



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL.

“Diseño de pavimento flexible empleando Método AASHTO 93 para  
mejoramiento de infraestructura vial en la carretera Cajamarca –  
Celendín 2021”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniera Civil

**AUTORA:**

Bach. Inocente Carrera, Sherrly Katherin (ORCID: 0000-0002-3925-0766)

**ASESOR:**

Mg. Aybar Arriola, Gustavo Adolfo (ORCID: 0000-0001-8625-3989)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de infraestructura vial.

LIMA - PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

A mis padres y amigos, por todo su apoyo.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad César Vallejo y a mis asesores de tesis.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	10
3.1 Tipo y diseño de la investigación .....	10
3.2 Variables y operacionalización .....	10
3.3 Población, muestra y muestreo .....	11
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .	11
3.5 Procedimientos .....	13
3.6 Manejo de análisis de datos .....	16
3.7 Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS.....	21
V. DISCUSIÓN.....	30

VI. CONCLUSIONES .....	34
VII. RECOMENDACIONES.....	35
REFERENCIAS.....	36
ANEXOS .....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño.....	21
Tabla 2: Categorías de la subrasante. ....	22
Tabla 3: Valores recomendados para la confiabilidad (%R).....	23
Tabla 4: Valores de desviación normal estándar ( $Z_r$ ).....	23
Tabla 5: Índice de serviciabilidad inicial ( $P_i$ ) según el tráfico.....	24
Tabla 6: Índice de serviciabilidad final ( $P_t$ ) según el tráfico.....	24
Tabla 7: Valores del coeficiente estructural $a_1$ .....	25
Tabla 8: Valores del coeficiente estructural $a_2$ .....	26
Tabla 9: Valores del coeficiente estructural $a_3$ .....	26
Tabla 10: Valores recomendados de espesores mínimos de capa superficial y base granular. ....	27
Tabla 11: Características capas estructurales del pavimento flexible. ....	28
Tabla 12: Matriz de consistencia. ....	29
Tabla 13: Matriz de operacionalización de variables.....	30
Tabla 14: Ficha de validación.....	32
Tabla 15: Memoria de cálculo para determinación de espesores de capas estructurales.....	34
Tabla 16: Memoria de cálculo – estudio de tráfico. ....	35
Tabla 17: Ficha de observación. ....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fotos del área en estudio.....	2
Figura 2: Estructura pavimento flexible.....	7
Figura 3: Tipos de fallas en el pavimento flexible.....	8
Figura 4: Máquina para ensayo de CBR.....	12
Figura 5: Tamices empleados en el análisis granulométrico.....	13
Figura 6: Fallas de tipo piel de cocodrilo en el pavimento existente.....	14
Figura 7: Diagrama de flujo del procedimiento realizado.....	15
Figura 8: Vista de la zona en estudio.....	17
Figura 9: Fallas en el pavimento existente.....	17
Figura 10: Ubicación de la zona en estudio – Localidad de La Encañada.....	18
Figura 11: Diseño de pavimento flexible.....	28
Figura 12: Falla de tipo piel de cocodrilo en la carretera Cajamarca-Celendín. Progresiva Km 26+000 a 27+000.....	29
Figura 13: Vista de la carretera Cajamarca-Celendín en la localidad de La Encañada.....	30
Figura 14: Grietas de borde en la carretera Cajamarca-Celendín. Progresiva Km 26+000 a 27+000.....	31
Figura 15: Plano de ubicación de la carretera Cajamarca-Celendín.....	32
Figura 16: Plano clave de la carretera Cajamarca Celendín.....	33
Figura 17: Plano N°1 de sección típica.....	35
Figura 18: Plano N°2 de sección típica.....	36
Figura 19: Ensayo de CBR – hoja 1.....	37
Figura 20: Ensayo de CBR – hoja 2.....	38
Figura 21: Ensayo de análisis granulométrico.....	39
Figura 22: Ensayo de límites de consistencia (Atterberg).....	40

## RESUMEN

La presente tesis titulada “Diseño de pavimento flexible empleando Método AASHTO 93 para mejoramiento de infraestructura vial en la carretera Cajamarca – Celendín 2021”, tiene por finalidad realizar el diseño de pavimento flexible empleando los criterios del Método AASHTO 93 y así mejorar la infraestructura de la carretera Cajamarca-Celendín, optimizando la transitabilidad de los vehículos.

La presente tesis toma como objeto de estudio a la carretera Cajamarca – Celendín en la progresiva Km 26+000 a 27+000, la cual es aledaña a la Localidad de La Encañada, perteneciente a la provincia y departamento de Cajamarca.

El tema elegido para la presente tesis es muy importante debido a que el tramo de la carretera Cajamarca-Celendín aledaño a la localidad de La Encañada se encuentra lamentablemente deteriorado, lo cual impide a los pobladores de dicha localidad comercializar sus productos agrícolas, así como la llegada de turistas al pueblo, puesto que el turismo también constituye una fuente de ingresos económicos importante para dicha localidad.

Dentro de los principales aportes de la presente tesis podemos mencionar que, mediante el diseño del pavimento flexible empleando el Método AASHTO 93 se podrá mejorar la infraestructura vial en la carretera Cajamarca – Celendín.

**Palabras clave: Pavimento flexible, infraestructura vial.**

## **ABSTRACT**

The present thesis entitled "Flexible pavement design using the AASHTO 93 Method to improve road infrastructure on the Cajamarca - Celendín 2021 highway", aims to carry out the flexible pavement design using the AASHTO 93 Method criteria and thus improve the infrastructure of Cajamarca-Celendín highway, optimizing the trafficability of the vehicles.

The present thesis takes as object of study the Cajamarca - Celendín highway in the progressive Km 26 + 000 to 27 + 000, which is adjacent to the town of La Encañada, belonging to the province and department of Cajamarca.

The topic chosen for this thesis is very important because the section of the Cajamarca-Celendín highway near the town of La Encañada is unfortunately deteriorated, which prevents the residents of that town from marketing their agricultural products, as well as the arrival of tourists to the town, since tourism also constitutes an important source of economic income for the town.

Among the main contributions of this thesis we can mention that, through the design of the flexible pavement using the AASHTO 93 Method, the road infrastructure on the Cajamarca - Celendín highway can be improved.

**Keywords: Flexible pavement, road infrastructure.**

## I. INTRODUCCIÓN

Según el censo del 2017 realizado por el INEI, hay 19.175 habitantes (9.056 y 10.119 personas). La Encañada, el mismo número que vive en casas colectivas especiales. El número promedio de personas por hogar es de 6026 personas. El distrito tiene un área total de 635.06 km<sup>2</sup>, con lo cual presenta una densidad demográfica de 30.19 hab / km<sup>2</sup>.

Para un mejor análisis de la población, el área se divide en tres sectores bien definidos: el sector Chanta-Yanakancha, el sector Kombayo y el sector Encanyada. Esta última es la localidad de La Encagnada, que a su vez es la capital de la comarca. Su economía está ligada a la agricultura, el comercio y el turismo porque es una ciudad pintoresca con hermosos paisajes, majestuosos sitios turísticos y paisajes encantadores. Además, los pueblitos de El Progreso, La Torre y Sogoron albergan increíbles hallazgos arqueológicos de la época preincaica.

Todo ello garantiza la existencia de una vía eficiente, asegurando un buen tráfico de vehículos tanto para el comercio de alimentos como para la llegada de turistas. Así, una de las vías más importantes es la carretera Cajamarca - Celendín, la cual, lamentablemente, se encuentra en mal estado y tiene un bajo nivel de mantenimiento.

Se plantea mejorar la carretera especificada mediante el diseño de un nuevo pavimento flexible que puede mejorar la vida de los residentes a través de un mayor turismo y comercio. Así, para la tesis actual se tuvo en cuenta como objeto de análisis la carretera Cajamarca - Celendín en su kilómetro progresivo de 26 + 000 a 27 + 000, que es el sitio cercano a la ciudad de la Encañada donde se realizó el nuevo diseño del pavimento flexible es. Se llevará a cabo de acuerdo con la metodología AASHTO 93.

Figura 1: Fotos del área



Se formula la pregunta del problema general: ¿De qué manera el diseño de pavimento flexible empleando el Método AASHTO 93 permitirá mejorar la infraestructura vial de la carretera Cajamarca - Celendín 2021? también, se formula 3 problemas específicos, siendo el primer problema específico ¿De qué manera el diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad de la carretera Cajamarca - Celendín 2021? El segundo problema específico, ¿De qué manera el diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021? Y el tercer problema específico ¿De qué manera interviene en el diseño de pavimento flexible el tráfico vehicular de la carretera Cajamarca - Celendín 2021?

