientras pasa por cada capa de la estructura, teniéndose una lectura de 4.26 kgf/cm² en la parte superior de la capa base granular, continuando con una lectura de 2.00 kgf/cm² entre la parte superior de la sub-base y parte inferior de la base, terminando con una lectura de 0.75 kgf/cm² en la subrasante.



Figura 26. Esfuerzo del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo IV



Nota. El gráfico representa la carga aplicada sobre la carpeta de rodadura de 5.60kgf/cm², el mismo que se disipa mientras pasa por cada capa, en el tramo IV, al aplicar el esfuerzo del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor), **desde la Progresiva 3+600 hasta la Progresiva 8+050.** Parámetros de diseño de carga aplicados en el winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor del tramo IV el cual está comprendido desde la Progresiva 3+600 hasta la Progresiva 8+050, fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², por lo que se aprecia en el grafico la lectura sobre la carpeta de rodadura igual a 5.60 kgf/cm², el cual se va disipando mientras pasa por cada capa de la estructura, obteniéndose una lectura de 3.58 kgf/cm² entre la carpeta de rodadura y el sistema bitufor, en la siguiente capa se tiene una lectura de 2.69 kgf/cm² entre la parte superior de la capa base granular y parte inferior del sistema bitufor, continuando con una lectura de 1.56 kgf/cm² entre la parte superior de la sub-base y parte inferior de la base, terminando con una lectura de 0.70 kgf/cm² en la subrasante.



Figura 27. Esfuerzo del Modelo III (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo IV



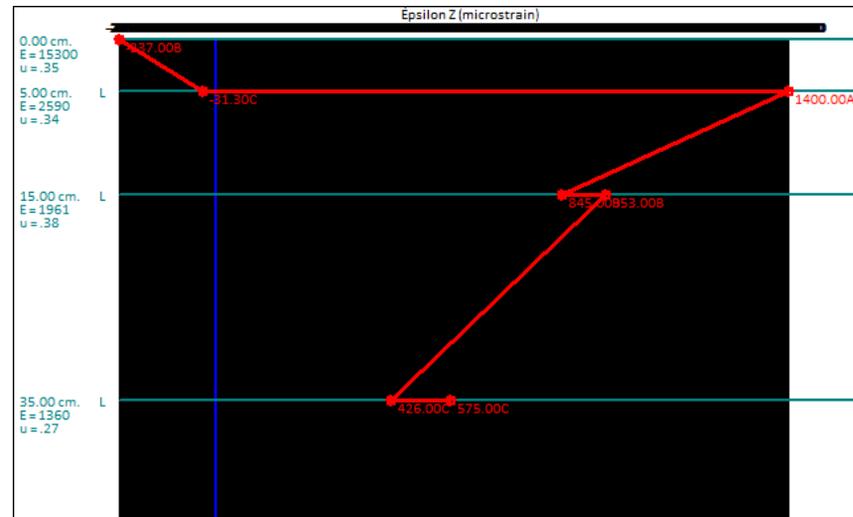
Nota. El gráfico representa la carga aplicada sobre la carpeta de rodadura de 5.60kgf/cm², el mismo que se disipa mientras pasa por cada capa, en el tramo IV, al aplicar el esfuerzo del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura), **desde la Progresiva 3+600 hasta la Progresiva 8+050**. Parámetros de diseño de carga aplicados en el winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura del tramo IV, el cual está comprendido desde la Progresiva 3+600 hasta la Progresiva 8+050, fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², por lo que se aprecia en el gráfico la lectura sobre la carpeta de rodadura igual a 5.60 kgf/cm², el cual se va disipando mientras pasa por cada capa de la estructura, obteniéndose una lectura de 4.04 kgf/cm² entre la carpeta de rodadura y el sistema bitufor, en la siguiente capa se tiene una lectura de 3.06 kgf/cm² entre la parte superior de la capa base granular y parte inferior del sistema bitufor, continuando con una lectura de 1.72 kgf/cm² entre la parte superior de la sub-base y parte inferior de la base, terminando con una lectura de 0.73 kgf/cm² en la subrasante.



b) DEFORMACIONES (1 microstrain = 10^{-6} mm) DEL TRAMO IV

Figura 28. Deformación del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo IV



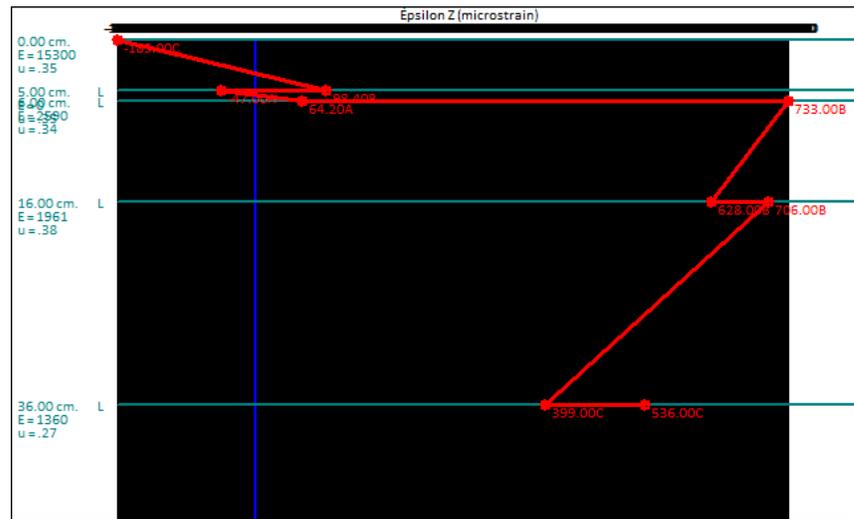
Nota. El gráfico representa la Deformación del Modelo I (Pavimento flexible tradicional) del tramo IV, desde la Progresiva 3+600 hasta la Progresiva 8+050. Análisis de deformación de la estructura del pavimento mediante winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional del tramo IV, el cual está comprendido desde la Progresiva 3+600 hasta la Progresiva 8+050, y fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², tiene una deformación de valor negativo en la parte superior de la carpeta de rodadura de -237×10^{-6} mm. Y mientras se va disipando los esfuerzos en cada capa de la estructura, la deformación de la parte superior de la base granular llega a tener una lectura de 1400×10^{-6} mm, continuando con una deformación de 953×10^{-6} mm entre la base y sub-base, para finalmente tener una lectura de deformación en la subrasante de 575×10^{-6} mm.

En el centro de la rueda doble que fue aplicada a la estructura del pavimento flexible, se obtuvo una deflexión vertical total hacia abajo de 0.4424 mm.



Figura 29. Deformación del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo IV



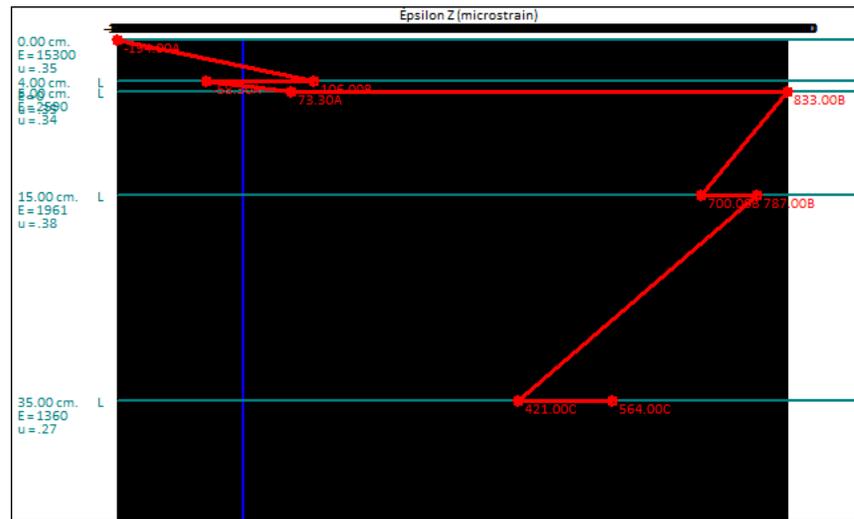
Nota. El gráfico representa la Deformación del Modelo II (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor) del tramo IV, desde la Progresiva 3+600 hasta la Progresiva 8+050. Análisis de deformación de la estructura del pavimento mediante winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor del tramo IV, el cual está comprendido desde la Progresiva 3+600 hasta la Progresiva 8+050, y fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², tiene una deformación de valor negativo en la parte superior de la carpeta de rodadura de -189×10^{-6} mm. Y mientras se va disipando los esfuerzos en cada capa de la estructura, la deformación entre la parte superior del sistema bitufor y la parte inferior de la carpeta de rodadura llega a tener una lectura de 98.4×10^{-6} mm, siguiendo con la lectura entre la base granular y el sistema bitufor se obtiene una deformación de 733×10^{-6} mm, por lo contrario entre la base y sub-base se llega a una deformación de 706×10^{-6} mm, para finalmente tener una lectura de deformación en la subrasante de 536×10^{-6} mm.

En el centro de la rueda doble que fue aplicada a la estructura del pavimento flexible, se obtuvo una deflexión vertical total hacia abajo de 0.4185 mm.



Figura 30. Deformación del Modelo III Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo IV



Nota. El gráfico representa la Deformación del Modelo III (Pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura) del tramo IV, desde la Progresiva 3+600 hasta la Progresiva 8+050. Análisis de deformación de la estructura del pavimento mediante winDEPAV.

Se puede observar que el pavimento flexible tradicional + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura del tramo IV, el cual está comprendido desde la Progresiva 3+600 hasta la Progresiva 8+050, y fue sometido a una carga inicial de 5.60 kgf/cm², tiene una deformación de valor negativo en la parte superior de la carpeta de rodadura de -194×10^{-6} mm. Y mientras se va disipando los esfuerzos en cada capa de la estructura, la deformación entre la parte superior del sistema bitufor y la parte inferior de la carpeta de rodadura llega a tener una lectura de 106×10^{-6} mm, siguiendo con la lectura entre la base granular y el sistema bitufor se obtiene una deformación de 833×10^{-6} mm, por lo contrario entre la base y sub-base se llega a una deformación de 787×10^{-6} mm, para finalmente tener una lectura de deformación en la subrasante de 564×10^{-6} mm.

En el centro de la rueda doble que fue aplicada a la estructura del pavimento flexible, se obtuvo una deflexión vertical total hacia abajo de 0.4343 mm.



4.1.2. Los resultados obtenidos con respecto al objetivo específico 1: “Diagnosticar la condición actual de los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña - 2022”, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Diagnóstico de la situación Actual

Figura 31.

Falla por Deformación



Nota. EL gráfico representa el nivel de falla por deformación. Elaboración propia.

En el presente gráfico se exponen los resultados obtenidos de la aplicación de la guía de observación en los que habiendo identificado 10 puntos clave (km 0+000, km 1+090, km 2+180, km 2+520, km2+280, km 3+260, km +3+600, km 4+200, km 5+820, y km 8+040); se han evaluado los niveles de falla por tipo de falla por Deformación que existen en cada punto clave. Tal es así que el nivel de falla por Huellas/hundimiento sensible al usuario, pero <5cm, obtuvo una cantidad de 3 fallas identificadas; mientras que el nivel de fallas por huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm se obtuvo una cantidad



de 4 fallas identificadas, por otro lado, el nivel de fallas por Huella /hundimiento entre $\geq 10\text{cm}$ se identificó a 3 fallas que presentan dichas características. Siendo predominante el nivel de falla por Deformación la identificación de huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm. Esto puede deberse a que la carretera presenta desgaste en la superficie de rodadura, lo que facilita el deterioro mucho más avanzado de la estructura del pavimento a nivel de afirmado.

Figura 32.

Falla por erosión



Nota. EL gráfico representa el nivel de falla por erosión. Elaboración propia.

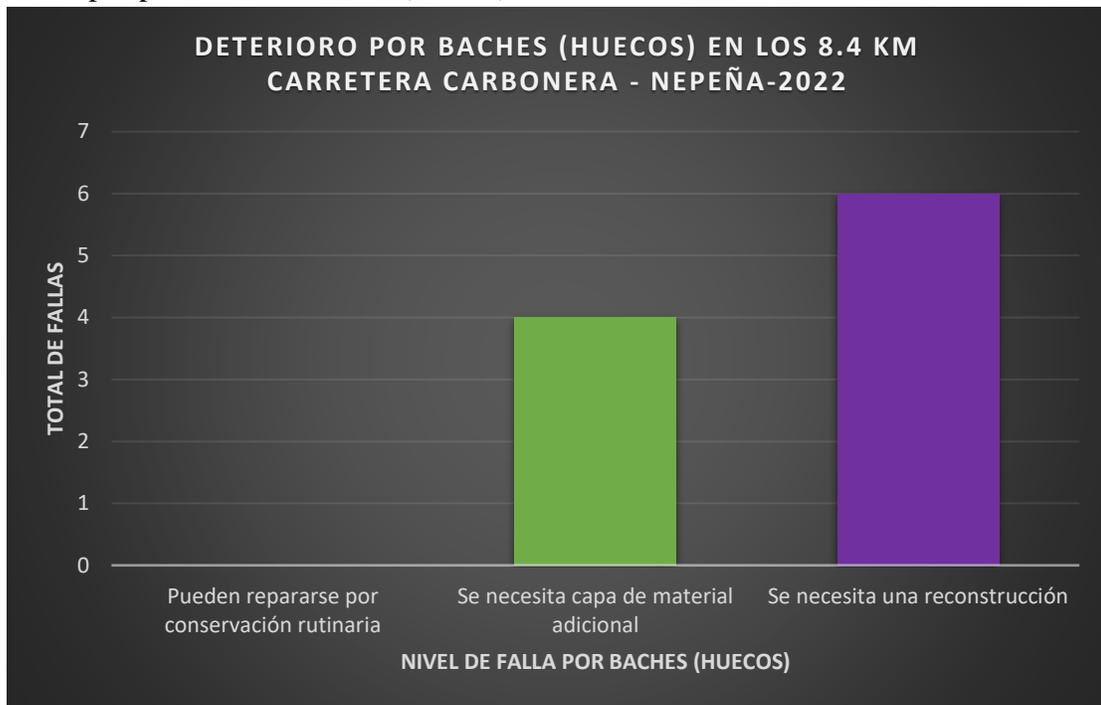
En el presente gráfico se exponen los resultados obtenidos de la aplicación de la guía de observación en los que habiendo identificado 10 puntos clave (km 0+000, km 1+090, km 2+180, km 2+520, km 2+280, km 3+260, km +3+600, km 4+200, km 5+820, y km 8+040); se han evaluado los niveles de falla por tipo de falla por Deformación que existen en cada punto clave. Siendo que el nivel de falla denominado “Sensible al usuario”, pero profundidad $< 5\text{cm}$ ”, obtuvo una cantidad de 2 fallas identificadas;



mientras que el nivel de falla denominado “Profundidad entre 5cm y 10cm” obtuvo una cantidad de 5 fallas identificadas, por otro lado, el nivel de falla denominado “Profundidad $d > 10\text{cm}$ ”, se identificó a 3 fallas que presentan dichas características. Siendo el nivel predominante el nivel de falla por erosión con profundidades entre 5cm y 10 cm. Esto puede deberse a que la carretera no ha presentado mantenimiento y se encuentra en pésimas condiciones para el tránsito.

Figura 33.

Falla por presencia de baches (huecos)



Nota. EL gráfico representa el nivel de falla por presencia de baches. Elaboración propia.

En el presente gráfico se exponen los resultados obtenidos de la aplicación de la guía de observación en los que habiendo identificado 10 puntos clave (km 0+000, km 1+090, km 2+180, km 2+520, km2+280, km 3+260, km +3+600, km 4+200, km 5+820, y km 8+040); se han evaluado los niveles de falla en el tipo de deterioro por Baches (huecos)



que existen en cada punto clave. Siendo que el nivel de fallas encontradas que “Pueden repararse por conservación rutinaria”, no se identificó ninguna, por otro lado el nivel de falla en que “Se necesita capa material adicional”, se identificó 4 tramos. Con respecto al nivel de falla en los que “Se necesita una reconstrucción”, se identificó 6 tramos que necesitan urgente reconstrucción de la estructura del pavimento debido al desgaste. afirmado. Siendo el nivel predominante el nivel de falla en los que “Se necesita una reconstrucción”. Esto puede deberse a que la carretera no ha presentado mantenimiento y la estructura de la capa de rodadura ha desaparecido por completo en ciertos tramos identificados para el presente cuadro.

Figura 34.

Falla por Encalaminado



Nota. El gráfico representa el nivel de falla por Encalaminado. Elaboración propia.

Para el presente gráfico se exponen los resultados obtenidos de la aplicación de la guía de observación en los que habiendo identificado 10 puntos clave (km 0+000, km 1+090, km 2+180, km 2+520, km2+280, km 3+260, km +3+600, km 4+200, km 5+820, y km 8+040); se han evaluado los niveles de falla por Encalaminado; que existen en cada punto clave. Siendo que el nivel de falla denominado “Sensible al usuario”, pero



profundidad < 5cm”, obtuvo una cantidad de 0 fallas identificadas; mientras que el nivel de falla denominado “Profundidad entre 5cm y 10cm” obtuvo una cantidad de 2 fallas identificadas, por otro lado, el nivel de falla denominado “Profundidad d>10cm”, se identificó a 8 fallas que presentan dichas características. Siendo el nivel predominante el nivel de falla denominado “Profundidad d>10cm”. Esto puede deberse al deterioro de la capa de rodadura, debido a la falta de mantenimiento, y al tránsito vehicular perenne en dicha carretera.