La investigación muestra una justificación que es la comprensión y estudio del método AASHTO 93 y su mayor utilidad en el diseño de recubrimientos flexibles, asegurando el buen desempeño de dichos recubrimientos. Explicará en detalle cómo se diseñó la composición del pavimento, los criterios de diseño y los procedimientos adicionales que se están aplicando actualmente para optimizar el método AASHTO 93, el estudio presentado demuestra la justificación social ya que el título elegido para esta disertación será de gran beneficio para los habitantes de la Encañada y los pueblos vecinos de Cajamarca, ya que mejorara la vida de los pobladores debido a una mayor comunicación entre ciudades, incrementando el comercio de productos agrícolas. productos y el aumento del turismo en la zona. Sin embargo, el efecto económico es claro porque evitó pérdidas económicas por mala construcción de carreteras flexibles, evitando un mantenimiento muy constante que encarecería el proyecto a largo plazo. Asimismo, será posible

mejorar las economías de los habitantes de la encañada y pueblos aledaños optimizando el comercio de alimentos (por ser comunidades agrícolas) y el turismo en dicho pueblo, todo ello mejorando la construcción de la carretera en la carretera Cajamarca - Celendín.

Como hipótesis general está establecido que: mediante el diseño de pavimento flexible usando el procedimiento AASHTO 93 se podrá perfeccionar dicha infraestructura vial de la carretera Cajamarca - Celendín 2021. Asimismo, muestro tres hipótesis específicas. La primera hipótesis específica: El diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad en la carretera Cajamarca - Celendín 2021. La segunda hipótesis específica: El diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021. Y la tercera hipótesis específica: La determinación adecuada del tráfico vehicular permite diseñar el pavimento flexible según AASHTO 93 de la carretera Cajamarca - Celendín 2021.

Por otra parte, la presente tesis tiene por objetivo general, elaborar el diseño del pavimento flexible usando el procedimiento AASHTO 93 haciendo mejoras a la infraestructura vial en la carretera Cajamarca - Celendín 2021. Asimismo, muestra tres fines propios. existiendo el objetivo específico primero, resolver cómo el diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad en la carretera Cajamarca - Celendín 2021. El segundo objetivo específico, establecer cómo el diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021. Y el tercer objetivo específico, determinar el tráfico vehicular en la carretera Cajamarca - Celendín 2021.

## II. MARCO TEÓRICO

### Antecedentes internacionales

Cedeño (2014) “Propuesta de una metodología complementaria para el diseño de pavimentos según AASHTO 93”, tesis para ser ingeniero civil en Ecuador, su objetivo es ejecutar una aplicación que sirva para diseñar y analizar en profundidad una armadura del pavimento flexible, se debe tener en cuenta los criterios de la metodología AASHTO 93. El método utilizado fue descriptivo y explicativo. Al final, se concluyó que la aplicación propuesta es bastante efectiva, ya que permite al diseñador incluir un conjunto mínimo de datos, al tiempo que obtiene un resultado similar sobre el comportamiento de una armadura del pavimento flexible frente a cargas e influencias ambientales.

Salamanca y Zuluaga (2014) “Diseño de una composición de pavimento flexible utilizando INVIAS, AASHTO 93 y el Instituto de Asfalto para la vía Ye - Santa Lucía Barranca Lebrija entre la abscisa K19 + 250 y K25 + 750 ubicada en el departamento de Del Cesar”, su objetivo fue diseñar capas de pavimento estructural flexible en la carretera especificada utilizando metodologías como AASHTO 93, INVIAS e Instituto del Asfalto. Cabe señalar que el método utilizado fue descriptivo. Como resultado, se concluyó que la construcción del pavimento mediante el procedimiento AASHTO 93 consistió en una capa de asfalto de 16 cm, una base granular de 15 cm y una base granular de 15 cm.

Espinoza (2018) “Análisis de alternativas en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el procedimiento AASHTO 93”, su objetivo fue explorar y comparar las opciones de diseño y los costos generales asociados con los pisos rígidos y flexibles de acuerdo con el método AASHTO. Cabe señalar que la metodología utilizada fue descriptiva y explicativa. Como resultado, se encontró que el hormigón asfáltico es un material caro, por esta razón, las capas con un espesor funcional mínimo deben colocarse de acuerdo con el número de ejes iguales, y el espesor de las capas inferiores en funcionalidad debe establecerse igual el número estructural proporcionada por la calzada.

García, Gutiérrez y Hernández (2014) "Estudio comparativo para el diseño de pavimentos flexibles mediante alternativas: procedimiento mecánico experimental IMT-PAVE y CR-ME mediante el método AASHTO 93" concluyó que al realizar un estudio similar para el diseño de pavimentos de rodadura utilizando las opciones IMT-PAVE, CR-ME y el procedimiento AASHTO 93. Cabe señalar que la metodología utilizada fue explicativa. Como resultado, se concluyó que, con respecto a los espesores requeridos, los métodos son el conocimiento de la mecánica muestran los diseños con mucha más precisión.

Barrera (2015) "Fallas en pavimentos flexibles: causas, efectos y soluciones", según lo señalado por presentado con el propósito de completar un expediente general de consultas para orientación en las tareas de reparación y reconstrucción de pavimentos asfálticos, mejora de la práctica en esta área. Su metodología fue descriptiva y explicativa. Como resultado, se concluyó que para que la superficie de la carretera sea duradera debe cumplir: estar bien diseñada, cumplir estrictamente con las cualidades técnicas de los componentes y equipos, tener el diseño y los métodos de construcción correctos.

### **Antecedentes nacionales**

Quiñones (2017), "Diseño de una calzada flexible: sobre la Av. Alfonso Ugarte, ubicada en el distrito de Hualhuas, provincia de Huancayo, 2016", su objetivo fue analizar la capa de asfalto para su diseño de una vía de pavimento de rodadura en la avenida especificada. Es necesario señalar que el método utilizado fue explicativo. Como resultado, se concluyó que el nuevo pavimento flexible a construir estaría compuesto por una base de 35 cm de espesor y una capa de asfalto de 5 cm de espesor.

Llance, Mayta, Meza y Paredes (2019) "Propuesta de diseño de pavimento urbano para la avenida Oxapampa en Quiparacra-Pasco-2019", su objetivo de crear un diseño de pavimento urbano, es importante señalar que el método utilizado fue descriptivo. Como resultado, se concluyó que el uso de pavimento flexible en frío con emulsión asfáltica se ofrece a un costo directo, la proximidad de las canteras, equipos y materiales necesarios para el uso comparativo de pavimento rígido.

Ccasani y Ferro (2017) "Evaluación y estudio de Pavimentos en la Ciudad de Abancay, para plantear una Mejor opción Estructural en el Diseño de Pavimentos", tesis para el título profesional de Ingeniero Civil, su objetivo fue realizar una evaluación y estudio para mejorar la estructura de la superficie vial en la ciudad de Abancay. Cabe señalar que la metodología utilizada fue descriptiva y explicativa. Finalmente, se concluyó que el nuevo revestimiento flexible consistiría en un lecho de rodillos de 5 ", una base de 3" y una base de 1 ".

Humpiri (2015) "Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento vial en Puno", su objetivo fue estudiar las fallas superficiales que aparecen en los pavimentos de rodadura en las vías de la zona de Puno en su evaluación y monitoreo in situ. Es importante señalar que el método utilizado fue descriptivo. Finalmente, se concluyó que los defectos superficiales encontrados en el área de análisis con mayor distribución son grietas longitudinales y transversales, seguidas de surcos, desgaste superficial y otros; Son provocadas por deficiencias en el diseño, construcción y operación que afecto negativo al resultado final de la vía.

## **Bases teóricas**

### **Criterios relacionados al diseño de pavimento flexible**

En cuanto a la construcción del pavimento asfáltico, se puede garantizar fijando el espesor de las capas estructurales del pavimento teniendo en cuenta la capa asfáltica en la zona de rodadura. Es importante destacar que esta capa de asfalto permite ligeras imperfecciones de las capas inferiores sin perturbar la estructura. (Quiñones, 2017).

De acuerdo con el MTC (2013), se propone utilizar los siguientes procedimientos para el diseño de pavimentos flexibles: el método AASHTO 93 y el estudio de características durante todo el período de diseño. Esta tesis utilizará el método AASHTO 93. Tiene como objetivo calcular el número estructural requerido para determinar el espesor de todas las capas del paquete de estructura de la carretera. La vida útil de diseño será de hasta 10 años para carreteras de poco tráfico.