4.1.3. Los resultados obtenidos con respecto al objetivo específico 2:

“Identificar las características mecánicas de suelos y estudio de tráfico en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022”, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

A) CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE SUELOS

- Granulometría

Tabla 33. Porcentaje de Material Grueso y Fino

Ítem	%Gravas (3”-#4)	%Arenas (#4-#200)	%Finos (<#200)
C1	27.49%	64.25%	8.26%
C2	21.29%	77.16%	1.55%
C3	18.73%	78.35%	2.92%
C4	12.21%	80.93%	6.86%
C5	25.70%	46.90%	27.40%
C6	30.58%	66.91%	2.51%
C7	9.70%	89.30%	1.00%
C8	2.95%	95.67%	1.38%
C9	1.93%	96.13%	1.94%
C10	3.31%	88.88%	7.81%
C11	5.41%	88.21%	6.38%
C12	5.10%	90.60%	4.30%
C13	5.53%	87.92%	6.55%

Nota: Resultados de Porcentaje de material grueso y fino. MTC, Manual de ensayo de materiales (2016, p. 45)



- **Contenido de Humedad**

Tabla 34. *Contenido de Humedad*

Ítem	% Humedad
C1	3.079%
C2	3.692%
C3	3.989%
C4	3.652%
C5	3.552%
C6	4.471%
C7	2.925%
C8	3.473%
C9	2.925%
C10	3.589%
C11	3.518%
C12	3.004%
C13	2.792%

Nota: *Resultado de Contenidos de humedad.* MTC, Manual de ensayo de materiales (2016, p. 45)

- **Límites de Atterberg**

Tabla 35. *Valores de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad*

Ítem	Limite Líquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
C1	No Presenta	No Presenta	No Presenta
C2	No Presenta	No Presenta	No Presenta
C3	No Presenta	No Presenta	No Presenta
C4	No Presenta	No Presenta	No Presenta
C5	No Presenta	No Presenta	No Presenta
C6	No Presenta	No Presenta	No Presenta
C7	No Presenta	No Presenta	No Presenta
C8	No Presenta	No Presenta	No Presenta
C9	No Presenta	No Presenta	No Presenta
C10	No Presenta	No Presenta	No Presenta
C11	No Presenta	No Presenta	No Presenta
C12	No Presenta	No Presenta	No Presenta
C13	No Presenta	No Presenta	No Presenta

Nota: *Resultados de valores de limites líquidos, limite plástico e índice de plasticidad..* MTC, Manual de ensayo de materiales (2016, p. 45)



- **Clasificación SUCS y AASHTO**

Tabla 36. *Tipos de suelos en base a clasificación SUCS y AASHTO*

Ítem	SUCS	AASHTO
C1	SP-SM	A-1-b(0)
C2	SW	A-1-b(0)
C3	SP	A-1-b(0)
C4	SP-SM	A-1-b(0)
C5	SM	A-2-4
C6	SP	A-1-b(0)
C7	SP	A-1-b(0)
C8	SW	A-1-b(0)
C9	SP	A-1-b(0)
C10	SP-SM	A-1-b(0)
C11	SP-SM	A-1-b(0)
C12	SW	A-1-b(0)
C13	SW-SM	A-1-b(0)

Nota. Tipos de suelos en base a clasificación. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures / Diseño AASHTO 1993.

- **Proctor Modificado y CBR**

Tabla 37. *Valores de máxima densidad seca, optimo contenido de humedad y CBR*

Ítem	MAX. DEN. SECA (gr/cm ³)	OPTIMO % HUMEDAD	% CBR
C1	2.10	8.10	32.00
C2	1.98	8.00	28.50
C3	1.90	7.60	25.00
C4	1.94	7.00	27.80
C5	1.76	8.60	12.80
C6	2.05	7.00	35.00
C7	1.96	7.40	23.10
C8	1.89	8.00	24.20
C9	1.86	7.30	22.30
C10	1.83	7.50	20.00
C11	1.90	7.50	23.20
C12	1.88	7.60	25.00
C13	1.94	7.00	27.80

Nota. Resultados de valores de máxima densidad seca. Óptimo contenido de humedad y CBR. Norma MTC E115.



B) ESTUDIO DE TRÁFICO VEHICULAR

- Determinación del IMDS y IMDA

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 38. Resumen del cálculo del IMDs y IMDa

PARAMETROS	TIPO DE VEHICULOS		TOTAL
	VEHICULO LIGERO	VEHICULO PESADO	
IMDs	76	9	85
Fe	1.0335	0.9527	
IMDa	78	8	86

Nota. Conteo Vehicular IMDS vehículos /día. Elaboración propia.

El índice medio diario semanal (IMDS), obtenido del conteo vehicular es de 85 vehículos/día, y de la misma manera el índice medio diario anual (IMDA), después de realizado el conteo en la zona de estudios es de 86 vehículos/día.

- Determinación del IMDA proyectado

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 39. Índice medio diario anual proyectado (IMDap)

PARAMETROS	TIPO DE VEHICULOS		TOTAL
	VEHICULO LIGERO	VEHICULO PESADO	
IMDa	76	9	85
r	3.28%	4.50%	
n	10	10	
IMDp	104	11	115

Nota. Conteo Vehicular IMDAp vehículos /día. Elaboración propia.

El índice medio diario anual proyectado (IMDp), obtenido del conteo vehicular es de 115 vehículos/día, para un n = 10 años de proyección en la ejecución del proyecto.



4.1.4. Los resultados obtenidos con respecto al objetivo específico 3: “Dar a conocer el diseño técnico de pavimento flexible enfocado en el sistema Bitufor para los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña -2022.”, fueron los siguientes:

Diseño de pavimento flexible con el sistema bitufor.

Después de haber obtenido los espesores de los pavimentos flexibles realizando el diseño por el método AASHTO 93, se aplica el sistema bitufor para el mismo pavimento flexible, el cual reduce el espesor de la capa de desgaste en un 20%. Para posteriormente evaluar mediante el software WinDEPAV, como se comportó dicho pavimento. Se realizó 3 modelos para su evaluación de cada tramo, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 40. Variable y cálculo de los espesores del tramo I y tramo III

TRAMO I (PROG. 0+000 – 2+180):			
VARIABLES	MODELO 1 (Pav. Flexible tradicional)	MODELO 2 (Pav. Flexible tradicional + Sist. Bit.)	MODELO 3 (Pav. Flexible tradicional + Sist. Bit. - 20%)
CAPA DE RODADURA	5.00 cm	5.00 cm	4.00 cm
SISTEMA BITUFOR	0.00 cm	1.00 cm	1.00 cm
BASE	10.00 cm	10.00 cm	10.00 cm
SUB-BASE	10.00 cm	10.00 cm	10.00 cm

Nota. Tramos y cálculo de espesores, tramo I y III. Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla N° 32, se aplicó 3 modelos:

- Donde el modelo 1 (Pavimento flexible tradicional) se determinó mediante la guía AASTHO 93.
- El modelo 2, es el Pavimento flexible tradicional adicionando el sistema bitufor sin reducción de la capa de rodadura.
- En el modelo 3 se aplica al pavimento flexible tradicional, el sistema bitufor, reduciendo en un 20% o en 1 cm la capa de rodadura.



Tabla 41. Variable y cálculo de los espesores del tramo II

TRAMO II (PROG. 2+180 – 2+860)			
VARIABLES	MODELO 1 (Pav. Flexible tradicional)	MODELO 2 (Pav. Flexible tradicional + Sist. Bit.)	MODELO 3 (Pav. Flexible tradicional + Sist. Bit. - 20%)
CAPA DE RODADURA	5.00 cm	5.00 cm	4.00 cm
SISTEMA BITUFOR	0.00 cm	1.00 cm	1.00 cm
BASE	10.00 cm	10.00 cm	10.00 cm
SUB-BASE	20.00 cm	20.00 cm	20.00 cm

Nota. Tramos y cálculo de espesores, tramo II. Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla N° 33, se aplicó 3 modelos:

- Donde el modelo 1 (Pavimento flexible tradicional) se determinó mediante la guía AASTHO 93.
- El modelo 2, es el Pavimento flexible tradicional adicionando el sistema bitufor sin reducción de la capa de rodadura.
- En el modelo 3 se aplica al pavimento flexible tradicional, el sistema bitufor, reduciendo en un 20% o en 1 cm la capa de rodadura.

Tabla 42. Variable y cálculo de los espesores del tramo III

TRAMO III (PROG. 2+860 – 3+600)			
VARIABLES	MODELO 1 (Pav. Flexible tradicional)	MODELO 2 (Pav. Flexible tradicional + Sist. Bit.)	MODELO 3 (Pav. Flexible tradicional + Sist. Bit. - 20%)
CAPA DE RODADURA	5.00 cm	5.00 cm	4.00 cm
SISTEMA BITUFOR	0.00 cm	1.00 cm	1.00 cm
BASE	10.00 cm	10.00 cm	10.00 cm
SUB-BASE	10.00 cm	10.00 cm	10.00 cm

Nota. Tramos y cálculo de espesores, tramo III. Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla N° 34, se aplicó 3 modelos:

- Donde el modelo 1 (Pavimento flexible tradicional) se determinó mediante la guía AASTHO 93.
- El modelo 2, es el Pavimento flexible tradicional adicionando el sistema bitufor sin reducción de la capa de rodadura.



- En el modelo 3 se aplica al pavimento flexible tradicional, el sistema bitufor, reduciendo en un 20% o en 1 cm la capa de rodadura.

Tabla 43. Variable y cálculo de los espesores del tramo IV

TRAMO IV (PROG. 3+600 – 8+050)			
VARIABLES	MODELO 1 (Pav. Flexible tradicional)	MODELO 2 (Pav. Flexible tradicional + Sist. Bit.)	MODELO 3 (Pav. Flexible tradicional + Sist. Bit. - 20%)
CAPA DE RODADURA	5.00 cm	5.00 cm	4.00 cm
SISTEMA BITUFOR	0.00 cm	1.00 cm	1.00 cm
BASE	10.00 cm	10.00 cm	10.00 cm
SUB-BASE	20.00 cm	20.00 cm	20.00 cm

Nota. Tramos y cálculo de espesores, tramo IV. Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla N° 35, se aplicó 3 modelos:

- Donde el modelo 1 (Pavimento flexible tradicional) se determinó mediante la guía AASTHO 93.
- El modelo 2, es el Pavimento flexible tradicional adicionando el sistema bitufor sin reducción de la capa de rodadura.
- En el modelo 3 se aplica al pavimento flexible tradicional, el sistema bitufor, reduciendo en un 20% o en 1 cm la capa de rodadura.

4.1.5. Los resultados obtenidos con respecto al objetivo específico 4 “Dar a conocer la diferencia económica entre un pavimento tradicional y uno aplicando el sistema Bitufor en los 8.4 km carretera Carbonera – Nepeña - 2022”, fueron los siguientes:

A continuación, se muestra los costos generados por los 3 modelos propuestos de cada tramo de carretera:



4.1.5.1. TRAMO I (PROG. 0+000 – 2+180)

Tabla 44. Presupuesto de los 3 modelos propuestos del TRAMO I

TRAMO I - PROGRESIVA 0+000 HASTA 2+180					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	PAVIMENTO FLEXIBLE TRADICIONAL				S/. 1,027,617.12
01.01	SUB BASE GRANULAR e=10cm	m2	15,696.00	9.73	S/. 152,722.08
01.02	BASE GRANULAR e=10cm	m2	15,696.00	9.73	S/. 152,722.08
01.03	IMPRIMACION ASFALTICA MC-30	m2	15,696.00	6.89	S/. 108,145.44
01.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2”	m2	15,696.00	39.12	S/. 614,027.52
02	PAVIMENTO FLEXIBLE TRADICIONAL + SISTEMA BITUFOR				S/. 1,471,343.04
02.01	SUB BASE GRANULAR e=10cm	m2	15,696.00	9.73	S/. 152,722.08
02.02	BASE GRANULAR e=10cm	m2	15,696.00	9.73	S/. 152,722.08
02.03	SLURRY SEAL e=0.01m	m2	15,696.00	16.51	S/. 259,140.96
02.04	COLOCACION DE MALLA DE ACERO DE REFUERZO MESH TRACK	m2	15,696.00	11.76	S/. 184,584.96
02.05	IMPRIMACION ASFALTICA MC-30	m2	15,696.00	6.89	S/. 108,145.44
02.06	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2”	m2	15,696.00	39.12	S/. 614,027.52
03	PAVIMENTO FLEXIBLE TRADICIONAL + SISTEMA BITUFOR – 20%				S/. 1,416,877.92
03.01	SUB BASE GRANULAR e=10cm	m2	15,696.00	9.73	S/. 152,722.08
03.02	BASE GRANULAR e=10cm	m2	15,696.00	9.73	S/. 152,722.08
03.03	SLURRY SEAL e=0.01m	m2	15,696.00	16.51	S/. 259,140.96
03.04	COLOCACION DE MALLA DE ACERO DE REFUERZO MESH TRACK	m2	15,696.00	11.76	S/. 184,584.96
03.05	IMPRIMACION ASFALTICA MC-30	m2	15,696.00	6.89	S/. 108,145.44
03.06	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 4cm	m2	15,696.00	35.65	S/. 559,562.40

Nota. Elaboración de presupuesto comparativo del TRAMO I. Elaboración propia.

En la tabla se visualiza los tres modelos planteados para el TRAMO I, donde se muestra que la base granular, sub-base granular e imprimación se mantienen y no varían sus precios, porque sus dimensiones y espesores no cambian. De igual manera se puede apreciar que en el Modelo II “pavimento flexible + sistema bitufor (slurry seal + mesh track)” el presupuesto aumentó en un 43.18% con respecto al Modelo I “pavimento flexible tradicional”. Por otro lado, el Modelo III “pavimento flexible + sistema bitufor (slurry seal + mesh track) – 20% de espesor de la carpeta de rodadura” aumento el presupuesto en un 37.88% con respecto al costo total del Modelo I “pavimento flexible”. En resumen, el Modelo II y Modelo III aumentaron su presupuesto con respecto al Modelo I.



4.1.5.2. TRAMO II (PROG. 2+180 – 2+860)

Tabla 45. Presupuesto de los 3 modelos propuestos del TRAMO II

TRAMO II - PROGRESIVA 2+180 HASTA 2+860					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	PAVIMENTO FLEXIBLE TRADICIONAL				S/. 344,041.92
01.01	SUB BASE GRANULAR e=20cm	m2	4,896.00	14.53	S/. 71,138.88
01.02	BASE GRANULAR e=10cm	m2	4,896.00	9.73	S/. 47,638.08
01.03	IMPRIMACION ASFALTICA MC-30	m2	4,896.00	6.89	S/. 33,733.44
01.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2”	m2	4,896.00	39.12	S/. 191,531.52
02	PAVIMENTO FLEXIBLE TRADICIONAL + SISTEMA BITUFOR				S/. 482,451.84
02.01	SUB BASE GRANULAR e=20cm	m2	4,896.00	14.53	S/. 71,138.88
02.02	BASE GRANULAR e=10cm	m2	4,896.00	9.73	S/. 47,638.08
02.03	SLURRY SEAL e=0.01m	m2	4,896.00	16.51	S/. 80,832.96
02.04	COLOCACION DE MALLA DE ACERO DE REFUERZO MESH TRACK	m2	4,896.00	11.76	S/. 57,576.96
02.05	IMPRIMACION ASFALTICA MC-30	m2	4,896.00	6.89	S/. 33,733.44
02.06	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2”	m2	4,896.00	39.12	S/. 191,531.52
03	PAVIMENTO FLEXIBLE TRADICIONAL + SISTEMA BITUFOR – 20%				S/. 465,462.72
03.01	SUB BASE GRANULAR e=20cm	m2	4,896.00	14.53	S/. 71,138.88
03.02	BASE GRANULAR e=10cm	m2	4,896.00	9.73	S/. 47,638.08
03.03	SLURRY SEAL e=0.01m	m2	4,896.00	16.51	S/. 80,832.96
03.04	COLOCACION DE MALLA DE ACERO DE REFUERZO MESH TRACK	m2	4,896.00	11.76	S/. 57,576.96
03.05	IMPRIMACION ASFALTICA MC-30	m2	4,896.00	6.89	S/. 33,733.44
03.06	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 4cm	m2	4,896.00	35.65	S/. 174,542.40

Nota. Elaboración de presupuesto comparativo del TRAMO II. Elaboración propia.

En la tabla se visualiza los tres modelos planteados para el TRAMO II, donde se muestra que la base granular, sub-base granular e imprimación se mantienen y no varían sus precios, porque sus dimensiones y espesores no cambian. De igual manera se puede apreciar que en el Modelo II “pavimento flexible + sistema bitufor (slurry seal + mesh track)” el presupuesto aumentó en un 40.23% con respecto al Modelo I “pavimento flexible tradicional”. Por otro lado, el Modelo III “pavimento flexible + sistema bitufor (slurry seal + mesh track) – 20% de espesor de la carpeta de rodadura” aumento el presupuesto en un 35.29% con respecto al costo total del Modelo I “pavimento flexible”. En resumen, el Modelo II y Modelo III aumentaron su presupuesto con respecto al Modelo I.



4.1.5.3. TRAMO III (PROG. 2+860 – 3+600)

Tabla 46. Presupuesto de los 3 modelos propuestos del TRAMO III

TRAMO III - PROGRESIVA 2+860 HASTA 3+600					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	PAVIMENTO FLEXIBLE TRADICIONAL				S/. 348,824.16
01.01	SUB BASE GRANULAR e=10cm	m2	5,328.00	9.73	S/. 51,841.44
01.02	BASE GRANULAR e=10cm	m2	5,328.00	9.73	S/. 51,841.44
01.03	IMPRIMACION ASFALTICA MC-30	m2	5,328.00	6.89	S/. 36,709.92
01.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2”	m2	5,328.00	39.12	S/. 208,431.36
02	PAVIMENTO FLEXIBLE TRADICIONAL + SISTEMA BITUFOR				S/. 499,446.72
02.01	SUB BASE GRANULAR e=20cm	m2	5,328.00	14.53	S/. 51,841.44
02.02	BASE GRANULAR e=10cm	m2	5,328.00	9.73	S/. 51,841.44
02.03	SLURRY SEAL e=0.01m	m2	5,328.00	16.51	S/. 87,965.28
02.04	COLOCACION DE MALLA DE ACERO DE REFUERZO MESH TRACK	m2	5,328.00	11.76	S/. 62,657.28
02.05	IMPRIMACION ASFALTICA MC-30	m2	5,328.00	6.89	S/. 36,709.92
02.06	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2”	m2	5,328.00	39.12	S/. 208,431.36
03	PAVIMENTO FLEXIBLE TRADICIONAL + SISTEMA BITUFOR – 20%				S/. 465,462.72
03.01	SUB BASE GRANULAR e=20cm	m2	5,328.00	14.53	S/. 51,841.44
03.02	BASE GRANULAR e=10cm	m2	5,328.00	9.73	S/. 51,841.44
03.03	SLURRY SEAL e=0.01m	m2	5,328.00	16.51	S/. 87,965.28
03.04	COLOCACION DE MALLA DE ACERO DE REFUERZO MESH TRACK	m2	5,328.00	11.76	S/. 62,657.28
03.05	IMPRIMACION ASFALTICA MC-30	m2	5,328.00	6.89	S/. 36,709.92
03.06	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 4cm	m2	5,328.00	35.65	S/. 189,943.20

Nota. Elaboración de presupuesto comparativo del TRAMO III. Elaboración propia.