## Dimensiones de la variable dependiente: Mejoramiento de infraestructura vial

Dimensión 1: Serviciabilidad de la vía.

Entendemos que: “Es un indicador de la efectividad de la gestión del servicio vial y una referencia al nivel de satisfacción de la población, es decir, indica la comodidad de conducción para los usuarios de la vía”. (Castro, 2019, p. 15).

Dimensión 2: Presencia de fallas en el pavimento.

Sabemos que: “Se trata de un deterioro en el estado de la superficie de la carretera, que puede ser causado por varias razones: desgaste por el tiempo, mal diseño, materiales defectuosos o malos procedimientos de construcción”. (Castro, 2019, p. 15).

Así mismo resulta importante mencionar que existen diversos tipos de fallas que pueden producirse en la carretera.

Figura 3: Tipos de fallas en el pavimento flexible.

Baches.	Piel de cocodrilo.
	
Ahuellamientos.	Grietas longitudinales.



Fuente: Barrera, 2014.

Optimización del tránsito vehicular "Se trata de mejorar la transpirabilidad de los diversos tipos de carros que van por la carretera. Asimismo, esto se puede lograr con un nuevo diseño de pavimento, teniendo en cuenta más ejes equivalentes, o por un período de diseño más largo ". (Castro, 2019, p. 18).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y diseño de la investigación**

- Enfoque

Cuantitativo porque tiene como objetivo recopilar datos para probar hipótesis utilizando medidas numéricas. (Hernández y otros, 2014).

- Tipo de investigación

Aplicada porque tiene como objetivo resolver problemas específicos en un área determinada, aplicando los conocimientos existentes y no creando nuevos conceptos de conocimiento. (Hernández y otros, 2014).

- Diseño de investigación

No experimental, porque se realiza sin manipular intencionalmente los transductores, y el fenómeno solo se observa en su estado natural, y luego se analiza y secciona a medida que los datos se recopilan instantáneamente. (Hernández y otros, 2014).

- Nivel de investigación

Descriptivo porque busca explicar las características y propiedades de procesos, personas, objetos u otro fenómeno bajo investigación. (Hernández y otros 2014).

#### **3.2 Variables y operacionalización**

- Variable dependiente: Mejoramiento de infraestructura vial.
- Variable independiente: Diseño de pavimento flexible.

### **3.3 Población, muestra y muestreo**

#### **Población**

Es un conjunto con propiedades comunes para los cuales los hallazgos de la investigación serán amplios. Esto se limita al problema y los objetivos del proyecto. La presente averiguación toma como población los pavimentos flexibles existentes en el distrito de La Encañada, en el departamento de Cajamarca. (Arias, 2012, p. 86).

#### **Muestra**

Es un subconjunto que representa la población disponible (Arias, 2012, p. 83). Mi muestra es el pavimento flexible de la carretera Cajamarca-Celendín, en la progresiva Km 26+000 a 27+000, ubicada en el poblado de La Encañada, en Cajamarca.

#### **Muestreo:**

El muestreo no probabilístico intencional es aquel que selecciona en función de criterios o juicios predeterminados del investigador. (Arias, 2012, p. 82). Para el muestreo se realizaron exploraciones de campo en la carretera Cajamarca-Celendín, en la progresiva Km 26+000 a 27+000, y además se realizaron calicatas.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

Los métodos son aquellos que conforman un grupo de recursos destinados a recolectar, almacenar y transmitir información sobre los fenómenos que se están investigando. (Arias, 2012, p.69)

En los métodos utilizados tenemos: observación directa a través de la visita al sector de análisis, experimentación con el uso de ensayos que permitieron establecer las propiedades del suelo de la subrasante, investigación e interpretación de las Reglas Vigentes del MTC y fuentes bibliográficas relacionadas con el diseño de pavimentos flexibles. utilizando el método AASHTO 93, así como datos de evaluación obtenidos como resultado de diversas pruebas realizadas para asegurar la fiabilidad de la estructura.

## Instrumentos de recolección de datos

Es el medio, digital o en papel, que se utiliza para registrar o recopilar información y analizarla e interpretarla. (Arias, 2012, p. 14). Por consiguiente, se indica los próximos instrumentos:

- Memorias de cálculo: El método AASHTO 93, esto nos permitió determinar el espesor de las capas que conformarán el pavimento, hueso, capa asfáltica, base granular y base granular. Asimismo, se elaboró un informe de cálculo para determinar el ESAL de diseño, es decir, el número de ejes equivalente para un período de diseño especificado.
- Ensayo de CBR: Esta prueba mide la resistencia al esfuerzo cortante del suelo y evalúa la calidad del suelo para la subrasante y el pavimento

Figura 4: Máquina para ensayo de CBR.



- Fichas de observación, evaluar el nivel de servicio de la carretera en estudio e identificar defectos en el pavimento asfáltico, como baches y baches.
- Ensayo de granulometría: El propósito de esta prueba es cuantificar la clasificación de los tamaños de las partículas de suelo que pasan por los diversos tamices de la serie utilizada en la prueba hasta 75 mm. Los resultados de laboratorio del análisis del tamaño de partículas han proporcionado información geotécnica valiosa.

Figura 5: Tamices empleados en el análisis granulométrico.



### Validez y confiabilidad

Este es el nivel en el que el instrumento mide realmente la variable que pretende medir. (Hernández, 2014). Para eso se empleó el criterio de juicio de profesionales, para que el instrumento sea sometido a valoración por eruditos que evalúen la función de éste para examinar cada uno de las variables.

La confiabilidad es la medición se refiere al nivel en el que su aplicación repetida al mismo sujeto u objeto produce los mismos resultados. (Hernández, 2014).

En este estudio, los datos de medición serán precisos porque el laboratorio de mecánica de suelos se adhiere los estándares de calidad para evaluar las muestras de suelo obtenidas en el sector durante el análisis para la toma de decisiones. Diseño CBR para una cobertura flexible.

### 3.5 Procedimientos

Se han realizado:

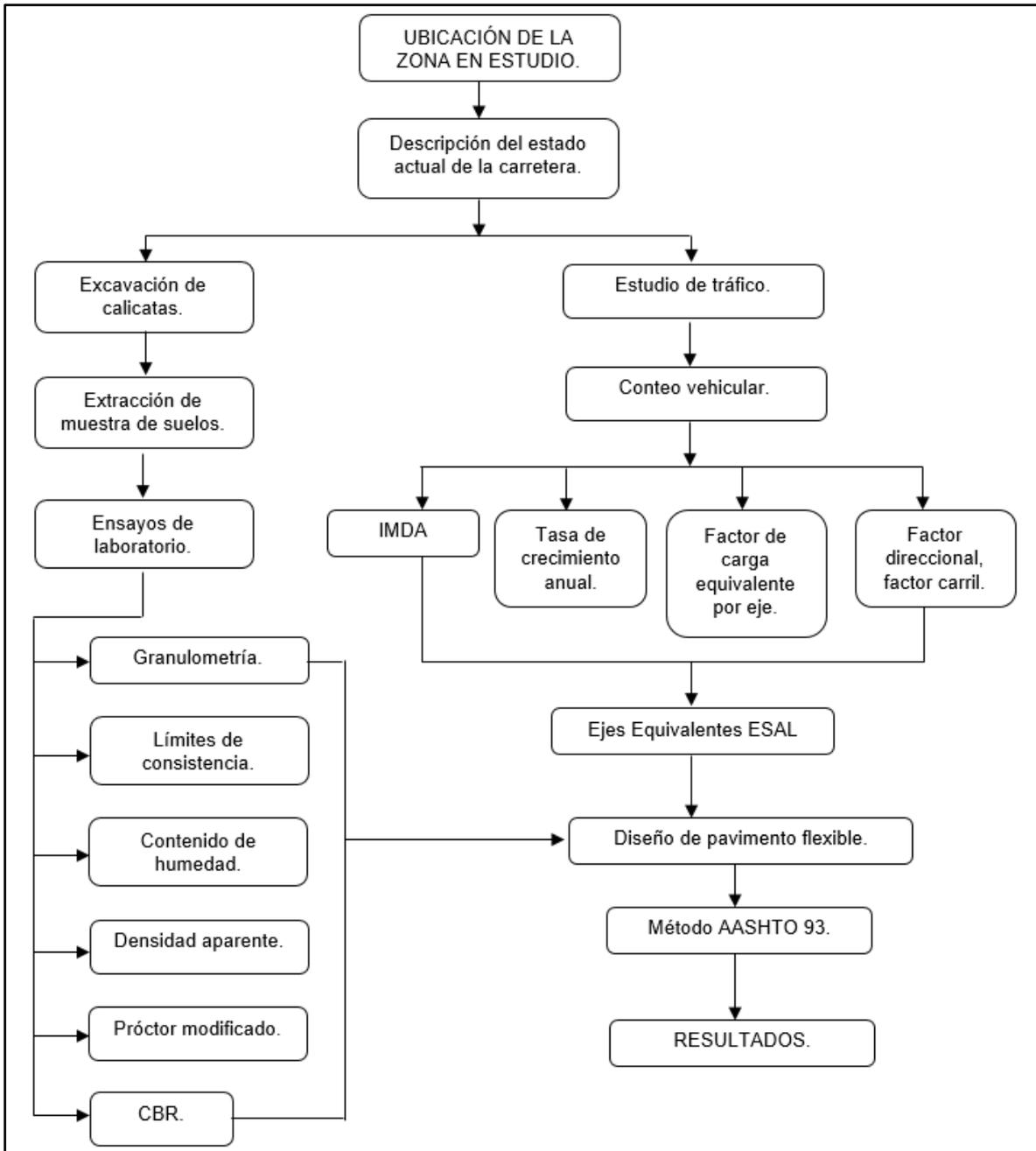
- Inspección de campo en el sector analizado para observar el estado del pavimento existente, mantener un archivo de observaciones de las propiedades de la vía analizada y el grado de usabilidad existente en la vía. Extracción de pozos de prueba.
- Conteo de tráfico vehicular y cálculo de ESAL de diseño.

- Se hizo ensayo de CBR, para evaluar la calidad del terreno subrasante, subbase y base del pavimento flexible a diseñarse.
- Se concluyo el espesor de las capas estructurales del pavimento flexible por medio del trabajo del método AASHTO 93.

Figura 6: Fallas de tipo piel de cocodrilo en el pavimento existente.



Figura 7: Diagrama de flujo del procedimiento realizado.



Fuente: Propia.

### **3.6 Manejo de análisis de datos**

Se realizó la excavación, que permitió anotar las propiedades más relevantes del suelo sobre el que se ubica la vía analizada, así como un registro fotográfico, que hizo posible para evaluar el estado de la superficie de la carretera existente. Después del desarrollo de pruebas CBR para evaluar la superficie de la subrasante y cimentación del nuevo pavimento, se concluyó cómo se formaría su composición utilizando la metodología AASHTO 93.

A continuación, se muestran las principales propiedades del tramo en el que se ubica la vía analizada.

Ubicación del área en estudio.

Se estudia el pavimento flexible en Cajamarca-Celendín, en la progresiva Km 26+000 a 27+000, ubicada en el distrito de la Encañada, en Cajamarca. Su localización política es la siguiente:

Ubicación Política

Departamento: Cajamarca.

Provincia: Cajamarca.

Distrito: La Encañada.

Localidad: La Encañada.

Figura 8: Vista de la zona en estudio.



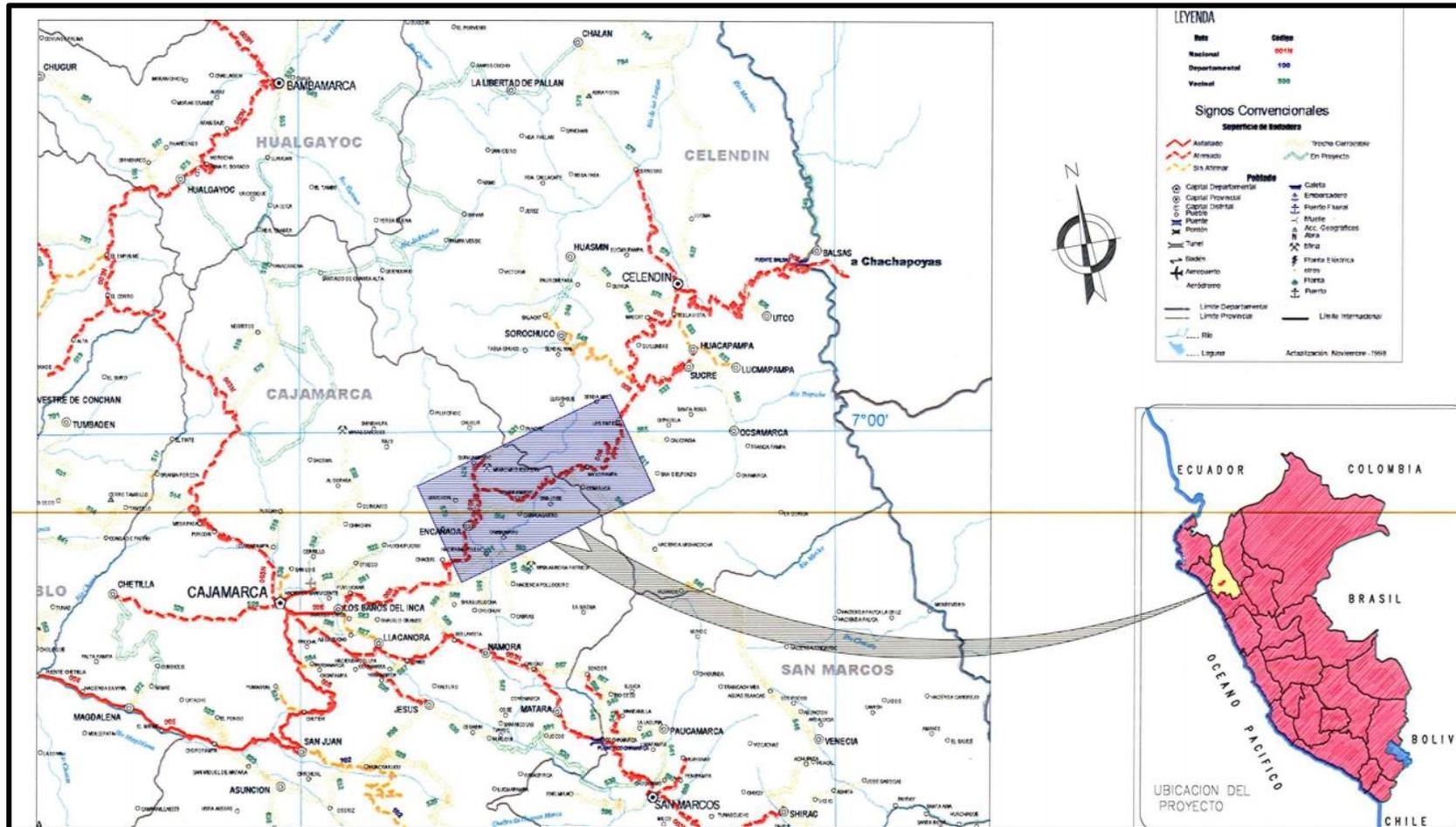
Fuente: Propia.

Figura 9: Fallas en el pavimento existente.



Fuente: Propia.

Figura 10: Ubicación de la zona en estudio – Localidad de La Encañada.  
Fuente: propia



Estudio de suelos:

El terreno en el que se diseñó la subrasante está compuesto predominantemente de material de arena clasificado en el sistema SUCS SM. Tiene una consistencia fuerte y buenas condiciones de soporte como subrasante y tiene las siguientes características: alta permeabilidad, baja capilaridad, resistencia al corte en estado medio seco, capacidad portante de subrasante (CBR) del 12%.

Resumen de estudio de tráfico:

Proyección de tráfico para el 2031.

AÑO	IMDA CLASIFICADO						OBSERVACIONES
	Auto/Cmta.	Micro/Cmta. Rural	Omnibus	Camión 2E	Camión 3E	TOTAL	
2020	52	29	34	76	30	221	Estudio realizado
2021	54	29	35	79	31	228	Ejecución de la obra
2031	76	35	43	117	38	309	Décimo año de operación

Fuente: Elaboración Propia.

ESAL de diseño.

ÍTEM	IMD NORMAL			ESAL
	Ómnibus	Camión 2E	Camión 3E	10 años
Factor destructivo	1.6694	1.2052	3.7232	
Tasa de crecimiento	0.05	0.05	0.05	
IMD del 2020	34	76	30	
Número de periodos				9
Factor proyección				30.539
ESAL del IMDA 2020				167.6356
ESAL de diseño				9.34E+05

Fuente: Elaboración Propia.