En la tabla se visualiza los tres modelos planteados para el TRAMO III, donde se muestra que la base granular, sub-base granular e imprimación se mantienen y no varían sus precios, porque sus dimensiones y espesores no cambian. De igual manera se puede apreciar que en el Modelo II “pavimento flexible + sistema bitufor (slurry seal + mesh track)” el presupuesto aumentó en un 43.18% con respecto al Modelo I “pavimento flexible tradicional”. Por otro lado, el Modelo III “pavimento flexible + sistema bitufor (slurry seal + mesh track) – 20% de espesor de la carpeta de rodadura” aumento el presupuesto en un 33.44% con respecto al costo total del Modelo I “pavimento flexible”. En resumen, el Modelo II y Modelo III aumentaron su presupuesto con respecto al Modelo I.



4.1.5.4. TRAMO IV (PROG. 3+600 – 8+050)

Tabla 47. Presupuesto de los 3 modelos propuestos del TRAMO IV

TRAMO IV - PROGRESIVA 3+600 HASTA 8+050					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	PAVIMENTO FLEXIBLE TRADICIONAL				S/. 2,251,450.80
01.01	SUB BASE GRANULAR e=20cm	m2	32,040.00	14.53	S/. 465,541.20
01.02	BASE GRANULAR e=10cm	m2	32,040.00	9.73	S/. 311,749.20
01.03	IMPRIMACION ASFALTICA MC-30	m2	32,040.00	6.89	S/. 220,755.60
01.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2”	m2	32,040.00	39.12	S/. 1,253,404.80
02	PAVIMENTO FLEXIBLE TRADICIONAL + SISTEMA BITUFOR				S/. 3,157,221.60
02.01	SUB BASE GRANULAR e=20cm	m2	32,040.00	14.53	S/. 465,541.20
02.02	BASE GRANULAR e=10cm	m2	32,040.00	9.73	S/. 311,749.20
02.03	SLURRY SEAL e=0.01m	m2	32,040.00	16.51	S/. 528,980.40
02.04	COLOCACION DE MALLA DE ACERO DE REFUERZO MESH TRACK	m2	32,040.00	11.76	S/. 376,790.40
02.05	IMPRIMACION ASFALTICA MC-30	m2	32,040.00	6.89	S/. 220,755.60
02.06	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2”	m2	32,040.00	39.12	S/. 1,253,404.80
03	PAVIMENTO FLEXIBLE TRADICIONAL + SISTEMA BITUFOR – 20%				S/. 3,046,042.80
03.01	SUB BASE GRANULAR e=20cm	m2	32,040.00	14.53	S/. 465,541.20
03.02	BASE GRANULAR e=10cm	m2	32,040.00	9.73	S/. 311,749.20
03.03	SLURRY SEAL e=0.01m	m2	32,040.00	16.51	S/. 528,980.40
03.04	COLOCACION DE MALLA DE ACERO DE REFUERZO MESH TRACK	m2	32,040.00	11.76	S/. 376,790.40
03.05	IMPRIMACION ASFALTICA MC-30	m2	32,040.00	6.89	S/. 220,755.60
03.06	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 4cm	m2	32,040.00	35.65	S/. 1,142,226.00

Nota. Elaboración de presupuesto comparativo del TRAMO IV. Elaboración propia.

En la tabla se visualiza los tres modelos planteados para el TRAMO IV, donde se muestra que la base granular, sub-base granular e imprimación se mantienen y no varían sus precios, porque sus dimensiones y espesores no cambian. De igual manera se puede apreciar que en el Modelo II “pavimento flexible + sistema bitufor (slurry seal + mesh track)” el presupuesto aumentó en un 40.23% con respecto al Modelo I “pavimento flexible tradicional”. Por otro lado, el Modelo III “pavimento flexible + sistema bitufor (slurry seal + mesh track) – 20% de espesor de la carpeta de rodadura” aumento el presupuesto en un 35.29 % con respecto al costo total del Modelo I “pavimento flexible”. En resumen, el Modelo II y Modelo III aumentaron su presupuesto con respecto al Modelo I.



4.2. DISCUSIÓN

- Vallejos & Vásquez (2020), en la investigación “Uso del sistema bitufor en la reducción de las patologías del pavimento flexible de las avenidas Junín y Miguel Grau. Castilla – Piura. 2020”, realizó su investigación en el tramo el cual se encuentra entre la avenida Miguel Grau y avenida Junín, donde se llevó a cabo un estudio de tráfico con un ESAL de 3,655,697 EE, también se desarrolló un diseño de pavimento según la metodología AASHTO 93, y se usó el sistema bitufor para determinar el diseño estructural del pavimento, lo que resultó en una reducción del 20% de asfalto, además de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, se encontró un CBR del 40.14%, concluyendo que como resultado, se ha demostrado que el uso del sistema Bitufor disminuye las patologías del pavimento. En comparación con la presente investigación se obtuvo un estudio de tráfico con un ESAL de 495,362 EE, para luego de igual manera, desarrollar la estructura del pavimento según la metodología AASHTO 93, además de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de las 13 calicatas realizadas, se encontraron CBR que varían desde 12.80% hasta el 35%, para luego realizar 3 modelos, el primero con un modelo de pavimento flexible tradicional, el segundo con un modelo de pavimento flexible + sistema bitufor y el tercero con un modelo de pavimento flexible + sistema bitufor – 20% de carpeta de rodadura, verificando su comportamiento aplicando un esfuerzo de 5.60 kgf/cm².
- Mamani (2021), en la investigación “Evaluación del sistema bitufort para mejorar la estructura del. Pavimento flexible en la av. Uzuña, distrito de Polobaya, Arequipa, 2021”, se basó en verificar si el sistema Bitufort era técnica y económicamente rentables para mejorar la estructura del pavimento flexible en la Av. Polobaya. Para soluciones, se utiliza el sistema bitufort para determinar las propiedades físicas y mecánicas del sustrato granular existente, donde se concluyó que el sistema Bitufort puede reducir los costos en un 40% y agilizar la construcción, además se puede quitar la capa asfáltica y se aplica el sistema bitufort como nuevo pavimento. Tiene la capacidad de absorber todo el estrés provocado por el tráfico. En comparación con la presente investigación denominada “Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña – 2022”, se realizó un diseño con 3 modelos para 4 tramos diferentes, donde los costos del



pavimento flexible + sistema bitufor y pavimento flexible + sistema bitufor - 20% del espesor de la carpeta de rodadura aumentaron con respecto al pavimento flexible tradicional en 43.18% y 37.88% respectivamente del TRAMO I y TRAMO III, 40.23% y 33.29% respectivamente del TRAMO II y TRAMO IV.

- Barrera & Diestra (2018), en la investigación “Influencia de la malla de acero para reducir el costo en la rehabilitación del pavimento flexible de la av. 200. Ventanilla – Callao”, se calculó que el número de ejes equivalentes (ESAL) fue de 5,475,116,602, donde los resultados de 3 muestras tomadas mostraron como suelo una arena de baja calidad con un CBR de 8.9%, además se concluyó que al usar la malla de acero redujo la base granular en 16.78 cm, además de una reducción del costo de 11.99% con respecto al pavimento flexible tradicional. En comparación a nuestra investigación, se realizaron 13 calicatas con suelos SP, SP-SM, SW, SM, SW-SM según SUCS y con unos CBR que se encuentran en el rango desde 12.80% hasta 35%, para luego continuar con la aplicación del sistema bitufor donde se redujo en un 20% el espesor de la carpeta asfáltica y se concluyó los costos aumentaban con respecto al pavimento flexible tradicional.
- Vargas (2021), en la investigación “La Geomalla como elemento de Refuerzo en Pavimentos Flexibles”, artículo publicado en Redalyc Scientific Information System, el cual se enfocó en el diseño de pavimentos flexibles utilizando el sistema bitufort, demostrando que las cargas generadas por el tráfico superficial se acumulan en la capa interna del pavimento y que la estructura debe absorber estas cargas, por ende al tener mejor comportamiento frente a estos esfuerzos, esta prolonga su vida útil, ya que disipa mejor las fuerzas generadas a partir de la carpeta de rodadura, lo que aumenta la resistencia de la capacitancia del suelo. En comparación a esta investigación, se utilizaron 3 modelos las cuales son el pavimento flexible tradicional, el pavimento flexible + sistema bitufor y pavimento flexible + sistema bitufor – 20% espesor de la carpeta de rodadura, donde mediante el programa WinDEPAV se le aplicó una carga de 5.59 kgf/cm² para evaluar su comportamiento, y se pudo concluir que la malla de acero mesh track absorbe de mejor manera que el pavimento flexible tradicional disipando mejor las cargas hasta las subrasante.



CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



5. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En respuesta al **objetivo general**, se logró determinar qué; la aplicación del sistema Bitufor en el diseño del pavimento flexible de la pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña-2022, no es una medida sustentable, puesto que, si bien es cierto se sustenta en el aspecto técnico, no es así en el económico; por cuanto esta investigación demuestra de acuerdo a los resultados obtenidos en el programa WinDEPAV mostró que la estructura del pavimento flexible adicionando el sistema bitufor tuvo un mejor comportamiento al someterse una carga de 5.60 kgf/cm² con respecto al pavimento flexible tradicional, sin embargo al realizar un comparativo económico; entre los presupuestos para cada tipo de diseño, la aplicación del sistema Bitufor es mucho mas caro respecto al sistema de diseño de pavimento flexible tradicional, por tanto; su aplicación para el presente tramo en estudio, o no se justifica. Así mismo se concluye, que mediante los 3 modelos propuestos los cuales fueron:
- a) Diseño de pavimento flexible tradicional.
 - b) Diseño de Pavimento flexible + sistema bitufor.
 - c) Diseño de pavimento flexible + sistema bitufor – 20% del espesor de la carpeta de rodadura.

Se realizó la comparación y se determinó que el pavimento flexible agregando el sistema bitufor disipa mejor los esfuerzos por cada capa de la estructura del pavimento, hasta llegar a la subrasante. A diferencia del impacto económico, se determinó que el sistema bitufor es más caro con respecto al pavimento flexible tradicional.

- En respuesta al **primer objetivo específico**, se logró diagnosticar el estado situacional actual de los 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña-2022, a través del instrumento de la guía de observación, proporcionado por el manual de carreteras -Mantenimiento o conservación vial 2018 -MTC; con el que se identificó las fallas y se determinó el estado actual de la vía con la finalidad de diagnosticar su estado. Cabe mencionar que dicho instrumento ha sido validado por grupos de expertos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, conforme al Reglamento Nacional de Gestión de



Infraestructura vial, aprobado por Decreto Supremo N 034-2008-MTC. En los que luego de aplicar 10 guías de observación, a lo largo de los 8.4 km de la carretera – Nepeña 2022, se identificó 10 puntos clave (km 0+000, km 1+090, km 2+180, km 2+520, km 2+280, km 3+260, km 3+600, km 4+200, km 5+820, y km 8+040); Identificando el Tipo de Deterioro por Deformación, que el nivel de falla predominante es el ahuellamiento o hundimiento entre 5cm y 10cm; mientras que para el tipo de Deterioro por Erosión, falla predominante fue por profundidad entre 5cm y 10cm. Así mismo para el tipo de Deterioro por Baches o Huecos, que el nivel de la falla predominante indica que “Necesita una reconstrucción”. Por último, para el tipo de Deterioro por Encalaminado, que el nivel de la falla predominante, es por profundidad ≥ 10 cm. Concluyendo que la vía necesita ser reconstruida, o en su defecto mejorada a través de la ejecución de un pavimento flexible.

- **En respuesta al segundo objetivo específico**, en la presente investigación se logró determinar las características mecánicas de los suelos y el estudio de tráfico, que fueron necesarias e indispensables para poder realizar los diseños de pavimento flexible tradicional y del pavimento flexible + sistema bitufor, de la pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña-2022. Mismos que se sustentan en la presente investigación.

- **En respuesta al tercer objetivo específico, se concluye** que por medio de esta investigación, se dio a conocer el procedimiento para el diseño de pavimento flexible enfocado en el sistema bitufor, se trata de la instalación del sistema MESH TRACK, el cual consiste en la colocación de una malla de acero para refuerzo y rehabilitación de pavimentos rígidos y flexibles, y de acuerdo a los resultados obtenidos mediante el programa WinDEPAV, la malla de acero absorbe mejor los esfuerzo a diferencia del pavimento flexible tradicional.



- **En respuesta al cuarto objetivo específico, la diferencia económica** entre un pavimento tradicional y un pavimento aplicando el sistema Bitufor, se concluye que aplicar el diseño de pavimento flexible + sistema bitufor es más caro que aplicar el diseño de pavimento flexible tradicional, así mismo no se sustenta económicamente aplicarlo en los 8.40km de la carretera Carbonera – Nepeña 2022. Ello se sustenta, ya que en la presente investigación se tiene que:

MODELO I: “pavimento flexible tradicional”

MODELO II: “pavimento flexible + sistema bitufor (slurry seal + mesh track)”

MODELO III: “pavimento flexible + sistema bitufor (slurry seal + mesh track) – 20% de espesor de la carpeta de rodadura”; por cuanto se concluye que:

DEL TRAMO I (PROG. 0+000 – 2+180)

Para el TRAMO I, se pudo apreciar que en el Modelo II aumentó su presupuesto en un 43.18% con respecto al Modelo I . Por otro lado, el Modelo III, aumento el presupuesto en un 37.88% con respecto al costo total del Modelo I. En resumen, el Modelo II y Modelo III aumentaron su presupuesto con respecto al Modelo I.

TRAMO II (PROG. 2+180 – 2+860)

Para el TRAMO II, el Modelo II aumentó su presupuesto en un 40.23% con respecto al Modelo I. Por otro lado, el Modelo III, aumento el presupuesto en un 35.29% con respecto al costo total del Modelo I. En resumen, el Modelo II y Modelo III aumentaron su presupuesto con respecto al Modelo I.

TRAMO III (PROG. 2+860 – 3+600)

Para el TRAMO III, el Modelo II aumentó su el presupuesto en un 43.18% con respecto al Modelo. Por otro lado, el Modelo III, aumento el presupuesto en un 33.44% con respecto al costo total del Modelo I. En resumen, el Modelo II y Modelo III aumentaron su presupuesto con respecto al Modelo I.

TRAMO IV (PROG. 3+600 – 8+050)

Para el TRAMO IV, el Modelo II, aumentó su presupuesto en un 40.23% con respecto al Modelo I. Por otro lado, el Modelo III, aumento el presupuesto en un 35.29 % con



respecto al costo total del Modelo I. En resumen, el Modelo II y Modelo III aumentaron su presupuesto con respecto al Modelo I.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los profesionales del área, continuar con la presente investigación, intentando su aplicación en otros lugares; con el objetivo de profundizar más sobre la aplicación del sistema bitufor en carreteras de todo el país, para buscar la optimización y verificar si puede ser una medida sustentable. Así mismo
- Se recomienda realizar correctamente y a detalle, en futuras investigaciones. La determinación de las características mecánicas de los suelos y un correcto estudio de tráfico para diseño de pavimentos flexibles; tanto tradicionales como adicionando sistema bitufor; con el objetivo de elaborar un correcto diseño y poder obtener buenos resultados; en la investigación sobre pavimentación flexible con sistema bitufor como medida sustentable.
- Se recomienda continuar con la presente investigación, con el objetivo de dar a conocer la técnica de diseño del pavimento flexible enfocado en el sistema bitufor, así mismo a los futuros tesis, investigar más a profundidad el método de reforzamiento y rehabilitación de los pavimentos flexibles (bitufor), ya que nuestra región tiene una tasa crecimiento poblacional considerable, y por ende aumenta el crecimiento del tránsito vial, por ende, necesitamos ahondar más en métodos modernos para su mejoramiento.
- Se recomienda a los futuros investigadores continuar con la investigación en otras carreteras que presenten necesidad de intervención; para evaluar si la aplicación del sistema bitufor resulta una medida sustentable en suelos diferentes a los de esta investigación, instalando la malla de acero de refuerzo mesh track en otras capas de la estructura, distinta a la carpeta de rodadura, y así analizar su comportamiento y beneficio económico.



CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



6. CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Vallejos Sánchez, J., & Vásquez Araujo, J. (2020). *“Uso del sistema bitufor en la reducción de las patologías del pavimento flexible de las avenidas Junín y Miguel Grau. Castilla – Piura”*. Piura: (Tesis de pregrado) Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48827>

Mamani Sumari, J. (2021). *“Evaluación del sistema bitufort para mejorar la estructura del. Pavimento flexible en la av. Uzuña, distrito de Polobaya, Arequipa”*. Lima: (Tesis de pregrado) Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87976?locale-attribute=en>

Zarate y Peláez (2020). *Sistema bitufor como medida sustentable en el pavimento en tramos de fuerte pendiente del acceso al centro turístico río bar-simbal, 2018. Trujillo:* (Tesis de pregrado) Universidad Privada de Trujillo. Obtenido de <http://repositorio.uprit.edu.pe/bitstream/handle/UPRIT/397/IC-TEISIS-ZARATE%20GARCIA-PELAEZ%20MEREGILDO.pdf?Sequence=1&isallowed=y>

Quispe (2022). "Sistema Bitufor para reducir reflexión de grietas y prolongar vida útil de un pavimento flexible Villa María del Triunfo, 2022" *Lima:* (Tesis de pregrado) Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/123106/Quispe_SJA-SD.pdf?sequence=1



Alzate, Franco y Tarquino (2019). “Diagnóstico, optimización, diseño de pavimento rígido y flexible de la vía san Nicolás en la vereda Barzalosa” Cundinamarca-Colombia: (Tesis de pregrado) Corporación universitaria Minuto de Dios. Obtenido de <https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/bdac7e25-7ffc-4e0d-ae05-5d3901e7f956/content>

Malo (2024). “Estudio comparativo de estructuras de pavimento convencional, pavimento sobre suelo estabilizado con cemento y pavimento reforzado con geo sintéticos, del caso de estudio vía Zhidmad-Jadan”. Cuenca-Ecuador: (Tesis de pregrado) universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26945/4/UPS-CT011163.pdf>

Cabrera. (2022). “Elaboración de estudios de ingeniería para el mejoramiento de la vía “Uchucay-Sumaypamba-Playas de Sumaypamba” de 6.50 km. de longitud aproximada, ubicada entre las parroquias. San Martín de Yuluc y Sumaypamba del cantón Saraguro, provincia de Loja (Tesis). Universidad de Cuenca.