### **3.7 Aspectos éticos**

El tema del diseño de pavimentos flexibles mediante el método AASHTO 93 para mejorar la infraestructura vial en la carretera Cajamarca - Celendín, considerado en este estudio, cumple con todas las normas requeridas por el MTC y sus lineamientos. Asimismo, esta tesis se realizó cumpliendo con todas las normas de citación al estilo de la norma ISO 690.

#### **Imparcialidad**

Esto lleva a ser respetuoso con otras personas, así como a ser considerado al citar ideas de otros investigadores o colegas en trabajos de investigación y artículos que representan un comportamiento ético. (Hirsch, 2019, p. 55).

#### **Honestidad**

Al llevar a cabo una investigación proporcionando y comunicando resultados que se obtienen en su totalidad, sin ningún ocultamiento u omisión. (Hirsch, 2019, p. 52).

## IV. RESULTADOS

Diseño de pavimento flexible empleando AASHTO 93

El siguiente método está en línea con los lineamientos de diseño establecidos por MTC (2013) en su sección Guía de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, utilizando la metodología AASHTO 93.

Como el ESAL de diseño es  $9.34E+05$  (934000 EE), entonces empleamos el siguiente cuadro:

Tabla 1: Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño.

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
$T_{P1}$	$> 150,000$ EE $\leq 300,000$ EE
$T_{P2}$	$> 300,000$ EE $\leq 500,000$ EE
$T_{P3}$	$> 500,000$ EE $\leq 750,000$ EE
$T_{P4}$	$> 750,000$ EE $\leq 1'000,000$ EE

Entonces se puede garantizar que la vía en cuestión pertenece a la categoría TP4, es decir, estamos hablando de una vía con poco tráfico. Después reconceptualizar la categoría de la carretera de acuerdo al tráfico, se proviene a analizar la capacidad de soporte CBR. Esto se hace con objetivos de decidir la categoría a la que pertenece la subrasante, para lo que se emplea el siguiente cuadro:

Tabla 2: Categorías de la subrasante.

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	CBR
S <sub>0</sub> : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Subrasante Extraordinaria	CBR ≥ 30%

Como el CBR definido en la presente indagación es 12%, se puede asegurar que hablemos de una categoría S<sub>3</sub>, o sea una subrasante buena.

Periodo de diseño

El lapso de diseño predeterminado en la presente investigación, es de 10 años.

Ecuación general del Método AASHTO 93.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

W<sub>18</sub>, es el número de repeticiones de acumuladas de ejes equivalente de 8.2 t.

Para el presente estudio: W<sub>18</sub> = 934000 EE.

Módulo de Resiliencia (MR)

$$Mr(psi) = 2555 * CBR^{0.64}$$

posteriormente, el cálculo de módulo de resiliencia para diversos tipos de CBR.

Entonces:  $Mr(psi) = 2555 * 12^{0.64} = 12533 psi = 86.41MPa$

Confiabilidad (%R)

Tabla 3: Valores recomendados para la confiabilidad (%R).

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	<b>T<sub>P0</sub></b>	<b>100,000</b>	<b>150,000</b>	65%
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	70%
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	75%
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	80%
	T <sub>P4</sub>	750 001	1,000,000	80%

Entonces, para el presente estudio, la confiabilidad (%R) es 80%.

Tabla 4: Valores de desviación normal estándar (Zr)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	100,001	150,000	-0.385
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	-0.524
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	-0.674
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	-0.842
	T <sub>P4</sub>	750 001	1,000,000	-0.842

Entonces para el presente estudio el valor de Zr será: -0.842

Desviación estándar combinada

La variabilidad esperada de la previsión de tráfico y otros componentes que influyen en el comportamiento de la calzada; como la construcción, el medio ambiente, la incertidumbre del modelo, el MTC propone  $S_o = 0.45$

Variación de la serviciabilidad ( $\Delta PSI$ )

Tabla 5: Índice de serviciabilidad inicial ( $P_i$ )

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL ( $P_i$ )
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	$T_{P1}$	150,001	300,000	3.80
	$T_{P2}$	300,001	500,000	3.80
	$T_{P3}$	500,001	750,000	3.80
	$T_{P4}$	750 001	1,000,000	3.80

Tabla 6: Índice de serviciabilidad final ( $P_t$ )

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL ( $P_t$ )
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	$T_{P1}$	150,001	300,000	2.00
	$T_{P2}$	300,001	500,000	2.00
	$T_{P3}$	500,001	750,000	2.00
	$T_{P4}$	750 001	1,000,000	2.00

Entonces:

$$\Delta PSI = P_i - P_t = 1.80$$

Numero estructural requerido

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

Donde:

a1, a2, a3 = Coeficientes estructurales de las capas

d1, d2, d3 = Espesores (en cm) de las capas

m2, m3 = Coeficientes de drenaje

De la ecuación general de AASHTO, reemplazando los valores se obtuvo un valor de:

$$SN = 2.59$$

Entonces a continuación se procede a determinar cada uno de los coeficientes estructurales (a1, a2 y a3).

Resulta demasiado fundamental nombrar que los valores de los coeficientes estructurales recomendados por el MTC (2013)

Tabla 7: Valores del coeficiente estructural a1.

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a <sub>i</sub> (cm)	OBSERVACIÓN
<b>CAPA SUPERFICIAL</b>			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 oC (68 oF)	a <sub>1</sub>	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico
Carpeta Asfáltica en Frío, mezcla asfáltica con emulsión.	a <sub>1</sub>	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 1'000,000 EE
Micropavimento 25mm	a <sub>1</sub>	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 1'000,000 EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a <sub>1</sub>	0.250 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 500,000EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.	a <sub>1</sub>	0.150 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 500,000EE No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos

Tabla 8: Valores del coeficiente estructural a2.

BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a <sub>2</sub>	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico ≤ 5'000,000 EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a <sub>2</sub>	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico > 5'000,000 EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a <sub>2a</sub>	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm <sup>2</sup> )	a <sub>2b</sub>	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm <sup>2</sup> )	a <sub>2c</sub>	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico

Tomando para nuestra base granular un material de afirmado de CBR = 80% entonces el valor de a2 será: a<sub>2</sub> = 0.052 / cm.

Tabla 9: Valores del coeficiente estructural a3.

SUBBASE			
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a <sub>3</sub>	0.047 / cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico ≤ 15'000,000 EE
Sub Base Granular CBR 60%, compactada al 100% de la MDS	a <sub>3</sub>	0.050 / cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico > 15'000,000 EE

Entonces el valor de a3 será: a<sub>3</sub> = 0.047 / cm.

En lo concerniente al valor de los coeficientes de drenaje de la base y subbase (m<sup>2</sup> y m<sup>3</sup>), el MTC recomienda que estos valores sean igual a 1 (m<sup>2</sup>=1 y m<sup>3</sup>=1).

Tabla 10: Valores recomendados de espesores mínimos de capa superficial y base granular

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		CAPA SUPERFICIAL	BASE GRANULAR
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	TSB, ó Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, ó Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 50mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 50mm	150 mm
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	TSB, ó Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, ó Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
	T <sub>P4</sub>	750 001	1,000,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 70mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm

Según la tabla mostrada anteriormente, elegimos una carpeta asfáltica de espesor 80 mm (d1=8cm) y una base granular de espesor 200 mm (d2=20cm).

Es así que tenemos el siguiente resumen de datos:

$$a_1 = 0.170 / \text{cm}$$

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

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

$$d_1 = 8\text{cm}$$

$$d_2 = 20\text{cm}$$

$$m_2 = 1$$

$$m_3 = 1$$

$$SN = 2.59$$

Entonces para calcular d3, reemplazamos en la fórmula:

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

Lo cual da como resultado:  $d_3 = 4.04$  cm para espesor de subbase. Sin embargo, el MTC recomienda emplear como mínimo una subbase de 150 mm (15cm), la cual fue la empleada para el presente diseño.

Entonces, al final el diseño del pavimento flexible va estar conformado por la siguiente composición:

Figura 11: Diseño de pavimento flexible.