Juan Venegas. (2022). “Elaboración de estudios de ingeniería para el mejoramiento de la vía a la cabecera parroquial de San Sebastián de Yuluc, desde la abscisa 5+500.00 hasta la cabecera parroquial de San Sebastián de Yuluc, ubicada en el cantón Saraguro de la provincia de Loja” (Loja-Ecuador) (Tesis de Post Grado) Universidad de Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/43600>.

Pérez (2021). Lechadas Asfálticas o (slurry Seals). Tunja-Colombia (Tesis de pregrado) universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca. (Monografía). Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/80180349/6-Lechadas-Asfalticas-o-Slurry-Seals>



Tapia García, M. (2011). *Pavimentos*. Universidad Nacional Autónoma de México

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras: Mantenimiento o conservación Vial*. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección: Suelos y Pavimentos*. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayos de Materiales*. Lima, Perú.

Ministerio de Obras Públicas, Transporte, y Vivienda y Desarrollo Urbano. (2006). *Algunas consideraciones sobre el módulo de poisson*. El Salvador

Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras*

Prodac. (2015). *Proceso Constructivo de la Instalación del Sistema MESH TRACK Malla de Acero para Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Rígidos y Flexibles*.

Aparicio, F. (2019). *“Guía de Investigación Científica”*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Jiménez Acuña, M, Múnica Miranda, J & Ulloa Calderón, A. (2019). *Guía de diseño de mezcla de laboratorio para los sellos de lechada asfáltica (slurry seal)*. *Laboratorio Nacional de la Universidad de Costa Rica*. Obtenido de <https://www.yumpu.com/es/document/view/57196985/slurry-seals>

American Society Of Testing Materials Designation 422. (2007). *Standard Test Method For Granulometric Analysis*.



American Society Of Testing Materials Designation 2216. (1998). Standard Proof Method For Laboratory Determination Of Soil And Rock Water Content In Relation To Its Mass.

American Society Of Testing Materials Designation 1557. (2002). Standard Test Methods For Laboratory Compaction Characteristics Of Soil Using Modified Effort

Bekaert. (2010). Mesh Track: Fast Planning And Execution Of Roads Renovation. Reino Unido.

American Society Of Testing Materials Designation 1883. (1999). Standard Test Methods For Cbr (California Bearing Ratio) Of Laboratory - Compacted Soils

American Society Of Testing Materials Designation 2216. (1998). Standard Proof Method For Laboratory Determination Of Soil And Rock Water Content In Relation To Its Mass

American Society Of Testing Materials Designation 4318. (2010). Standard Test Methods For Limit Plastic, Limit Plasticity And Index Of Soils.



7. CAPITULO VII: ANEXOS



CAPITULO VII

ANEXOS



Anexo 1. Instrumento aplicado: Guía de observación para diagnóstico de condición actual.

Guía de Observación

Carretera: Panamericana Norte
Progresiva: **km 0+000**
Tipo de Pavimento: Pavimento Afirmado

N.º Guía: 01
Fecha: 19 – 07 - 2024
Lugar: Nepeña

Calificación para cada tipo de Deterioro o falla de la capa de rodadura

a. Deformación

- Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm
- Huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm.
- Huellas/hundimiento entre ≥ 10 cm.

b. Erosión

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad ≥ 10 cm

c. Baches (Huecos)

- Pueden repararse por conservación rutinaria
- Se necesita capa de material adicional
- Se necesita una reconstrucción

d. Encalaminado

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad ≥ 10 cm

e. Lodazal

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

f. Cruce de agua

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

3. Foto(s) de la falla



4. Descripción u observación:

- La presente guía de observación sirvió para la clasificación de tipos de Deterioro o falla de la capa de rodadura a nivel de afirmado existente, en la progresiva 0+000 de la carretera carbonera-Nepeña , pudiéndose observar como deterioro, Huellas o hundimiento entre 5cm y 10cm, con respecto a la erosión se tiene que es sensible al usuario, pero profundidad <5cm, con respecto a los baches o huecos, se observa que la carretera necesita una reconstrucción, con respecto al aspecto Encalaminado, dicho tramo de la carretera presenta profundidades entre 5cm y 10cm; presenta características de lodazal en épocas de lluvia, sin embargo no presenta cruces de agua.

Guía de Observación

Carretera: Panamericana Norte
Progresiva: **km 0+1+090**
Tipo de Pavimento: Pavimento Afirmado

N.º Guía: 02
Fecha: 19 – 07 - 2024
Lugar: Nepeña

Calificación para cada tipo de Deterioro o falla de la capa de rodadura

a. Deformación

- Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm
- Huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm.
- Huellas/hundimiento entre \geq 10cm.

b. Erosión

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad \geq 10cm

c. Baches (Huecos)

- Pueden repararse por conservación rutinaria
- Se necesita capa de material adicional
- Se necesita una reconstrucción

d. Encalaminado

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad \geq 10cm

e. Lodazal

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

f. Cruce de agua

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

3. Foto(s) de la falla



4. Descripción u observación:

- La presente guía de observación sirvió para la clasificación de tipos de Deterioro o falla de la capa de rodadura a nivel de afirmado existente, en la progresiva 1+090 de la carretera carbonera-Nepeña, pudiéndose observar como deterioro, Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero $< 5\text{cm}$, con respecto a la erosión se tiene una profundidad entre 5cm y 10cm, con respecto a los baches o huecos, se observa que la carretera necesita una reconstrucción, con respecto al aspecto Encalaminado, dicho tramo de la carretera presenta Profundidad $\geq 10\text{cm}$; presenta características de lodazal en épocas de lluvia, sin embargo no presenta cruces de agua.

Guía de Observación

Carretera: Panamericana Norte
Progresiva: km 2+180
Tipo de Pavimento: Pavimento Afirmado

N.º Guía: 03
Fecha: 19 – 07 - 2024
Lugar: Nepeña

Calificación para cada tipo de Deterioro o falla de la capa de rodadura

a. Deformación

- Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm
- Huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm.
- Huellas/hundimiento entre \geq 10cm.

b. Erosión

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad \geq 10cm

c. Baches (Huecos)

- Pueden repararse por conservación rutinaria
- Se necesita capa de material adicional
- Se necesita una reconstrucción

d. Encalaminado

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad \geq 10cm

e. Lodazal

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

f. Cruce de agua

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

3. Foto(s) de la falla



4. Descripción u observación:

- La presente guía de observación sirvió para la clasificación de tipos de Deterioro o falla de la capa de rodadura a nivel de afirmado existente, en la progresiva 2+180 de la carretera carbonera-Nepeña , pudiéndose observar como deterioro, Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm, con respecto a la erosión se tiene una profundidad entre 5cm y 10cm, con respecto a los baches o huecos, se necesita capa de material adicional, con respecto al aspecto Encalaminado, dicho tramo de la carretera presenta profundidad > a 10cm; presenta características de lodazal en épocas de lluvia, sin embargo no presenta cruces de agua.

Guía de Observación

Carretera: Panamericana Norte
Progresiva: km 2+520
Tipo de Pavimento: Pavimento Afirmado

Nº Guía: 04
Fecha: 19 – 07 - 2024
Lugar: Nepeña

Calificación para cada tipo de Deterioro o falla de la capa de rodadura

a. Deformación

- Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm
- Huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm.
- Huellas/hundimiento entre ≥ 10 cm.

b. Erosión

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad ≥ 10 cm

c. Baches (Huecos)

- Pueden repararse por conservación rutinaria
- Se necesita capa de material adicional
- Se necesita una reconstrucción

d. Encalaminado

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad ≥ 10 cm

e. Lodazal

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

f. Cruce de agua

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

3. Foto(s) de la falla



4. Descripción u observación:

- La presente guía de observación sirvió para la clasificación de tipos de Deterioro o falla de la capa de rodadura a nivel de afirmado existente, en la progresiva 2+520 de la carretera carbonera-Nepeña , pudiéndose observar como deterioro, Huellas o hundimiento entre 5cm y 10cm, con respecto a la erosión se tiene profundidad ≥ 10 cm, con respecto a los baches o huecos, se observa que la carretera necesita capa de material adicional, con respecto al aspecto Encalaminado, dicho tramo de la carretera presenta profundidad ≥ 10 cm; presenta características de lodazal en épocas de lluvia, sin embargo no presenta cruces de agua.

Guía de Observación

Carretera: Panamericana Norte
Progresiva: km 2+860
Tipo de Pavimento: Pavimento Afirmado

Nº Guía: 05
Fecha: 19 – 07 - 2024
Lugar: Nepeña

Calificación para cada tipo de Deterioro o falla de la capa de rodadura

a. Deformación

- Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm
- Huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm.
- Huellas/hundimiento entre ≥ 10 cm.

b. Erosión

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad ≥ 10 cm

c. Baches (Huecos)

- Pueden repararse por conservación rutinaria
- Se necesita capa de material adicional
- Se necesita una reconstrucción

d. Encalaminado

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad ≥ 10 cm

e. Lodazal

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

f. Cruce de agua

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

3. Foto(s) de la falla



4. Descripción u observación:

- La presente guía de observación sirvió para la clasificación de tipos de Deterioro o falla de la capa de rodadura a nivel de afirmado existente, en la progresiva 2+860 de la carretera carbonera-Nepeña , pudiéndose observar como deterioro, Huellas o hundimiento entre 5cm y 10cm, con respecto a la erosión se tiene que presenta profundidad entre 5cm y 10cm, con respecto a los baches o huecos, se necesita una reconstrucción, con respecto al aspecto Encalaminado, Profundidad \geq 10cm; presenta características de lodazal en épocas de lluvia, sin embargo no presenta cruces de agua.

Guía de Observación

Carretera: Panamericana Norte
Progresiva: km 3+230
Tipo de Pavimento: Pavimento Afirmado

Nº Guía: 06
Fecha: 19 – 07 - 2024
Lugar: Nepeña

Calificación para cada tipo de Deterioro o falla de la capa de rodadura

a. Deformación

- Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm
- Huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm.
- Huellas/hundimiento entre ≥ 10 cm.

b. Erosión

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad ≥ 10 cm

c. Baches (Huecos)

- Pueden repararse por conservación rutinaria
- Se necesita capa de material adicional
- Se necesita una reconstrucción

d. Encalaminado

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad ≥ 10 cm

e. Lodazal

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

f. Cruce de agua

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

3. Foto(s) de la falla



4. Descripción u observación:

- La presente guía de observación sirvió para la clasificación de tipos de Deterioro o falla de la capa de rodadura a nivel de afirmado existente, en la progresiva 3+230 de la carretera carbonera-Nepeña, pudiéndose observar como deterioro, Huellas o hundimiento ≥ 10 cm, con respecto a la erosión se tiene Profundidad ≥ 10 cm, con respecto a los baches o huecos, se observa que la carretera necesita capa de material adicional, con respecto al aspecto Encalaminado, dicho tramo de la carretera presenta profundidades ≥ 10 cm; presenta características de lodazal en épocas de lluvia, sin embargo no presenta cruces de agua.

Guía de Observación

Carretera: Panamericana Norte
Progresiva: km 3+600
Tipo de Pavimento: Pavimento Afirmado

Nº Guía: 07
Fecha: 19 – 07 - 2024
Lugar: Nepeña

Calificación para cada tipo de Deterioro o falla de la capa de rodadura

a. Deformación

- Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm
- Huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm.
- Huellas/hundimiento entre \geq 10cm.

b. Erosión

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad \geq 10cm

c. Baches (Huecos)

- Pueden repararse por conservación rutinaria
- Se necesita capa de material adicional
- Se necesita una reconstrucción

d. Encalaminado

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad \geq 10cm

e. Lodazal

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

f. Cruce de agua

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

3. Foto(s) de la falla



4. Descripción u observación:

- La presente guía de observación sirvió para la clasificación de tipos de Deterioro o falla de la capa de rodadura a nivel de afirmado existente, en la progresiva 3+600 de la carretera carbonera-Nepeña , pudiéndose observar como deterioro, Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero $< 5\text{cm}$, con respecto a la erosión se tiene profundidad $\geq 10\text{cm}$, con respecto a los baches o huecos, Se necesita capa de material adicional, con respecto al aspecto Encalaminado, dicho tramo de la carretera presenta profundidad $\geq 10\text{cm}$; presenta características de lodazal en épocas de lluvia, sin embargo no presenta cruces de agua.

Guía de Observación

Carretera: Panamericana Norte
Progresiva: km 4+200
Tipo de Pavimento: Pavimento Afirmado

Nº Guía: 08
Fecha: 19 – 07 - 2024
Lugar: Nepeña

Calificación para cada tipo de Deterioro o falla de la capa de rodadura

a. Deformación

- Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm
- Huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm.
- Huellas/hundimiento entre \geq 10cm.

b. Erosión

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad \geq 10cm

c. Baches (Huecos)

- Pueden repararse por conservación rutinaria
- Se necesita capa de material adicional
- Se necesita una reconstrucción

d. Encalaminado

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad \geq 10cm

e. Lodazal

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

f. Cruce de agua

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

3. Foto(s) de la falla



4. Descripción u observación:

- La presente guía de observación sirvió para la clasificación de tipos de Deterioro o falla de la capa de rodadura a nivel de afirmado existente, en la progresiva 4+200 de la carretera carbonera-Nepeña , pudiéndose observar como deterioro, Huellas/hundimiento entre ≥ 10 cm, con respecto a la erosión se tiene profundidad entre 5cm y 10cm, con respecto a los baches o huecos, se necesita reconstrucción, con respecto al aspecto Encalaminado, presenta profundidad ≥ 10 cm; presenta características de lodazal en épocas de lluvia, sin embargo no presenta cruces de agua.

Guía de Observación

Carretera: Panamericana Norte
Progresiva: km 5+820
Tipo de Pavimento: Pavimento Afirmado

N.º Guía: 09
Fecha: 19 – 07 - 2024
Lugar: Nepeña

Calificación para cada tipo de Deterioro o falla de la capa de rodadura

a. Deformación

- Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm
- Huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm.
- Huellas/hundimiento entre ≥ 10 cm.

b. Erosión

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad ≥ 10 cm

c. Baches (Huecos)

- Pueden repararse por conservación rutinaria
- Se necesita capa de material adicional
- Se necesita una reconstrucción

d. Encalaminado

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad ≥ 10 cm

e. Lodazal

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

f. Cruce de agua

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

3. Foto(s) de la falla



4. Descripción u observación:

- La presente guía de observación sirvió para la clasificación de tipos de Deterioro o falla de la capa de rodadura a nivel de afirmado existente, en la progresiva 5+820 de la carretera carbonera-Nepeña , pudiéndose observar como deterioro, Huellas/hundimiento entre ≥ 10 cm, con respecto a la erosión se tiene profundidad entre 5cm y 10cm, con respecto a los baches o huecos, se observa que la carretera necesita una reconstrucción, con respecto al aspecto Encalaminado, dicho tramo de la carretera presenta profundidad ≥ 10 cm; presenta características de lodazal en épocas de lluvia, sin embargo no presenta cruces de agua.

Guía de Observación

Carretera: Panamericana Norte
Progresiva: km 8+040
Tipo de Pavimento: Pavimento Afirmado

Nº Guía: 10
Fecha: 19 – 07 - 2024
Lugar: Nepeña

Calificación para cada tipo de Deterioro o falla de la capa de rodadura

a. Deformación

- Huellas / Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm
- Huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm.
- Huellas/hundimiento entre \geq 10cm.

b. Erosión

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad \geq 10cm

c. Baches (Huecos)

- Pueden repararse por conservación rutinaria
- Se necesita capa de material adicional
- Se necesita una reconstrucción

d. Encalaminado

- Sensible al usuario, pero profundidad <5cm
- Profundidad entre 5cm y 10cm.
- Profundidad \geq 10cm

e. Lodazal

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

f. Cruce de agua

- Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia

3. Foto(s) de la falla



4. Descripción u observación:

- La presente guía de observación sirvió para la clasificación de tipos de Deterioro o falla de la capa de rodadura a nivel de afirmado existente, en la progresiva 8+040 de la carretera carbonera-Nepeña , pudiéndose observar como deterioro, Huellas o hundimiento entre 5cm y 10cm, con respecto a la erosión se tiene que es sensible al usuario, pero profundidad <5cm, con respecto a los baches o huecos, se observa que la carretera necesita una reconstrucción, con respecto al aspecto Encalaminado, dicho tramo de la carretera presenta profundidades entre 5cm y 10cm; presenta características de lodazal en épocas de lluvia, sin embargo no presenta cruces de agua.



Anexo 2: Análisis estadístico de resultados – de la condición situacional de la carretera.

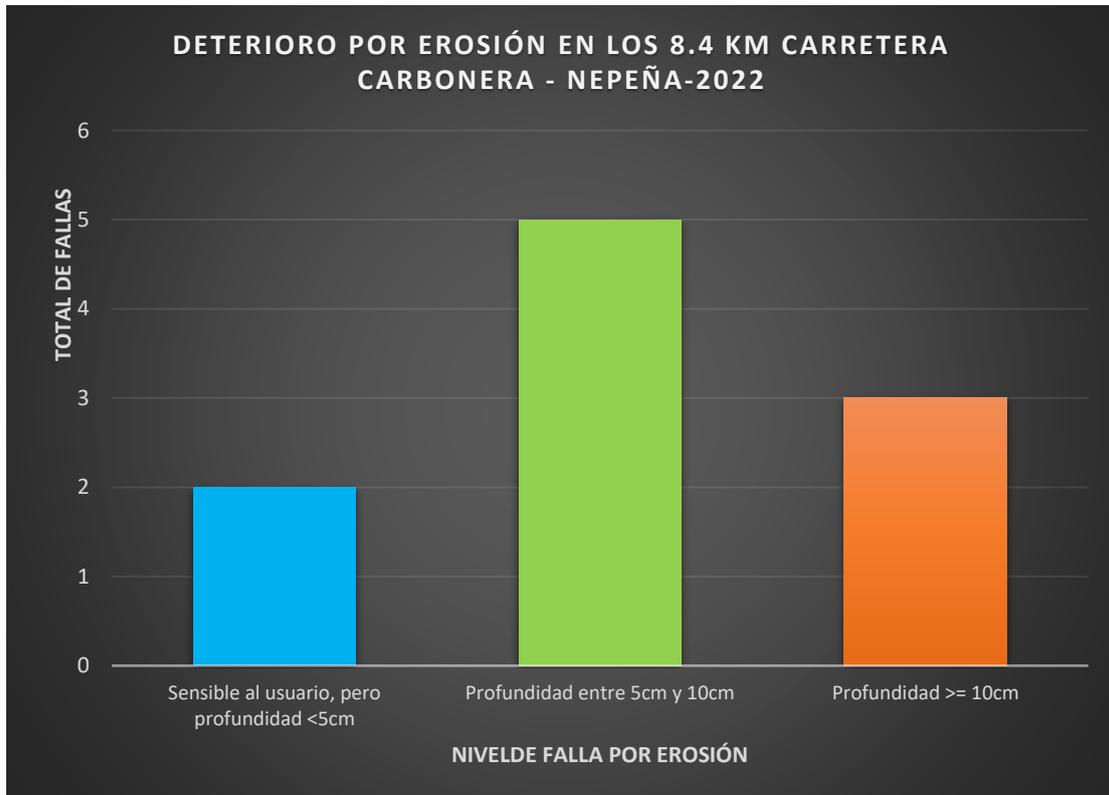
DETERIORO O FALLA ESTRUCTURAL EN CARRETERA - AFIRMADO

A. POR DEFORMACIÓN			
CONDICIÓN	Hundimiento sensibles al usuario, pero <5cm	Huellas/hundimiento entre 5cm y 10cm	Huellas/hundimiento entre >= 10cm
km 0+000	0	1	0
km 1+090	1	0	0
km 2+180	1	0	0
km 2+520	0	1	0
km 2+860	0	1	0
km 3+230	0	0	1
km 3+600	1	0	0
km 4+200	0	0	1
km 5+820	0	0	1
km 8+040	0	1	0
TOTAL	3	4	3



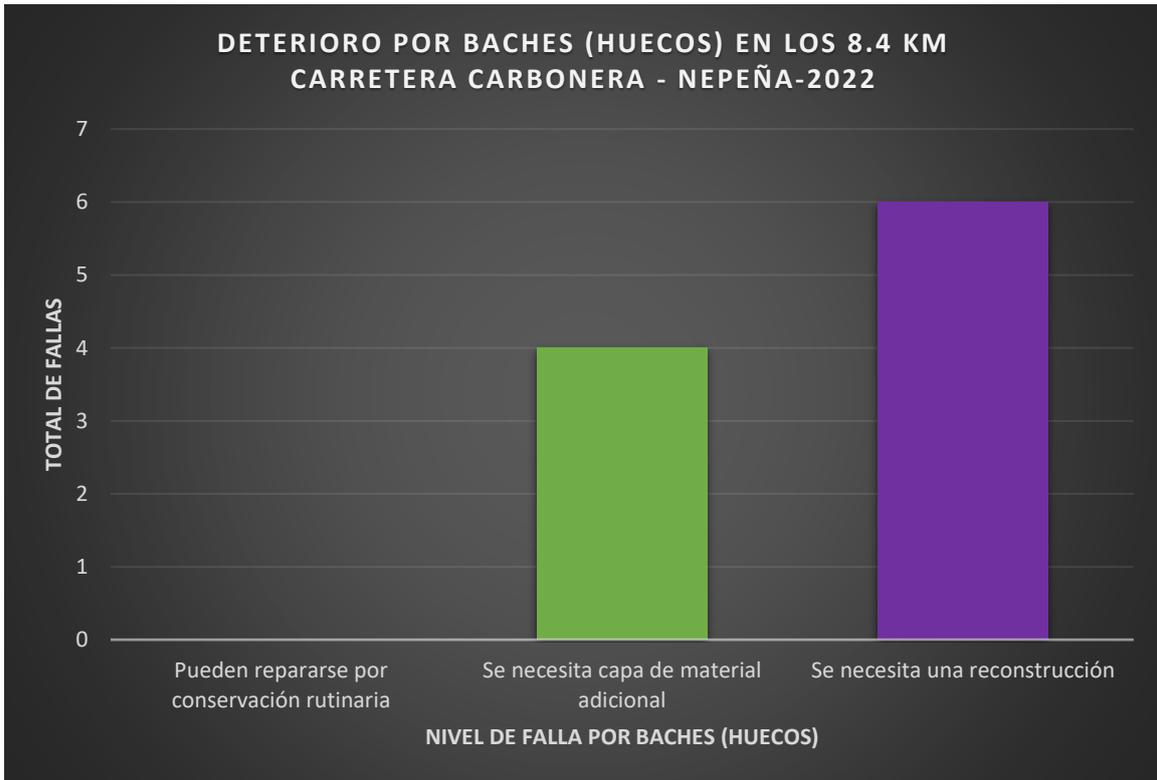
DETERIORO O FALLA ESTRUCTURAL EN CARRETERA - AFIRMADO

B. POR EROSIÓN			
CONDICIÓN	Sensible al usuario, pero profundidad <5cm	Profundidad entre 5cm y 10cm	Profundidad >= 10cm
km 0+000	1	0	0
km 1+090	0	1	0
km 2+180	0	1	0
km 2+520	0	0	1
km 2+860	0	1	0
km 3+230	0	0	1
km 3+600	0	0	1
km 4+200	0	1	0
km 5+820	0	1	0
km 8+040	1	0	0
TOTAL	2	5	3



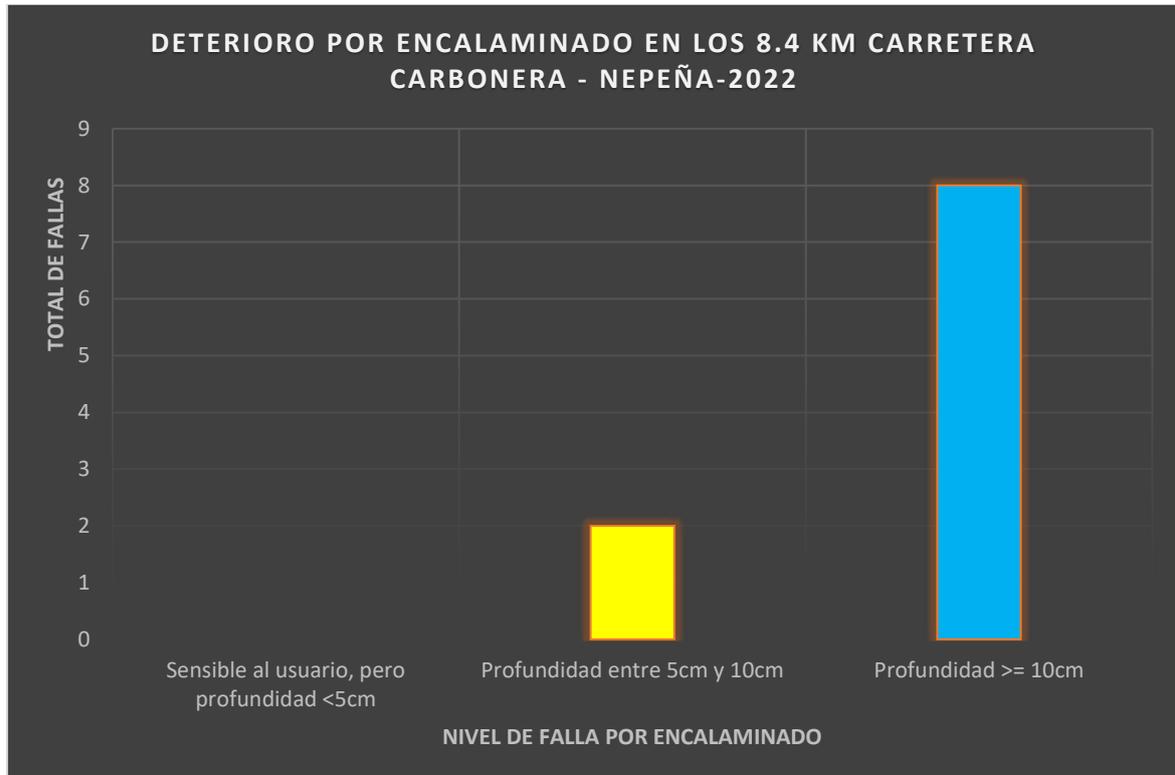
DETERIORO O FALLA ESTRUCTURAL EN CARRETERA - AFIRMADO

C. POR BACHES (HUECOS)			
CONDICIÓN	Pueden repararse por conservación rutinaria	Se necesita capa de material adicional	Se necesita una reconstrucción
km 0+000	0	0	1
km 1+090	0	0	1
km 2+180	0	1	0
km 2+520	0	1	0
km 2+860	0	0	1
km 3+230	0	1	0
km 3+600	0	1	0
km 4+200	0	0	1
km 5+820	0	0	1
km 8+040	0	0	1
TOTAL	0	4	6



DETERIORO O FALLA ESTRUCTURAL EN CARRETERA - AFIRMADO

D. POR ENCALAMINADO			
CONDICIÓN	Sensible al usuario, pero profundidad <5cm	Profundidad entre 5cm y 10cm	Profundidad >= 10cm
km 0+000		1	
km 1+090			1
km 2+180			1
km 2+520			1
km 2+860			1
km 3+230			1
km 3+600			1
km 4+200			1
km 5+820			1
km 8+040		1	
TOTAL	0	2	8





Anexo 3: Conteo Vehicular.

ESTUDIO DE TRAFICO - CONTEO VEHICULAR

TESIS:

Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TOTAL	PORC. %
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3			
DIAGRA. VEH.																			
00-01	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
01-02	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
02-03	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
03-04	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
04-05	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
05-06	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
06-07	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
07-08	Entrada		1	1		1											3	3.70%	
	Salida		2	2		1	2										7	8.64%	
08-09	Entrada		1														1	1.23%	
	Salida	1	2	1													4	4.94%	
09-10	Entrada	1															1	1.23%	
	Salida	1	1						2								4	4.94%	
10-11	Entrada	1	1	3	1												6	7.41%	
	Salida	2	2	1													5	6.17%	
11-12	Entrada					2	2			1							5	6.17%	
	Salida		3			2											5	6.17%	
12-13	Entrada		1														1	1.23%	
	Salida			2													2	2.47%	
13-14	Entrada		1							1							2	2.47%	
	Salida		1														1	1.23%	
14-15	Entrada	1	2	1													4	4.94%	
	Salida	2	1	2					1								6	7.41%	
15-16	Entrada	2															2	2.47%	
	Salida																0	0.00%	
16-17	Entrada	1	1	1		2											5	6.17%	
	Salida	2	2	2		1											7	8.64%	
17-18	Entrada	1															1	1.23%	
	Salida		1			1											2	2.47%	
18-19	Entrada																0	0.00%	
	Salida		2		1	1											4	4.94%	
19-20	Entrada																0	0.00%	
	Salida		2														2	2.47%	
20-21	Entrada																0	0.00%	
	Salida		1														1	1.23%	
21-22	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
22-23	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
23-24	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
TOTAL		15	28	16	2	11	4	0	0	5	0	0	0	0	0	0	81	100.0%	
PORC. %		18.52%	34.57%	19.75%	2.47%	13.58%	4.94%	0.00%	0.00%	6.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.0%		

ESTUDIO DE TRAFICO - CONTEO VEHICULAR

TESIS:

Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TOTAL	PORC. %	
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3			
DIAGRA. VEH.																			
00--01	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
01--02	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
02--03	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
03--04	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
04--05	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
05--06	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
06--07	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
07--08	Entrada		1	1		1											3	3.19%	
	Salida		2	2		1	2										7	7.45%	
08--09	Entrada		1														1	1.06%	
	Salida	1	2	1													4	4.26%	
09--10	Entrada	1															2	3.19%	
	Salida	1	1							2							4	4.26%	
10--11	Entrada	1	1	3	1												6	6.38%	
	Salida	2	2	2												1	7	7.45%	
11--12	Entrada					2	2			1							1	6	6.38%
	Salida		3			2										1	6	6.38%	
12--13	Entrada		1														1	1.06%	
	Salida			2													2	2.13%	
13--14	Entrada		1							1							2	2.13%	
	Salida		1														1	1.06%	
14--15	Entrada	1	2	1													2	6.38%	
	Salida	2	1	2						1							6	6.38%	
15--16	Entrada	2															2	2.13%	
	Salida																0	0.00%	
16--17	Entrada	1	1	3		2											2	9	9.57%
	Salida	2	2	2		1											7	7.45%	
17--18	Entrada	1															1	1.06%	
	Salida		1			1											2	2.13%	
18--19	Entrada																0	0.00%	
	Salida		2		1	1											4	4.26%	
19--20	Entrada																0	0.00%	
	Salida		2	1													3	3.19%	
20--21	Entrada																0	0.00%	
	Salida		1														1	1.06%	
21--22	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
22--23	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
23--24	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
TOTAL		15	28	20	2	11	4	0	0	5	0	0	0	0	0	9	94	100.0%	
PORC. %		15.96%	29.79%	21.28%	2.13%	11.70%	4.26%	0.00%	0.00%	5.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	9.57%	100.0%		

ESTUDIO DE TRAFICO - CONTEO VEHICULAR

TESIS:

Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TOTAL	PORC. %
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3			
DIAGRA. VEH.																			
00-01	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
01-02	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
02-03	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
03-04	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
04-05	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
05-06	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
06-07	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
07-08	Entrada		1	1		1											3	3.80%	
	Salida		2	2		1	2										7	8.86%	
08-09	Entrada		1														1	1.27%	
	Salida	1	2	1													4	5.06%	
09-10	Entrada	1															1	1.27%	
	Salida	1	1						1								3	3.80%	
10-11	Entrada	1	1	3	1												6	7.59%	
	Salida	1	2	2													5	6.33%	
11-12	Entrada					2	2			1							5	6.33%	
	Salida		2			2											4	5.06%	
12-13	Entrada		1														1	1.27%	
	Salida			2													2	2.53%	
13-14	Entrada		1							1							2	2.53%	
	Salida		1														1	1.27%	
14-15	Entrada	1	1	1													3	3.80%	
	Salida	1	1	2						1							5	6.33%	
15-16	Entrada	1															1	1.27%	
	Salida																0	0.00%	
16-17	Entrada	1	1	3		2											7	8.86%	
	Salida	2	2	2		1											7	8.86%	
17-18	Entrada	1															1	1.27%	
	Salida		1			1											2	2.53%	
18-19	Entrada																0	0.00%	
	Salida		2		1	1											4	5.06%	
19-20	Entrada																0	0.00%	
	Salida		2	1													3	3.80%	
20-21	Entrada																0	0.00%	
	Salida		1														1	1.27%	
21-22	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
22-23	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
23-24	Entrada																0	0.00%	
	Salida																0	0.00%	
TOTAL		12	26	20	2	11	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	79	100.0%	
PORC. %		15.19%	32.91%	25.32%	2.53%	13.92%	5.06%	0.00%	0.00%	5.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.0%		

ESTUDIO DE TRAFICO - CONTEO VEHICULAR

TESIS:

Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TOTAL	PORC. %
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3		
DIAGRA. VEH.																		
00-01	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
01-02	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
02-03	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
03-04	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
04-05	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
05-06	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
06-07	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
07-08	Entrada		1	1		1											3	3.57%
	Salida		2	2		1	2										7	8.33%
08-09	Entrada		1														1	1.19%
	Salida	1	2	1													4	4.76%
09-10	Entrada	1														1	2	2.38%
	Salida	1	1						2								4	4.76%
10-11	Entrada	1	1	3	1												6	7.14%
	Salida	1	2	2												1	6	7.14%
11-12	Entrada					2	2			1							5	5.95%
	Salida		2			2											4	4.76%
12-13	Entrada		1														1	1.19%
	Salida			2													2	2.38%
13-14	Entrada		1							1							2	2.38%
	Salida		1														1	1.19%
14-15	Entrada	1	1	1												1	4	4.76%
	Salida	1	1	2					1								5	5.95%
15-16	Entrada	1															1	1.19%
	Salida																0	0.00%
16-17	Entrada	1	1	3		2										1	8	9.52%
	Salida	2	2	2		1											7	8.33%
17-18	Entrada	1															1	1.19%
	Salida		1			1											2	2.38%
18-19	Entrada																0	0.00%
	Salida		2		1	1											4	4.76%
19-20	Entrada																0	0.00%
	Salida		2	1													3	3.57%
20-21	Entrada																0	0.00%
	Salida		1														1	1.19%
21-22	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
22-23	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
23-24	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
TOTAL		12	26	20	2	11	4	0	0	5	0	0	0	0	0	4	84	100.0%
PORC. %		14.29%	30.95%	23.81%	2.38%	13.10%	4.76%	0.00%	0.00%	5.95%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	4.76%	100.0%	

ESTUDIO DE TRAFICO - CONTEO VEHICULAR

TESIS:

Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TOTAL	PORC. %
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3		
DIAGRA. VEH.																		
00-01	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
01-02	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
02-03	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
03-04	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
04-05	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
05-06	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
06-07	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
07-08	Entrada		1	1		1											3	3.95%
	Salida		2	2		1	2										7	9.21%
08-09	Entrada		1														1	1.32%
	Salida	1	2	1													4	5.26%
09-10	Entrada	1															1	1.32%
	Salida	1	1							1							3	3.95%
10-11	Entrada	1	1	2	1												5	6.58%
	Salida	1	2	2													5	6.58%
11-12	Entrada					2	2				1						5	6.58%
	Salida		2			2											4	5.26%
12-13	Entrada		1														1	1.32%
	Salida			2													2	2.63%
13-14	Entrada		1								1						2	2.63%
	Salida		1														1	1.32%
14-15	Entrada	1	1	1													3	3.95%
	Salida	1	1	2						1							5	6.58%
15-16	Entrada	1															1	1.32%
	Salida																0	0.00%
16-17	Entrada	1	1	2		2											6	7.89%
	Salida	1	2	2		1											6	7.89%
17-18	Entrada	1															1	1.32%
	Salida		1			1											2	2.63%
18-19	Entrada																0	0.00%
	Salida		2		1	1											4	5.26%
19-20	Entrada																0	0.00%
	Salida		2	1													3	3.95%
20-21	Entrada																0	0.00%
	Salida		1														1	1.32%
21-22	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
22-23	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
23-24	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
TOTAL		11	26	18	2	11	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	76	100.0%
PORC. %		14.47%	34.21%	23.68%	2.63%	14.47%	5.26%	0.00%	0.00%	5.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.0%	

ESTUDIO DE TRAFICO - CONTEO VEHICULAR

TESIS:

Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TOTAL	PORC. %
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3		
DIAGRA. VEH.																		
00--01	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
01--02	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
02--03	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
03--04	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
04--05	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
05--06	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
06--07	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
07--08	Entrada		1	1		1											3	3.26%
	Salida		2	2		1	2										7	7.61%
08--09	Entrada		1														1	1.09%
	Salida	1	2	1													4	4.35%
09--10	Entrada	1														3	4	4.35%
	Salida	1	1							2							4	4.35%
10--11	Entrada	1	1	3	1												6	6.52%
	Salida	2	2	1												2	7	7.61%
11--12	Entrada					2	2			1						1	6	6.52%
	Salida		3			2										1	6	6.52%
12--13	Entrada		1														1	1.09%
	Salida			2													2	2.17%
13--14	Entrada		1							1							2	2.17%
	Salida		1														1	1.09%
14--15	Entrada	1	2	1												2	6	6.52%
	Salida	2	1	2						1							6	6.52%
15--16	Entrada	2															2	2.17%
	Salida																0	0.00%
16--17	Entrada	1	1	1		2										2	7	7.61%
	Salida	2	2	2		1											7	7.61%
17--18	Entrada	1															1	1.09%
	Salida		1		1	1											3	3.26%
18--19	Entrada																0	0.00%
	Salida		2			1											3	3.26%
19--20	Entrada																0	0.00%
	Salida		2														2	2.17%
20--21	Entrada																0	0.00%
	Salida		1														1	1.09%
21--22	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
22--23	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
23--24	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
TOTAL		15	28	16	2	11	4	0	0	5	0	0	0	0	0	11	92	100.0%
PORC. %		16.30%	30.43%	17.39%	2.17%	11.96%	4.35%	0.00%	0.00%	5.43%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	11.96%	100.0%	

ESTUDIO DE TRAFICO - CONTEO VEHICULAR	
TESIS:	Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufo en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TOTAL	PORC. %
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	251/252	253	351/352	>= 353		
DIAGRA. VEH.																		
00-01	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
01-02	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
02-03	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
03-04	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
04-05	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
05-06	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
06-07	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
07-08	Entrada		1			1											3	3.49%
	Salida		2	2		1	2										7	8.14%
08-09	Entrada		1														1	1.16%
	Salida	1	2	1													4	4.65%
09-10	Entrada	1															1	1.16%
	Salida	1	1						2								4	4.65%
10-11	Entrada	1	1	3	1												6	6.98%
	Salida	2	2	2													6	6.98%
11-12	Entrada					2	2			2							6	6.98%
	Salida		3			2											5	5.81%
12-13	Entrada		1														1	1.16%
	Salida			2													2	2.33%
13-14	Entrada		1							1							2	2.33%
	Salida		1														1	1.16%
14-15	Entrada	1	2	1													4	4.65%
	Salida	2	1	2					1								6	6.98%
15-16	Entrada	2															2	2.33%
	Salida																0	0.00%
16-17	Entrada	1	1	3		2											7	8.14%
	Salida	2	2	2		1											7	8.14%
17-18	Entrada	1															1	1.16%
	Salida		1			1											2	2.33%
18-19	Entrada																0	0.00%
	Salida		2		1	1											4	4.65%
19-20	Entrada																0	0.00%
	Salida		2	1													3	3.49%
20-21	Entrada																0	0.00%
	Salida		1														1	1.16%
21-22	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
22-23	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
23-24	Entrada																0	0.00%
	Salida																0	0.00%
TOTAL		15	28	20	2	11	4	0	0	6	0	0	0	0	0	0	86	100.0%
PORC. %		17.44%	32.56%	23.26%	2.33%	12.79%	4.65%	0.00%	0.00%	6.98%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.0%	

ESTUDIO DE TRAFICO - CONTEO VEHICULAR

TESIS:

Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022

DIA	VEHICULOS LIGEROS						VEHICULOS PESADOS									TOTAL	PORC. %	
	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER						
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3			
DOMINGO	15	28	16	2	11	4	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	81	13.68%
LUNES	15	28	20	2	11	4	0	0	5	0	0	0	0	0	0	9	94	15.88%
MARTES	12	26	20	2	11	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	79	13.34%
MIERCOLES	12	26	20	2	11	4	0	0	5	0	0	0	0	0	4	84	14.19%	
JUEVES	11	26	18	2	11	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	76	12.84%	
VIERNES	15	28	16	2	11	4	0	0	5	0	0	0	0	0	11	92	15.54%	
SABADO	15	28	20	2	11	4	0	0	6	0	0	0	0	0	0	86	14.53%	
TOTAL	95	190	130	14	77	28	0	0	34	0	0	0	0	0	24	592	100.0%	
PORC. %	16.05%	32.09%	21.96%	2.36%	13.01%	4.73%	0.00%	0.00%	5.74%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	4.05%	100.0%		



Anexo 4: Determinación de tránsito Actual.



ESTUDIO DE TRAFICO

TESIS: *Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022*

Departamento: *Ancash*
Provincia: *Santa*
Carretera: *Carbonera - Nepeña*

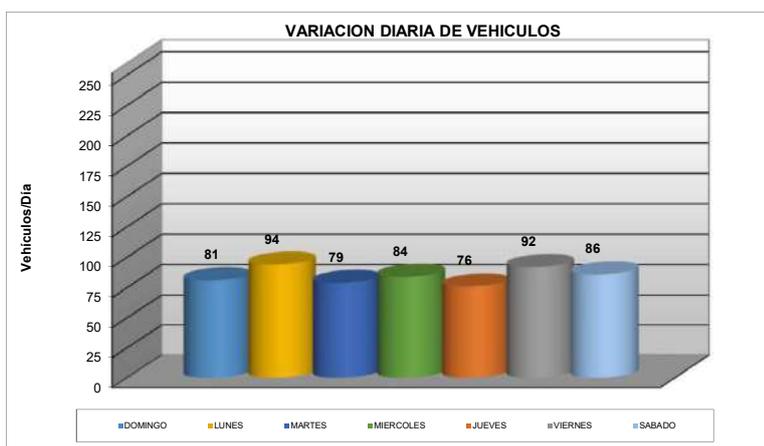
Tesista: *Bach. Juan Manuel Cipriano Vara Alva*

1. DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO ACTUAL

i) Resumir los conteos de tránsito a nivel del día y tipo de vehículo

Resultados de los conteo de tráfico: Mes: **JULIO**

TIPO DE VEHICULO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
AUTO	15	15	12	12	11	15	15
STATION WAGON	28	28	26	26	26	28	28
CAMIONETAS PICK UP	16	20	20	20	18	16	20
CAMIONETAS PANEL	2	2	2	2	2	2	2
CAMIONETAS RURAL Combi	11	11	11	11	11	11	11
MICRO	4	4	4	4	4	4	4
BUS 2 E	0	0	0	0	0	0	0
BUS >=3 E	0	0	0	0	0	0	0
CAMION 2 E	5	5	4	5	4	5	6
CAMION 3 E	0	0	0	0	0	0	0
CAMION 4 E	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 2S1/2S2	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 2S3	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 3S1/3S2	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER >= 3S3	0	9	0	4	0	11	0
TOTAL	81	94	79	84	76	92	86



Nota: En el Conteo de 7 días de 24 horas según lo establecido en PROVIAS NACIONAL no figura cantidad de "Motocicletas" por lo que se obviaron dichos datos obtenidos.

ii) Determinar los factores de corrección estacional

Para vehículos Pesados

Perú: Índice del Flujo de Vehículos Pesados, 2020 - 2022
(Año Base 2007 = 100,0)

Mes	2020	2021 P1	2022 P1	Variación Porcentual	
				Mensual ¹	Anual ²
Ene.	172,7	178,0	183,0	2,8	15,0
Feb.	169,9	156,3	161,0	3,0	15,5
Mar.	127,0	104,4	109,6	3,1	13,4
Abr.	87,5	161,5	168,2	-2,1	8,8
May.	101,4	178,7	177,4	-0,7	4,5
Jun.	136,0	173,9			
Jul.	156,3	173,2			
Ago.	167,2	172,1			
Set.	158,3	173,4			
Oct.	171,8	175,9			
Nov.	166,7	185,9			
Dic.	182,2	180,3			
Promedio	148,2	173,6			

¹ Respecto a similar mes del año anterior.

² Últimos doce meses, respecto a similar período anterior.

Nota: A partir de julio 2019, se publica el Índice del Flujo de Vehículos Pesados con año base 2007.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - PROVIAS Nacional.

Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público-OSITRAN

Elaboración: Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI

Para vehículos Ligeros

Perú: Índice del Flujo de Vehículos Ligeros, 2020 - 2022
(Año Base 2007 = 100,0)

Mes	2020	2021 P1	2022 P1	Variación Porcentual	
				Mensual ¹	Anual ²
Ene.	322,9	267,8	203,3	1,5	21,9
Feb.	306,5	268,8	272,0	5,1	24,8
Mar.	209,2	236,1	251,7	5,7	23,9
Abr.	85,1	205,8	234,5	14,0	19,2
May.	115,3	215,0	240,2	11,7	15,8
Jun.	132,5	237,0			
Jul.	212,2	302,7			
Ago.	221,8	285,1			
Set.	212,2	233,7			
Oct.	222,1	243,6			
Nov.	219,9	240,3			
Dic.	264,5	280,4			
Promedio	219,4	252,4			

¹ Respecto a similar mes del año anterior.

² Últimos doce meses, respecto a similar período anterior.

Nota: A partir de julio 2019, se publica el Índice del Flujo de Vehículos Ligeros con año base 2007.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - PROVIAS Nacional.

Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público-OSITRAN

Elaboración: Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI

$$F.C.E.Vehículos Pesados = \left(\frac{IMDA}{IMDMes} \right)$$

F.C.E. Año 2020 = 0.9482

F.C.E. Año 2022= 0.9573

$$F.C.E.Vehículos Ligeros = \left(\frac{IMDA}{IMDMes} \right)$$

F.C.E. Año 2020 = 0.9915

F.C.E. Año 2022= 1.0755

F.C.E. Vehículos pesados: **0.9527**

F.C.E. Vehículos ligeros: **1.0335**

Nota: Utilizar los datos del Informe Técnico de Flujo Vehicular por Unidades de Peaje por el INEI.

Fuente: <https://m.inei.gov.pe/biblioteca-virtual/boletines/flujo-vehicular/1/#lista>

iii) Aplicar la siguiente fórmula, para un conteo de 7 días

$$IMD_a = IMD_s * FC$$

$$IMD_s = \sum \frac{Vi}{7}$$

Donde:
 IMD_s = Índice Medio Diario Semanal de la Muestra Vehicular Tomada
 IMD_a = Índice Medio Anual
 Vi = Volumen Vehicular diario de cada uno de los días de conteo
 FC = Factores de Corrección Estacional

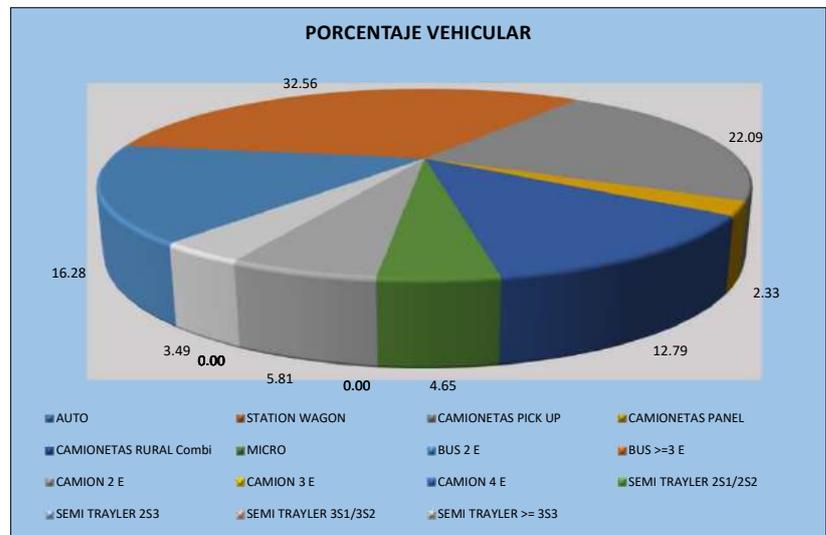
TIPO DE VEHICULO	TRÁFICO VEHICULAR EN DOS SENTIDOS POR DÍA							TOTAL SEMANA	IMD _s	FC	IMD _a
	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO				
AUTO	15	15	12	12	11	15	15	95	14	1.0335	14
STATION WAGON	28	28	26	26	26	28	28	190	27	1.0335	28
CAMIONETAS PICK UP	16	20	20	20	18	16	20	130	19	1.0335	19
CAMIONETAS PANEL	2	2	2	2	2	2	2	14	2	1.0335	2
CAMIONETAS RURAL Combi	11	11	11	11	11	11	11	77	11	1.0335	11
MICRO	4	4	4	4	4	4	4	28	4	1.0335	4
BUS 2 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9527	0
BUS >=3 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9527	0
CAMION 2 E	5	5	4	5	4	5	6	34	5	0.9527	5
CAMION 3 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9527	0
CAMION 4 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9527	0
SEMI TRAYLER 2S1/2S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9527	0
SEMI TRAYLER 2S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9527	0
SEMI TRAYLER 3S1/3S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9527	0
SEMI TRAYLER >= 3S3	0	9	0	4	0	11	0	24	3	0.9527	3
TOTAL	81	94	79	84	76	92	86	592	85		86

2. ANALISIS DE LA DEMANDA

2.1 Demanda Actual

Tráfico Actual por Tipo de Vehículo

TIPO DE VEHICULO	IMD	Distribución (%)
AUTO	14	16.28
STATION WAGON	28	32.56
CAMIONETAS PICK UP	19	22.09
CAMIONETAS PANEL	2	2.33
CAMIONETAS RURAL Combi	11	12.79
MICRO	4	4.65
BUS 2 E	0	0.00
BUS >=3 E	0	0.00
CAMION 2 E	5	5.81
CAMION 3 E	0	0.00
CAMION 4 E	0	0.00
SEMI TRAYLER 2S1/2S2	0	0.00
SEMI TRAYLER 2S3	0	0.00
SEMI TRAYLER 3S1/3S2	0	0.00
SEMI TRAYLER >= 3S3	3	3.49
IMD	86	100.00



2.2 Demanda Proyectada

$$T_n = T_0 (1 + r)^{(n-1)}$$

Donde:
 T_n = Tránsito proyectado al año en vehículo por día
 T₀ = Tránsito actual (año base) en vehículo por día
 n = año futuro de proyección
 r = tasa anual de crecimiento de tránsito



Anexo 5: Población de tránsito Projectada.