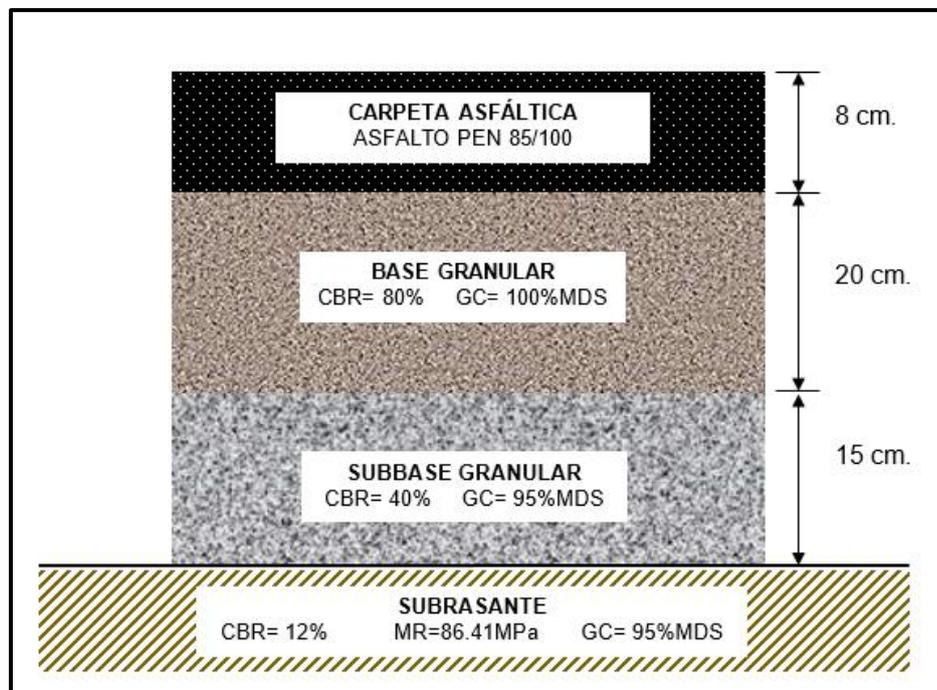


Tabla 10: Características capas estructurales del pavimento flexible.

Carpeta asfáltica	Asfalto PEN 85/100
Base granular	CBR= 80% GC= 100% MDS
Subbase granular	CBR= 40% GC= 95% MDS
Subrasante	CBR=12% MR= 86.41 MPa GC=95% MDS

## **Resumen de resultados:**

**Objetivo General:** Realizar el diseño de pavimento flexible empleando el Método AASHTO 93 para mejoramiento de la infraestructura vial en la carretera Cajamarca - Celendín 2021.

Se obtuvo como resultado que, para el diseño planteado, consiste en una estructura de las siguientes características: subbase granular de espesor 15cm, base granular de 20 cm y carpeta asfáltica de 8cm, esto permitirá mejorar la infraestructura vial ya que por el momento no existirán fallas en la carretera en análisis.

**Objetivo específico 1:** Determinar cómo el diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad de la carretera Cajamarca - Celendín 2021.

Se obtuvo como resultado que, está en relación con el índice de serviciabilidad y por consiguiente esta variación ( $\Delta PSI$ ), el cual es un parámetro que el Método AASHTO 93 emplea precisamente para decidir los espesores de las capas estructurales, al incrementarse esta variación la serviciabilidad optimiza.

**Objetivo específico 2:** Determinar cómo el diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021.

Se obtuvo como resultado que las fallas en el pavimento se relacionan con el aspecto estructural el que tiene que ser adecuado puesto que el mal diseño determina la aparición de fallas estructurales y no estructurales por la que se tendrá en cuenta el proceso de construcción para que no aparezcan patologías que disminuyan la serviciabilidad.

**Objetivo específico 3:** Determinar el tráfico vehicular en la carretera Cajamarca - Celendín 2021.

Se obtuvo como resultado que, con el objetivo se determinó que el tráfico vehicular expresado en el EAL de diseño que ha sido de 934000 ejes equivalentes a 18 lb o 8 tn para la carretera Cajamarca – Celendín.

## V. DISCUSIÓN

**Hipótesis general: Mediante el diseño de pavimento flexible empleando el Método AASHTO 93 se podrá mejorar la infraestructura vial en la carretera Cajamarca - Celendín 2021.**

Desde los resultados conseguidos, los cuales fueron los espesores de las capas del pavimento flexible, o sea una subbase granular de espesor 15cm, una base granular de espesor 20 cm y una carpeta asfáltica de espesor 8cm, y considerando la información que se pudo obtener de campo mediante la ficha de observación realizada, en la cual se pudo visualizar fallas en el pavimento flexible existente, se puede afirmar que con el nuevo pavimento flexible diseñado se podrá mejorar la infraestructura vial en la carretera Cajamarca-Celendín, puesto que el pavimento diseñado reemplazará al pavimento existente el cual se encuentra notablemente deteriorado y perjudica el tránsito vehicular.

Dichos resultados conseguidos contrastan con los que sostienen Salamanca y Zuluaga (2014) "Diseño de la estructura de pavimento flexible mediante los métodos INVIAS, AASHTO 93 e Instituto del Asfalto para la vía la Ye - Santa Lucia Barranca Lebrija en medio de las abscisas K19+250 a K25+750 obtuvo los resultados semejantes al obtener por medio del Método AASHTO 93 un diseño de pavimento flexible formado por una carpeta asfáltica de 16 cm, una base granular de 15 cm y una subbase granular de 15 cm, lo que sugiere un espesor total de pavimento de diseño de 46 cm, lográndose con ello mejorar la infraestructura vial de la carretera Ye - Santa Lucia Barranca Lebrija.

Por consiguiente, se acepta la hipótesis general que instituye que por medio del diseño de pavimento flexible utilizando el Método AASHTO 93 se va a poder mejorar la infraestructura vial en la carretera Cajamarca - Celendín 2021, además que tiene coherencia con el objetivo general de realizar el diseño de pavimento flexible empleando el Método AASHTO 93 para mejoramiento de la infraestructura vial en la carretera Cajamarca - Celendín 2021, pues se le consiguió consumir con el fin predeterminado, debido a que con el diseño de pavimento flexible postulado por el momento no existirán fallas en la carretera, mejorándose la infraestructura vial.

### **Hipótesis específica 1: El diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad de la carretera Cajamarca - Celendín 2021.**

A partir del resultado obtenido, el cual ha sido el diseño de pavimento flexible por el Método AASHTO 93 para un tiempo de diseño de 10 años, se puede asegurar que el diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad de la carretera Cajamarca – Celendín, debido a que esta interacción radica en el índice de servicio por lo tanto la alteración de la serviciabilidad ( $\Delta$ PSI), el cual es un parámetro indispensable que emplea el Método AASHTO 93 para establecer los espesores de las capas estructurales, o sea, que si no se sabe este parámetro son imposibles de usar los criterios y la ecuación general del Método AASHTO 93. considerando que el índice de servicio se referencia solamente a las condiciones del área de rodamiento, un diseño de pavimento eficiente proporcionará un tránsito practico a los usuarios y una superficie de rodamiento idóneas a las necesidades de éstos.

Dichos resultados conseguidos contrastan con los que sostienen Casani y Ferro (2017) en la tesis titulada “Evaluación y estudio de pavimentos en la Ciudad de Abancay, para plantear una mejor opción estructural en el diseño de pavimentos”, quienes obtuvieron resultados semejantes al obtener que el diseño de pavimentos flexibles está íntimamente referente a la serviciabilidad de las carreteras ya que un mal diseño causa deficiencias superficiales del pavimento a las que se asocian justamente el índice de servicio, que están afectando en más grande o menor nivel la capacidad del camino en conceder al usuario un tránsito a gusto y seguro.

Por consiguiente, se acepta la primera premisa específica que instituye que El diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad de la carretera Cajamarca - Celendín 2021, además que tiene coherencia con el primer objetivo específico de establecer cómo el diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad de la carretera Cajamarca - Celendín 2021, puesto que se logró cumplir con el objetivo establecido, ya que se concluyó que esta interacción radica en el índice de serviciabilidad y por lo tanto en la variación de serviciabilidad ( $\Delta$ PSI), el cual es un parámetro que el Método AASHTO 93 emplea precisamente para decidir los espesores de las capas estructurales.

## **Hipótesis específica 2: El diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021.**

Desde el resultado obtenido, el cual ha sido el diseño del nuevo pavimento flexible y la inspección hecha en la visita de campo donde se ha podido valorar un pavimento que existe de forma notable deteriorado con la existencia de varias fallas estructurales, se puede asegurar que el diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021, pues que un mal diseño de las capas estructurales que componen el pavimento puede originar distintas fallas relacionadas con el ligante, fallas basadas en el ligante debido a interacciones inapropiadas, es decir, mala unión entre el material base y el ligante, y fallas debido a cargas repetitivas.

Sostiene Barrera (2015) en la tesis titulada “Fallas en pavimentos flexibles: razones, efectos y soluciones”, quien obtuvo un resultado semejante al obtener que un óptimo diseño de las capas estructurales de pavimento flexible previene la aparición de fallas estructurales y la reducción de la función de carga del pavimento, conservando la vida eficaz para la cual ha sido diseñado, señalando además que es fundamental continuar estrictamente las especificaciones técnicas de materiales y equipo, tener una adecuada ejecución y procedimientos constructivos.