Tasa de Crecimiento en %

Tasa de Crecimiento Poblacional

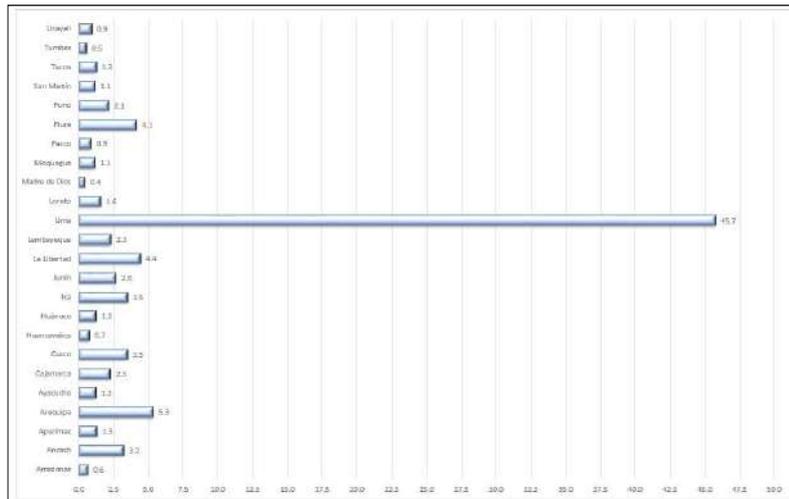
		POBLACION PROYECTADA AL 2022									
		POBLACION PROYECTADA AL 2022 DE LA PROVINCIA DEL SANTA Y SUS DISTRITOS									
		DISTRITOS									
PROYECCION 10 AÑOS	AÑO	Chimbote	Cáceres del Perú	Coishco	Macate	Moro	Nepeña	Samanco	Santa	Nuevo Chimbote	PROVINCIA SANTA
		1.017	1.008	1.013	1.008	1.026	1.02	1.019	1.016	1.017	
NO EVALUADO	2006	224,013	5,291	15,229	4,127	7,884	14,108	4,321	18,287	111,614	404874.00
	2007	223,287	5,249	15,305	4,046	7,850	14,277	4,353	18,539	115,669	408575.00
	2008	222,475	5,206	15,377	3,966	7,814	14,443	4,385	18,789	119,804	412259.00
	2009	221,582	5,160	15,446	3,885	7,777	14,609	4,416	19,038	124,024	415937.00
	2010	220,624	5,116	15,513	3,806	7,738	14,774	4,446	19,288	128,334	419639.00
PROYECCION 10 AÑOS	2011	219,612	5,071	15,578	3,728	7,698	14,940	4,476	19,539	132,739	423381.00
	2012	218,542	5,026	15,642	3,651	7,659	15,106	4,506	19,790	137,235	427157.00
	2013	217,394	4,980	15,703	3,576	7,617	15,270	4,535	20,041	141,809	430925.00
	2014	216,154	4,932	15,760	3,501	7,573	15,431	4,563	20,288	146,444	434646.00
	2015	214,804	4,884	15,811	3,425	7,528	15,589	4,590	20,532	151,127	438290.00
	2016	214,894	4,862	15,896	3,366	7,518	15,733	4,621	20,738	153,820	441448.00
	2017	214,983	4,841	15,979	3,309	7,508	15,871	4,653	20,938	156,444	444526.00
	2018	215,070	4,821	16,058	3,252	7,499	16,007	4,682	21,134	158,994	447517.00
	2019	216,601	4,828	17,236	3,315	8,576	14,742	5,129	22,242	174,513	467182.00
	2020	216,776	4,816	17,491	3,275	8,683	14,846	5,225	22,689	180,252	474053.00
	2021	216,641	4,782	17,626	3,221	8,748	14,892	5,297	23,030	185,125	479362.00
2022	216,277	4,736	17,704	3,159	8,791	14,908	5,355	23,318	189,526	483774.00	

fuelle: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)

$$Tasa_de_crecimiento = \left(\frac{Población_2022}{Población_2012} \right)^{1/n} - 1 \quad Tasa_de_crecimiento = \left(\frac{189526}{137235} \right)^{1/n} - 1$$

Tasa de crecimiento = 3.28%

Producto Bruto Interno Según Departamento



La Tasa de Crecimiento Anual del Departamento de Ancash es:

4.50%

r _{vp} =	3.28%	Tasa de Crecimiento Anual de la Población
r _{vc} =	4.50%	Tasa de Crecimiento Anual del PBI Regional

(para vehículos de pasajeros)
(para vehículos de carga)

PROYECCIÓN DE TRÁFICO - SITUACIÓN SIN PROYECTO

Tipo de Vehículo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Tráfico Normal	86	86	88	91	94	100	101	105	110	112	115
AUTO	14	14	14	15	15	16	16	17	18	18	19
STATION WAGON	28	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
CAMIONETAS PICK UP	19	19	20	20	21	22	22	23	24	25	25
CAMIONETAS PANEL	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
CAMIONETAS RURAL Combi	11	11	11	12	12	13	13	13	14	14	15
MICRO	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
BUS 2 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS >=3 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMION 2 E	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	7
CAMION 3 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMION 4 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 2S1/2S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 2S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 3S1/3S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER >= 3S3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4

2.3 Demanda Proyectada "Con Proyecto"

Tráfico Generado por Tipo de Proyecto

Tipo de Intervención	% de Tráfico Normal
Mejoramiento	15

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC

PROYECCIÓN DE TRÁFICO - SITUACIÓN CON PROYECTO

Tipo de Vehículo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Tráfico Normal	86	86	88	91	94	100	101	105	110	112	115
AUTO	14	14	14	15	15	16	16	17	18	18	19
STATION WAGON	28	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
CAMIONETAS PICK UP	19	19	20	20	21	22	22	23	24	25	25
CAMIONETAS PANEL	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
CAMIONETAS RURAL Combi	11	11	11	12	12	13	13	13	14	14	15
MICRO	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
BUS 2 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS >=3 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMION 2 E	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	7
CAMION 3 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMION 4 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 2S1/2S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 2S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 3S1/3S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER >= 3S3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
Tráfico Generado	0	13	13	14	14	15	15	16	17	17	18
AUTO	0	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
STATION WAGON	0	4	4	5	5	5	5	5	5	5	6
CAMIONETAS PICK UP	0	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
CAMIONETAS PANEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMIONETAS RURAL Combi	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MICRO	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BUS 2 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS >=3 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMION 2 E	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CAMION 3 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMION 4 E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 2S1/2S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 2S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER 3S1/3S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMI TRAYLER >= 3S3	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
IMD TOTAL	86	99	101	105	108	115	116	121	127	129	133



Anexo 6: Ejes Equivalentes.

CÁLCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES - ESAL

PERIODO DE DISEÑO	20	AÑOS		
Tasa de Crecimiento por Región en %	$r_{vp} =$	3.28	Tasa de Crecimiento Anual de la Población (REGIÓN ANCASH)	(vehículos de pasajeros)
	$r_{vc} =$	4.50	Tasa de Crecimiento Anual del PBI Regional (REGIÓN ANCASH)	(vehículos de carga)

FUERZA DE PRESIÓN (Fb)	1
FACTOR DIRECCIONAL (Fd)	0.5
FACTOR CARRIL (Fc)	1

Tráfico Actual por Tipo de Vehículo		
Tipo de Vehículo	IMD	Distribución (%)
Automovil	42	48.84
Camioneta	21	24.42
C.R.	11	12.79
Micro	4	4.65
Bus Grande	0	0.00
Camión 2E	5	5.81
Camión 3E	0	0.00
Camión 4E	0	0.00
Semi Trayler 2S1 /2S2	0	0.00
Semi Trayler 2S3	0	0.00
Semi Trayler 3S1 /3S2	0	0.00
Semi Trayler ≥3S3	3	3.49
Trayler 2T2	0	0.00
Trayler 2T3	0	0.00
Trayler 3T2	0	0.00
Trayler ≥3T3	0	0.00
IMD	86	100.00

CONFIGURACIÓN VEHICULAR	EJE DELANTERO	CONJUNTO DE EJES POSTERIORES		
		1RO	2DO	3RO
Bus Grande	7	16		
2E	7	11		
3E	7	18		
4E	7	23		
2S1 /2S2	7	11	18	
2S3	7	11	25	
3S1 /3S2	7	18	18	
≥3S3	7	18	25	
2T2	7	11	11	11
2T3	7	11	11	18
3T2	7	18	11	11
≥3T3	7	18	11	18

	EJE	CONJUNTO DE EJES POSTERIORES			Fvp.
	DELANTERO	1	2	3	
Bus Grande	1.27	1.37			2.63
2E	1.27	3.24			4.50
3E	1.27	2.02			3.28
4E	1.27	1.51			2.77
2S1 /2S2	1.27	3.24	2.02		6.52
2S3	1.27	3.24	1.71		6.21
3S1 /3S2	1.27	2.02	2.02		5.30
≥3S3	1.27	2.02	1.71		4.99
2T2	1.27	3.24	3.24	3.24	10.98
2T3	1.27	3.24	3.24	2.02	9.76
3T2	1.27	2.02	3.24	3.24	9.76
≥3T3	1.27	2.02	3.24	2.02	8.54

DEMANDA PROYECTADA

Para la proyección de la demanda utilizar la siguiente fórmula:

$$T_n = T_0 (1 + r)^{(n-1)}$$

Donde:

- $T_n =$ Tránsito proyectado al año en vehículo por día
- $T_0 =$ Tránsito actual (año base) en vehículo por día
- $n =$ año futuro de proyección
- $r =$ tasa anual de crecimiento de tránsito

DEMANDA PROYECTADA		
Tipo de Vehículo	IMDpi	Distribución (%)
Automovil	78	47.73
Camioneta	39	23.86
C.R.	20	12.50
Micro	7	4.55
Bus Grande	0	0.00
Camión 2E	12	7.10
Camión 3E	0	0.00
Camión 4E	0	0.00
Semi Trayler 2S1 /2S2	0	0.00
Semi Trayler 2S3	0	0.00
Semi Trayler 3S1 /3S2	0	0.00
Semi Trayler ≥3S3	7	4.26
Trayler 2T2	0	0.00
Trayler 2T3	0	0.00
Trayler 3T2	0	0.00
Trayler ≥3T3	0	0.00
IMD	162	100.00

FACTOR DE CRECIMIENTO ACUMULADO:

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

Fca V. Ligeros=	27.65
Fca V. Pesados=	31.37

EJES EQUIVALENTES POR CADA TIPO DE VEHÍCULO:

$$EE_{\text{día-carril}} = IMD_{PI} * F_D * F_C * F_{VPI} * F_{PI}$$

EJES EQUIVALENTES POR CADA TIPO DE VEHÍCULO		
Tipo de Vehículo	EE _{día-carril}	Distribución (%)
Bus Grande	0	0.00
Camión 2E	26	60.06
Camión 3E	0	0.00
Camión 4E	0	0.00
Semi Trayler 2S1 /2S2	0	0.00
Semi Trayler 2S3	0	0.00
Semi Trayler 3S1 /3S2	0	0.00
Semi Trayler ≥3S3	17	39.94
Trayler 2T2	0	0.00
Trayler 2T3	0	0.00
Trayler 3T2	0	0.00
Trayler ≥3T3	0	0.00
IMD	43	100.00

NUMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES DE

$$N_{\text{rep de } EE_{8.2tn}} = \sum [(EE_{\text{día-carril}} * Fca * 365)]$$

$$N_{\text{rep de } EE_{8.2tn}} = 495362 \text{ EE}$$



Anexo 7: Diseño de pavimento flexible por tramos.

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE - TRAMO I

TESIS:	Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022
AUTOR	Bach. Juan Manuel Cipirano, Vara Alva

MÉTODO AASTHO -93

Es uno de los métodos mas utilizados y de mayor utilización a nivel internacional para el diseño de pavimentos rígidos.

FORMULACIÓN DE DISEÑO

La ecuación básica de diseño a la que llegó AASTHO para el diseño de pavimentos rígidos, desde un desarrollo analítico, se encuentra plasmada también en monogramas de cálculo, éstos esencialmente basados en los resultados obtenidos de la prueba experimental de la carretera AASTHO. La ecuación de diseño para pavimentos rígidos modificada para la versión actual es la que a continuación se presenta:

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W18) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{1094} + 2.32 \text{Log}_{10}(Mr) - 8.07$$
$$0.4 + \frac{1}{(SN+1)^{5.19}}$$

Donde:	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resilencia

VARIABLES DEL DISEÑO

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

En base a este número estructural, se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo establecido en el proyecto.

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1.1.- Transito (demanda)

Probablemente, la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg2.

Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T_n = T_o (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

Tn = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día.

To = Tránsito actual (año base o) en veh/día.

n = Años del período de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico(*) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento.

1.2.- Determinación del tránsito existente.

El volumen existente en el tramo, considera el promedio diario anual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos.

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

a. El tránsito promedio semanal (TPDS) mediante conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de semana+Sábado+Domingo), como mínimo, de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Así mismo en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuara un censo de carga Vehicular durante 2 días consecutivos.

b. Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

c. Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESAL'S(W18)

ESAL's(W18) =	495,362.00
ESAL's(W18) =	4.95E+05

2. CONFIABILIDAD:

Se denomina confiabilidad (R%) a la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación. También se puede entender a la confiabilidad como un factor de seguridad, de ahí que su uso se debe al mejor de los criterios.

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75,000	150,000	65%
	T ₁₁	150,001	300,000	70%
	T ₁₂	300,001	500,000	75%
	T ₁₃	500,001	750,000	80%
	T ₁₄	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T ₁₅	1,000,001	1,500,000	85%
	T ₁₆	1,500,001	3,000,000	85%
	T ₁₇	3,000,001	5,000,000	85%
	T ₁₈	5,000,001	7,500,000	90%
	T ₁₉	7,500,001	10,000,000	90%
	T ₂₀	10,000,001	12,500,000	90%
	T ₂₁	12,500,001	15,000,000	90%
	T ₂₂	15,000,001	20,000,000	95%
	T ₂₃	20,000,001	25,000,000	95%
	T ₂₄	25,000,001	30,000,000	95%
	T ₂₅	>30,000,000		95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Cuadro 12.8
Coefficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75,000	150,000	-0.385
	T ₁₁	150,001	300,000	-0.524
	T ₁₂	300,001	500,000	-0.674
	T ₁₃	500,001	750,000	-0.842
	T ₁₄	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T ₁₅	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T ₁₆	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T ₁₇	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T ₁₈	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T ₁₉	7,500,001	10,000,000	-1.282
	T ₂₀	10,000,001	12,500,000	-1.282
	T ₂₁	12,500,001	15,000,000	-1.282
	T ₂₂	15,000,001	20,000,000	-1.645
	T ₂₃	20,000,001	25,000,000	-1.645
	T ₂₄	25,000,001	30,000,000	-1.645
	T ₂₅	>30,000,000		-1.645

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

$$R (\%) = 75.00 \%$$

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr).

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

$$Z_r = -0.674$$

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO (So):

AASHTO propuso los siguientes valores para seleccionar la Variabilidad o Error Estándar Combinado So, cuyo valor recomendado es:

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.45

$$S_o = 0.450$$

4. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Serviabilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

P _o =	3.8
P _t =	2.0

$$\Delta \text{PSI} = P_o - P_t$$

$$\Delta \text{PSI} = 1.80$$

5. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

El módulo resiliente es una medida de la rigidez del suelo de sub rasante, el cual para su cálculo, deberá determinarse mediante el ensayo de resiliencia determinado de acuerdo a las recomendaciones del AASHTO

$$\text{CBR} = 28.33 \%$$

$$\text{Mr} = 21718.44 \text{ PSI}$$

$$\text{Número Estructural requerido } \text{SN} = 1.838$$

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

$$\text{Log}_{10}(W18) - Z_r \times S_o + 0.20 + 8.07$$

$$14.268 \dots \text{Ecuación I}$$

$$9.36 \times \text{Log}_{10}(\text{SN} + 1) + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right)}{1094} + 2.32 \text{Log}_{10}(\text{Mr})$$

$$0.4 + \frac{5.19}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}$$

$$14.268 \dots \text{Ecuación II}$$

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$\text{SN} = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

SN	=	Número Estructural.
a _{1,2,3}	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d _{1,2,3}	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m _{2,3}	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

$$a_1 = 0.17 \text{ /cm}$$

$$a_2 = 0.052 \text{ /cm}$$

$$a_3 = 0.047 \text{ /cm}$$

CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00

Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

$$m_2 = 1$$

$$m_3 = 1$$

Esesor de capa Superficial **D1 = 5.00 Cm**

Esesor de Base **D2 = 10.00 Cm**

Esesor de Subbase **D3 = 10.00 Cm**

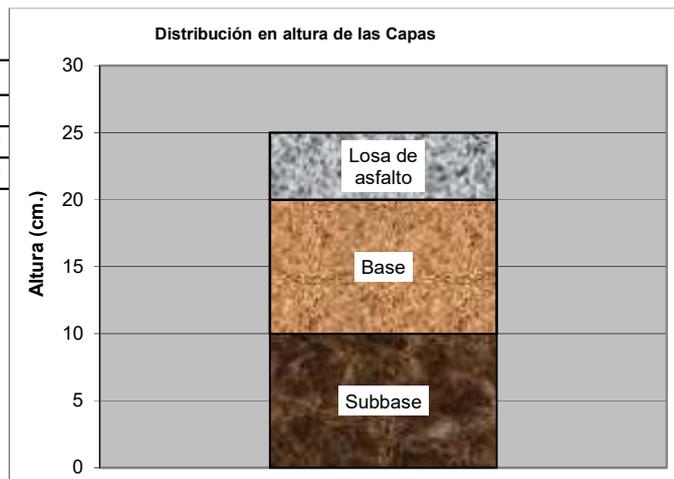
Número Estructural requerido **SN = 1.838**

Número Estructural calulado **SN = 1.840**

Comparando ambos "SN" **CUMPLE**

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

	Pulg.	Cm.
Losa de C° Asfáltico	e= 0.020	5.00
Base Granular	e= 0.039	10.00
Subbase granular	e= 0.039	10.00



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE - TRAMO II

TESIS:	Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022
AUTOR	Bach. Juan Manuel Cipirano, Vara Alva

MÉTODO AASTHO -93

Es uno de los métodos mas utilizados y de mayor utilización a nivel internacional para el diseño de pavimentos rígidos.

FORMULACIÓN DE DISEÑO

La ecuación básica de diseño a la que llegó AASTHO para el diseño de pavimentos rígidos, desde un desarrollo analítico, se encuentra plasmada también en monogramas de cálculo, éstos esencialmente basados en los resultados obtenidos de la prueba experimental de la carretera AASTHO. La ecuación de diseño para pavimentos rígidos modificada para la versión actual es la que a continuación se presenta:

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W18) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{1094} + 2.32 \text{Log}_{10}(Mr) - 8.07$$
$$0.4 + \frac{1}{(SN+1)^{5.19}}$$

Donde:	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resilencia

VARIABLES DEL DISEÑO

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

En base a este número estructural, se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo establecido en el proyecto.

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1.1.- Transito (demanda)

Probablemente, la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg2.

Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T_n = T_o (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día.

T_o = Tránsito actual (año base o) en veh/día.

n = Años del período de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico(*) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento.

1.2.- Determinación del tránsito existente.

El volumen existente en el tramo, considera el promedio diario anual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos.

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

a. El tránsito promedio semanal (TPDS) mediante conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de semana+Sábado+Domingo), como mínimo, de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Así mismo en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuara un censo de carga Vehicular durante 2 días consecutivos.

b. Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

c. Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESAL'S(W18)

ESAL's(W18) =	495,362.00
ESAL's(W18) =	4.95E+05

2. CONFIABILIDAD:

Se denomina confiabilidad (R%) a la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación. También se puede entender a la confiabilidad como un factor de seguridad, de ahí que su uso se debe al mejor de los criterios.