Por consiguiente, se acepta la segunda hipótesis específica que establece que El diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021, además que tiene coherencia con el segundo objetivo específico de establecer cómo el diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021, distrito de San Martín de Porres – Lima, pues se hizo consumar con el fin predeterminado, debido a que se concluyó que esta interacción radica en el aspecto estructural, pues un mal diseño propicia la aparición de fallas estructurales en las capas del pavimento, como fallas de carpeta e interacción carpeta-base.

**Hipótesis específica 3: La determinación adecuada del tráfico vehicular permite diseñar el pavimento flexible según AASHTO 93 de la carretera Cajamarca - Celendín 2021.**

Desde el resultado obtenido en la presente tesis, en el que se concluyó un EAL de diseño de  $9.34E+05$  para el lapso de diseño del pavimento flexible de 10 años, se puede asegurar que la decisión correcta del tráfico vehicular posibilita diseñar el pavimento flexible según AASHTO 93 de la carretera Cajamarca - Celendín 2021, pues resulta indispensable conocer el tráfico vehicular que existe para proyectar el EAL del lapso de diseño considerado, debido a que sin este dato no se puede usar la ecuación general del Método AASHTO 93 y por lo tanto no se van a poder establecer los espesores de las capas estructurales del pavimento. Es de esa forma que resulta fundamental nombrar que pudiendo calcular de manera correcta la cantidad de vehículos que transitarán por la vía en análisis en el lapso de diseño, se va a poder hacer un diseño eficiente del pavimento flexible con espesores correctos de las diferentes capas estructurales que lo componen, evitándose con ello la aparición de fallas en el pavimento debido a que no puede haber sobrecarga vehicular al estar bien calculado el EAL de diseño.

Dichos resultados logrados contrastan con los que sostiene Espinoza (2018) en su tesis titulada "Análisis de alternativas en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el método AASHTO 93", quien obtuvo resultados semejantes al asegurar que se necesita un adecuado estudio de tráfico vehicular, lo que involucra un conteo eficiente de vehículos así como la decisión del EAL para el lapso de diseño (10 o 20 años), para lograr decidir de manera correcta los espesores de las capas estructurales del pavimento flexible según AASHTO 93.

Por consiguiente, se acepta la hipótesis específica 3 que instituye que La decisión correcta del tráfico vehicular posibilita diseñar el pavimento flexible según AASHTO 93 de la carretera Cajamarca - Celendín 2021, además que tiene coherencia con el objetivo específico 3 de establecer el tráfico vehicular en la carretera Cajamarca - Celendín 2021, pues se hizo llevar acabo con el fin predeterminado, debido a que se concluyó el tráfico vehicular expresado en el EAL de diseño ha sido de 934000 EE para la carretera Cajamarca – Celendín.

## VI. CONCLUSIONES

**Primera:** Con respecto del objetivo general planteado de hacer el diseño de pavimento flexible usando el Método AASHTO 93 para mejoramiento de la infraestructura vial en la carretera Cajamarca - Celendín 2021, se concluye que el diseño plateado, que consistió en una subbase granular de espesor 15cm, una base granular de espesor 20 cm y una carpeta asfáltica de espesor 8cm, permitió mejorar la infraestructura vial ya que por momento no existirán fallas en la carretera en análisis.

**Segunda:** Con primer objetivo específico propuesto de decidir cómo el diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad de la carretera Cajamarca - Celendín 2021, se concluye que esta interacción radica en el índice de serviciabilidad y por lo tanto en la variación de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ), el cual es un parámetro que el Método AASHTO 93 emplea precisamente para decidir los espesores de las capas estructurales.

**Tercera:** Con el segundo objetivo específico planteado de establecer cómo el diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021, distrito de San Martín de Porres – Lima, se concluye que esta interacción radica en el aspecto estructural, pues un mal diseño propicia la aparición de fallas estructurales en las capas del pavimento, como fallas de carpeta y relación carpeta-base.

**Cuarta:** Con el tercer objetivo específico propuesto de establecer el tráfico vehicular en la carretera Cajamarca - Celendín 2021, se concluye que se hizo consumir con el fin predeterminado, debido a que se concluyó el tráfico vehicular expresado en el EAL de diseño que ha sido de 934000 EE para la carretera Cajamarca – Celendín.

## VII. RECOMENDACIONES

**Primera:** Con respecto al objetivo general el pavimento flexible mediante el método AASHTO 93 para mejorar la infraestructura vial en la Carretera Cajamarca - Celendín 2021, se propone llevar a cabo este proyecto también utilizando otras metodologías como INVIAS e Instituto del Asfalto relacionados para comparar las ventajas y desventajas de diversas metodologías para el diseño de pavimentos flexibles.

**Segunda:** Con respecto al primer objetivo específico propuesto de establecer cómo el diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad de la carretera Cajamarca - Celendín 2021, se propone el trabajo del Método AASHTO 93, así como las tablas que da sobre los índices de serviciabilidad inicial y final para los diferentes tipos de tráfico, debido a que ha quedado demostrado que todos estos criterios son eficientes pues avalan la serviciabilidad de la carretera al brindar tranquilidad de circulación a los usuarios de la vía.

**Tercera:** Con respecto al segundo objetivo específico propuesto de decidir cómo el diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021, se sugiere profundizar en el análisis de fallas de tipo funcionales en pavimentos flexibles, analizando los puntos que intervienen en ellas, como las ondas longitudinales, las deformaciones transversales y la textura del área.

**Cuarta:** Con respecto al tercer objetivo específico postulado de establecer el tráfico vehicular en la carretera Cajamarca - Celendín 2021, se sugiere hacer uso de los pavimentos flexibles en carreteras de bajo volumen de tránsito una vez que dichos poseen entre 150,001 hasta 1'000,000 EE en el carril y lapso de diseño, constantemente y una vez que claro, la entidad municipal tenga los recursos necesarios para financiar dichos pavimentos de tipo flexible.

## REFERENCIAS

Abaza, K. (2021). Empirical-Markovian approach for estimating the flexible pavement structural capacity: Caltrans method as a case study. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 10, 156- 166.

Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: Episteme – Sexta Edición. Barrera, J. (2015). *Fallas en pavimentos flexibles: causas, efectos y soluciones* (Tesis de Pregrado), Universidad de San Carlos de Guatemala – Guatemala.

Castro, W. (2019). *Construcción de una infraestructura vial y transitabilidad en las vías Asociación de Vivienda “Las Américas” distrito de Vegueta – Huaura – Lima, 2019* (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.

Ccasani, M. y Ferro, Y. (2017). *Evaluación y Análisis de Pavimentos en la Ciudad de Abancay, para Proponer una Mejor Alternativa Estructural en el Diseño de Pavimentos* (Tesis de Pregrado), Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay, Perú.

Cedeño, J. (2014). *Propuesta de metodología complementaria a los diseños de pavimentos según AASHTO 93* (Tesis de Pregrado), Universidad Católica del 7<sup>o</sup> Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

Çelik, O. & Eyada, S. (2019). Assessment of flexible pavement fatigue life of Turkish typical sections using mechanistic empirical pavement design approach for coastal region. *Ain Shams Engineering Journal*, 10 (1), 33-43.

Delbono, H. (2019). Restauración de pavimentos: adherencia entre capas con interposición de geosintético de diferente abertura de malla. *Revista Ingeniería de Construcción*, 34 (3), 307-320. 40

Deng, Y., Luo, X., Zhang, Y. & Lytton, R. (2020). Evaluation of Flexible Pavement Deterioration Conditions Using Deflection Profiles Under Moving Loads. *Transportation Geotechnics*, 26, 1-37.

Dutta, S., Padade, A., Chaudhury, N. & Mandal, J. (2016). Design Charts for Flexible Airfield Pavement Based on Analytical Study. *Transportation Research Procedia*, 17, 155-163.

Espinoza, L. (2018). Análisis de alternativas en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el método AASHTO 93 (Tesis de Pregrado), Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

García, A. Gutiérrez, F. y Hernández, J. (2014). Análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante las alternativas: IMT-PAVE y CR-ME del método Mecanicista Empírico, con el método AASHTO 93 (Tesis de Pregrado), Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Gautam, P., Kalla, P., Jethoo, A., Agrawal, R. & Singh, H. (2018). Sustainable use of waste in flexible pavement: A review. *Construction and Building Materials*, 180, 239–253.