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75,000	150,000	65%
	T ₁₁	150,001	300,000	70%
	T ₁₂	300,001	500,000	75%
	T ₁₃	500,001	750,000	80%
	T ₁₄	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T ₁₅	1,000,001	1,500,000	85%
	T ₁₆	1,500,001	3,000,000	85%
	T ₁₇	3,000,001	5,000,000	85%
	T ₁₈	5,000,001	7,500,000	90%
	T ₁₉	7,500,001	10,000,000	90%
	T ₂₀	10,000,001	12,500,000	90%
	T ₂₁	12,500,001	15,000,000	90%
	T ₂₂	15,000,001	20,000,000	95%
	T ₂₃	20,000,001	25,000,000	95%
	T ₂₄	25,000,001	30,000,000	95%
	T ₂₅	>30,000,000		95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Cuadro 12.8
Coefficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75,000	150,000	-0.385
	T ₁₁	150,001	300,000	-0.524
	T ₁₂	300,001	500,000	-0.674
	T ₁₃	500,001	750,000	-0.842
	T ₁₄	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T ₁₅	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T ₁₆	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T ₁₇	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T ₁₈	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T ₁₉	7,500,001	10,000,000	-1.282
	T ₂₀	10,000,001	12,500,000	-1.282
	T ₂₁	12,500,001	15,000,000	-1.282
	T ₂₂	15,000,001	20,000,000	-1.645
	T ₂₃	20,000,001	25,000,000	-1.645
	T ₂₄	25,000,001	30,000,000	-1.645
	T ₂₅	>30,000,000		-1.645

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

$$R (\%) = 75.00 \%$$

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr).

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

$$Z_r = -0.674$$

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO (So):

AASHTO propuso los siguientes valores para seleccionar la Variabilidad o Error Estándar Combinado So, cuyo valor recomendado es:

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.45

$$S_o = 0.450$$

4. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Serviabilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

P _o =	3.8
P _t =	2.0

$$\Delta \text{PSI} = P_o - P_t$$

$$\Delta \text{PSI} = 1.80$$

5. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

El módulo resiliente es una medida de la rigidez del suelo de sub rasante, el cual para su cálculo, deberá determinarse mediante el ensayo de resiliencia determinado de acuerdo a las recomendaciones del AASHTO

$$\text{CBR} = 12.8 \%$$

$$\text{Mr} = 13061.87 \text{ PSI}$$

$$\text{Número Estructural requerido } \text{SN} = 2.242$$

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

$$\text{Log}_{10}(W18) - Z_r \times S_o + 0.20 + 8.07$$

$$14.268 \dots \text{Ecuación I}$$

$$9.36 \times \text{Log}_{10}(\text{SN} + 1) + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right)}{1094} + 2.32 \text{Log}_{10}(\text{Mr})$$

$$0.4 + \frac{5.19}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}$$

$$14.268 \dots \text{Ecuación II}$$

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$\text{SN} = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

SN	=	Número Estructural.
a _{1,2,3}	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d _{1,2,3}	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m _{2,3}	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

$$a_1 = 0.17 \text{ /cm}$$

$$a_2 = 0.052 \text{ /cm}$$

$$a_3 = 0.047 \text{ /cm}$$

CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00

Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

$$m_2 = 1$$

$$m_3 = 1$$

Esesor de capa Superficial **D1 = 5.00 Cm**

Esesor de Base **D2 = 10.00 Cm**

Esesor de Subbase **D3 = 20.00 Cm**

Número Estructural requerido **SN = 2.242**

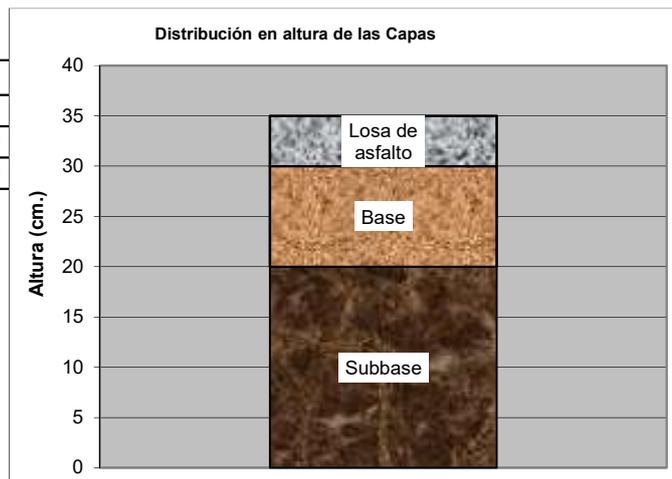
Número Estructural calulado **SN = 2.310**

Comparando ambos "SN"

CUMPLE

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

	Pulg.	Cm.
Losa de C° Asfáltico	e= 0.020	5.00
Base Granular	e= 0.039	10.00
Subbase granular	e= 0.079	20.00



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE - TRAMO III

TESIS:	Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022
AUTOR	Bach. Juan Manuel Cipirano, Vara Alva

MÉTODO AASTHO -93

Es uno de los métodos mas utilizados y de mayor utilización a nivel internacional para el diseño de pavimentos rígidos.

FORMULACIÓN DE DISEÑO

La ecuación básica de diseño a la que llegó AASTHO para el diseño de pavimentos rígidos, desde un desarrollo analítico, se encuentra plasmada también en monogramas de cálculo, éstos esencialmente basados en los resultados obtenidos de la prueba experimental de la carretera AASTHO. La ecuación de diseño para pavimentos rígidos modificada para la versión actual es la que a continuación se presenta:

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W18) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{1094} + 2.32 \text{Log}_{10}(Mr) - 8.07$$
$$0.4 + \frac{1}{(SN+1)^{5.19}}$$

Donde:	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resilencia

VARIABLES DEL DISEÑO

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

En base a este número estructural, se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo establecido en el proyecto.

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1.1.- Transito (demanda)

Probablemente, la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg2.

Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T_n = T_o (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día.

T_o = Tránsito actual (año base o) en veh/día.

n = Años del período de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico(*) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento.

1.2.- Determinación del tránsito existente.

El volumen existente en el tramo, considera el promedio diario anual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos.

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

a. El tránsito promedio semanal (TPDS) mediante conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de semana+Sábado+Domingo), como mínimo, de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Así mismo en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuara un censo de carga Vehicular durante 2 días consecutivos.

b. Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

c. Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESAL'S(W18)

ESAL's(W18) =	495,362.00
ESAL's(W18) =	4.95E+05

2. CONFIABILIDAD:

Se denomina confiabilidad (R%) a la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación. También se puede entender a la confiabilidad como un factor de seguridad, de ahí que su uso se debe al mejor de los criterios.

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75,000	150,000	65%
	T ₁₁	150,001	300,000	70%
	T ₁₂	300,001	500,000	75%
	T ₁₃	500,001	750,000	80%
	T ₁₄	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T ₁₅	1,000,001	1,500,000	85%
	T ₁₆	1,500,001	3,000,000	85%
	T ₁₇	3,000,001	5,000,000	85%
	T ₁₈	5,000,001	7,500,000	90%
	T ₁₉	7,500,001	10,000,000	90%
	T ₂₀	10,000,001	12,500,000	90%
	T ₂₁	12,500,001	15,000,000	90%
	T ₂₂	15,000,001	20,000,000	95%
	T ₂₃	20,000,001	25,000,000	95%
	T ₂₄	25,000,001	30,000,000	95%
	T ₂₅	>30,000,000		95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Cuadro 12.8
Coefficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75,000	150,000	-0.385
	T ₁₁	150,001	300,000	-0.524
	T ₁₂	300,001	500,000	-0.674
	T ₁₃	500,001	750,000	-0.842
	T ₁₄	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T ₁₅	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T ₁₆	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T ₁₇	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T ₁₈	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T ₁₉	7,500,001	10,000,000	-1.282
	T ₂₀	10,000,001	12,500,000	-1.282
	T ₂₁	12,500,001	15,000,000	-1.282
	T ₂₂	15,000,001	20,000,000	-1.645
	T ₂₃	20,000,001	25,000,000	-1.645
	T ₂₄	25,000,001	30,000,000	-1.645
	T ₂₅	>30,000,000		-1.645

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

$$R (\%) = 75.00 \%$$

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr).

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

$$Zr = -0.674$$

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO (So):

AASHTO propuso los siguientes valores para seleccionar la Variabilidad o Error Estándar Combinado So, cuyo valor recomendado es:

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.45

$$So = 0.450$$

4. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Serviabilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

P _o =	3.8
P _t =	2.0

$$\Delta \text{PSI} = P_o - P_t$$

$$\Delta \text{PSI} = 1.80$$

5. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

El módulo resiliente es una medida de la rigidez del suelo de sub rasante, el cual para su cálculo, deberá determinarse mediante el ensayo de resiliencia determinado de acuerdo a las recomendaciones del AASHTO

$$\text{CBR} = 35 \%$$

$$\text{Mr} = 24865.34 \text{ PSI}$$

$$\text{Número Estructural requerido } \text{SN} = 1.741$$

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

$$\text{Log}_{10}(W18) - Z_r \times S_o + 0.20 + 8.07$$

$$14.268 \dots \text{Ecuación I}$$

$$9.36 \times \text{Log}_{10}(\text{SN} + 1) + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right)}{1094} + 2.32 \text{Log}_{10}(\text{Mr})$$

$$0.4 + \frac{5.19}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}$$

$$14.268 \dots \text{Ecuación II}$$

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$\text{SN} = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

SN	=	Número Estructural.
a _{1,2,3}	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d _{1,2,3}	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m _{2,3}	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

$$a_1 = 0.17 \text{ /cm}$$

$$a_2 = 0.052 \text{ /cm}$$

$$a_3 = 0.047 \text{ /cm}$$

CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00

Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

m2 = 1

m3 = 1

Esesor de capa Superficial **D1 = 5.00 Cm**

Esesor de Base **D2 = 10.00 Cm**

Esesor de Subbase **D3 = 10.00 Cm**

Número Estructural requerido **SN = 1.741**

Número Estructural calulado **SN = 1.840**

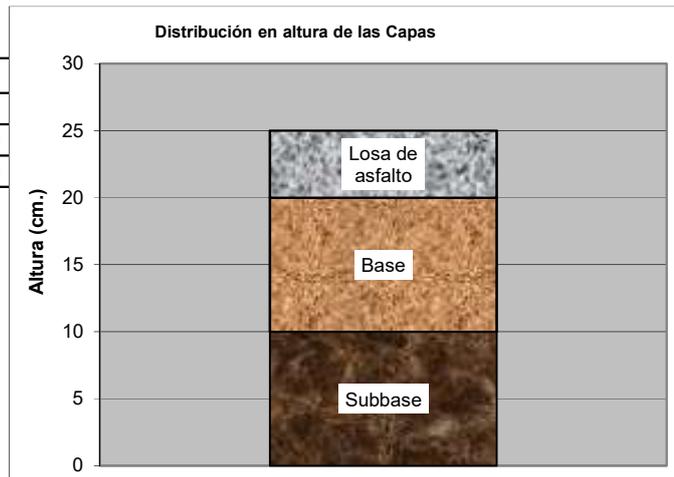
Comparando ambos "SN"

CUMPLE

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Losa de C° Asfáltico
Base Granular
Subbase granular

	Pulg.	Cm.
e=	0.020	5.00
e=	0.039	10.00
e=	0.039	10.00



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE - TRAMO IV

TESIS:	Aplicación de Medida Sustentable: Sistema Bitufor en la Pavimentación de 8.4 km de la carretera carbonera –Nepeña - 2022
AUTOR	Bach. Juan Manuel Cipirano, Vara Alva

MÉTODO AASTHO -93

Es uno de los métodos mas utilizados y de mayor utilización a nivel internacional para el diseño de pavimentos rígidos.

FORMULACIÓN DE DISEÑO

La ecuación básica de diseño a la que llegó AASTHO para el diseño de pavimentos rígidos, desde un desarrollo analítico, se encuentra plasmada también en monogramas de cálculo, éstos esencialmente basados en los resultados obtenidos de la prueba experimental de la carretera AASTHO. La ecuación de diseño para pavimentos rígidos modificada para la versión actual es la que a continuación se presenta:

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W18) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10}(Mr) - 8.07$$

Donde:	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resilencia

VARIABLES DEL DISEÑO

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

En base a este número estructural, se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo establecido en el proyecto.

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1.1.- Transito (demanda)

Probablemente, la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg2.

Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T_n = T_o (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

Tn = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día.

To = Tránsito actual (año base o) en veh/día.

n = Años del período de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico(*) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento.

1.2.- Determinación del tránsito existente.

El volumen existente en el tramo, considera el promedio diario anual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos.

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

a. El tránsito promedio semanal (TPDS) mediante conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de semana+Sábado+Domingo), como mínimo, de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Así mismo en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuara un censo de carga Vehicular durante 2 días consecutivos.

b. Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

c. Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESAL'S(W18)

ESAL's(W18) =	495,362.00
ESAL's(W18) =	4.95E+05

2. CONFIABILIDAD:

Se denomina confiabilidad (R%) a la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación. También se puede entender a la confiabilidad como un factor de seguridad, de ahí que su uso se debe al mejor de los criterios.

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75,000	150,000	65%
	T ₁₁	150,001	300,000	70%
	T ₁₂	300,001	500,000	75%
	T ₁₃	500,001	750,000	80%
	T ₁₄	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T ₁₅	1,000,001	1,500,000	85%
	T ₁₆	1,500,001	3,000,000	85%
	T ₁₇	3,000,001	5,000,000	85%
	T ₁₈	5,000,001	7,500,000	90%
	T ₁₉	7,500,001	10,000,000	90%
	T ₂₀	10,000,001	12,500,000	90%
	T ₂₁	12,500,001	15,000,000	90%
	T ₂₂	15,000,001	20,000,000	95%
	T ₂₃	20,000,001	25,000,000	95%
	T ₂₄	25,000,001	30,000,000	95%
	T ₂₅	>30,000,000		95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Cuadro 12.8
Coefficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75,000	150,000	-0.385
	T ₁₁	150,001	300,000	-0.524
	T ₁₂	300,001	500,000	-0.674
	T ₁₃	500,001	750,000	-0.842
	T ₁₄	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T ₁₅	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T ₁₆	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T ₁₇	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T ₁₈	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T ₁₉	7,500,001	10,000,000	-1.282
	T ₂₀	10,000,001	12,500,000	-1.282
	T ₂₁	12,500,001	15,000,000	-1.282
	T ₂₂	15,000,001	20,000,000	-1.645
	T ₂₃	20,000,001	25,000,000	-1.645
	T ₂₄	25,000,001	30,000,000	-1.645
	T ₂₅	>30,000,000		-1.645

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

$$R (\%) = 75.00 \quad \%$$

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr).

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

$$Z_r = -0.674$$

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO (So):

AASHTO propuso los siguientes valores para seleccionar la Variabilidad o Error Estándar Combinado So, cuyo valor recomendado es:

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.45

$$S_o = 0.450$$

4. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Serviabilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

P _o =	3.8
P _t =	2.0

$\Delta PSI = P_o - P_t$

$\Delta PSI =$	1.80
----------------	------

5. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

El módulo resiliente es una medida de la rigidez del suelo de sub rasante, el cual para su cálculo, deberá determinarse mediante el ensayo de resiliencia determinado de acuerdo a las recomendaciones del AASHTO

CBR =	23.66 %
-------	---------

Mr =	19353.54 PSI
------	--------------

Número Estructural requerido	SN =	1.924
------------------------------	------	-------

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

$\log_{10}(W18) - Z_r \times S_o + 0.20 + 8.07$

14.268 ... Ecuación I

$9.36 \times \log_{10}(SN+1) + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{1094} + 2.32 \log_{10}(Mr)$ $0.4 + \frac{5.19}{(SN+1)^{5.19}}$

14.268 ... Ecuación II

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$

SN	=	Número Estructural.
a _{1,2,3}	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d _{1,2,3}	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m _{2,3}	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

a ₁ =	0.17	/cm
------------------	------	-----

a ₂ =	0.052	/cm
------------------	-------	-----

a ₃ =	0.047	/cm
------------------	-------	-----

CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00

Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

$$m_2 = 1$$

$$m_3 = 1$$

Esesor de capa Superficial **D1 = 5.00 Cm**

Esesor de Base **D2 = 10.00 Cm**

Esesor de Subbase **D3 = 20.00 Cm**

Número Estructural requerido **SN = 1.924**

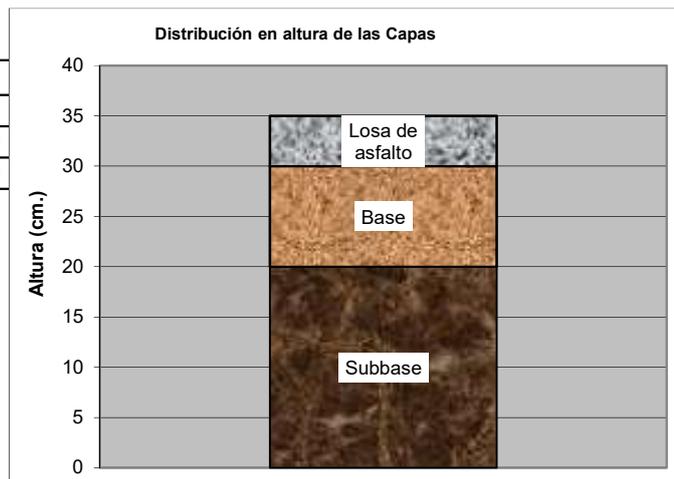
Número Estructural calulado **SN = 2.310**

Comparando ambos "SN"

CUMPLE

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

	Pulg.	Cm.
Losa de C° Asfáltico	e= 0.020	5.00
Base Granular	e= 0.039	10.00
Subbase granular	e= 0.079	20.00





Anexo 8: Panel Fotográfico.

PANEL FOTOGRAFICO



Foto N° 01: Excavación de la calicata N° 01



Foto N° 02: Excavación de la calicata N° 02



Foto N° 03: Excavación de la calicata N° 03



Foto N° 04: Excavación de la calicata N° 04



Foto N° 05: Excavación de la calicata N° 05



Foto N° 06: Excavación de la calicata N° 06



Foto N° 07: Excavación de la calicata N° 07



Foto N° 08: Excavación de la calicata N° 08



Foto N° 09: Excavación de la calicata N° 09



Foto N° 10: Excavación de la calicata N° 10



Foto N° 11: Excavación de la calicata N° 11



Foto N° 12: Excavación de la calicata N° 12



Foto N° 13: Excavación de la calicata N° 13