Ghanizadeh, A. & Fakhri, M. (2018). Quasi-static analysis of flexible pavements based on predicted frequencies using Fast Fourier Transform and Artificial Neural Network. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11 (1), 47-57.

Ghavami, M., Hosseini, M., Zavattieri, P. & Haddock, J. (2019). Flexible pavement drainage system effectiveness. *Construction and Building Materials*, 218, 99-107.

Gu, F., Luo, X., Luo, R., Hajj, E. & Lytton, R. (2017). A mechanistic-empirical approach to quantify the influence of geogrid on the performance of flexible pavement structures. *Transportation Geotechnics*, 13, 69–80.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. México: Editorial McGraw-Hill – Quinta edición. 41 Hirooka, A., Vargas, F., Prado, C., & Barbosa, H. (2019). Efecto de la variación del volumen diario medio y de la tasa de crecimiento del tráfico en el desempeño de los pavimentos flexibles. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27 (1), 58-68.

Hossain, N., Singh, D. & Zaman, M. (2016). Sensitivity of Traffic Input Parameters on Rutting Performance of a Flexible Pavement Using Mechanistic Empirical

Pavement Design Guide. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9 (6), 450-459.

Hosseini, A., Faheem, A., Titi, H. & Schwandt, S. (2020). Evaluation of the longterm performance of flexible pavements with respect to production and construction quality control indicators. *Construction and Building Materials*, 230, 1-9.

Humpiri, K. (2015). Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la Región de Puno (Tesis de Posgrado), Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca, Perú.

Imjai, T., Pilakoutas, K. & Guadagnini, M. (2019). Performance of geosyntheticreinforced flexible pavements in full-scale field trials. *Geotextiles and Geomembranes*, 47 (2), 217-229.

Jia, X., Woods, M., Gong, H., Zhu, D., Hu, W. & Huang, B. (2021). Evaluation of influence of pavement data on measurement of deflection on asphalt surfaced pavements utilizing traffic speed deflection device. *Construction and Building Materials*, 270, 1-10.

Li, Y., Ding, H., Nie, Y., Hesp, S. (2020). Effective control of flexible asphalt pavement cracking through quality assurance testing of extracted and recovered binders. *Construction and Building Materials*, 273, 1-12.

Liu, Y., Su, P., Li, M., You, Z. & Zhao, M. (2020). Review on evolution and evaluation of asphalt pavement structures and materials. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 7 (5), 573-599. 42

Llance, J., Mayta, M., Meza, D., y Paredes, M. (2019). Propuesta de diseño de pavimento urbano para el tramo avenida Oxapampa en Quiparacra-Pasco2019 (Tesis de Pregrado), Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú.

Luo, Z., Hu, B. & Pan, E. (2019). Robust design approach for flexible pavements to minimize the influence of material property uncertainty. *Construction and Building Materials*, 225, 332–339.

Massenlli, G., y Paiva, C. (2019). Influencia de la deflexión superficial en pavimentos flexibles con subrasante de baja resistencia. *Ingeniare. Revista chilena*

de ingeniería, 27(4), 613-624. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2013). Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos. Lima, Perú.

Peng, J., Zhang, J., Li, J., Yao, Y. & Zhang, A. (2020). Modeling humidity and stressdependent subgrade soils in flexible pavements. *Computers and Geotechnics*, 120, 1-9. Pereira, P. & Pais, J. (2017). Main flexible pavement and mix design methods in Europe and challenges for the development of an European method. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 4 (4), 316-346.

Qiao, Y., Zhang, Y., Zhu, Y., Lemkus, T., Stoner, A., Zhang, J. & Cui, Y. (2020). Assessing impacts of climate change on flexible pavement service life based on Falling Weight Deflectometer measurements. *Physics and Chemistry of the Earth*, 120, 2-9.

Quiñones, K. (2017). Diagnóstico y diseño vial del pavimento flexible: Avenida Alfonso Ugarte (tramo: Carretera Central – Avenida Ferrocarril), en el distrito de Hualhuas, provincia de Huancayo 2016 (Tesis de Pregrado), Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.

Rahman, M. & Gassman, S. (2017). Data collection experience for preliminary calibration of the AASHTO pavement design guide for flexible pavements in 43 South Carolina. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11 (5), 445-457.

Salamanca, M. y Zuluaga, S. (2014). Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos INVIAS, AASHTO 93 e Instituto del Asfalto para la vía la Ye - Santa Lucia Barranca Lebrija entre las abscisas K19+250 a K25+750 ubicada en el departamento Del César (Tesis de Pregrado), Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.

Singh, A. & Sahoo, J. (2020). Analysis and design of two layered flexible pavement systems: A new mechanistic approach. *Computers and Geotechnics*, 117, 1-11.

Singh, A., Sharma, A. & Chopra, T. (2020). Analysis of the flexible pavement using falling weight deflectometer for indian national highway road network. *Transportation Research Procedia*, 48, 3969-3979.

Staub, J., Buzzi, I. y Villena, J. (2019). Aplicación de enfoques de análisis y criterios de rotura en ensayos de fatiga y su influencia en la predicción de la vida útil de la capa de rodadura asfáltica en la estructura del pavimento. *Revista Ingeniería de Construcción*, 34 (3), 268-277.

Sun, X., Han, J., Fei, J., Guo, J. & Zhang, W. (2020). Geosynthetic-stabilized flexible pavements: Solution derivation and mechanistic-empirical analysis. *Geotextiles and Geomembranes*, 48 (4), 468-478.

Vega, D. (2018). Diseño de los pavimentos de la carretera de acceso al nuevo puerto de Yurimaguas (km 1+000 a 2+000) (Tesis de Pregrado), Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Wang, J., Liu, S. & Yu, H. (2016). A Comparison between a Shakedown Design Approach and the Analytical Design Approach in the UK for Flexible Road Pavements. *Procedia Engineering*, 143, 971-978.

You, L., Man, J., Yan, K., Wang, D. & Li, H. (2020). Combined Fourier-wavelet transforms for studying dynamic response of anisotropic multi-layered flexible pavement with linear-gradual interlayers. *Applied Mathematical Modelling*, 81, 559-581.

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de consistencia

**TÍTULO:** "Diseño de pavimento flexible empleando Método AASHTO 93 para mejoramiento de infraestructura vial en la carretera Cajamarca – Celendín 2021".

**AUTORA:** Bach. INOCENTE CARRERA, Sherry Katherin

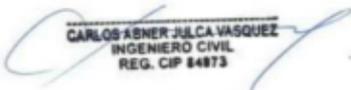
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	METODOLOGÍA	
GENERAL	GENERAL	GENERAL					
¿De qué manera el diseño de pavimento flexible empleando el Método AASHTO 93 permitirá mejorar la infraestructura vial de la carretera Cajamarca - Celendín 2021?	Realizar el diseño de pavimento flexible empleando el Método AASHTO 93 para mejoramiento de la infraestructura vial en la carretera Cajamarca - Celendín 2021.	Mediante el diseño de pavimento flexible empleando el Método AASHTO 93 se podrá mejorar la infraestructura vial en la carretera Cajamarca - Celendín 2021.	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> Diseño de pavimento flexible.	Estructura del pavimento.	Espesor de carpeta asfáltica.	<b>Enfoque:</b> Cuantitativo.	
					Espesor de base granular.		
					Espesor de subbase granular.		
<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>ESPECÍFICOS</b>		<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> Diseño de pavimento flexible.	Condición geomecánica del suelo.	% de CBR.	<b>Diseño de investigación:</b> No experimental.
PE1: ¿De qué manera el diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad de la carretera Cajamarca - Celendín 2021?	OE1: Determinar cómo el diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad de la carretera Cajamarca - Celendín 2021.	HE1: El diseño de pavimento flexible se relaciona con la serviciabilidad de la carretera Cajamarca - Celendín 2021.			Análisis de tráfico vehicular.	Número de ejes equivalentes (EE)	<b>Tipo de investigación:</b> Aplicada.
PE2: ¿De qué manera el diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021?	OE2: Determinar cómo el diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021.	HE2: El diseño de pavimento flexible se relaciona con la aparición de fallas en el pavimento de la carretera Cajamarca - Celendín 2021.			Serviciabilidad de la vía.	Nivel de satisfacción.	
PE3: ¿De qué manera interviene en el diseño de pavimento flexible el tráfico vehicular de la carretera Cajamarca - Celendín 2021?	OE3: Determinar el tráfico vehicular en la carretera Cajamarca - Celendín 2021.	HE3: La determinación adecuada del tráfico vehicular permite diseñar el pavimento flexible según AASHTO 93 de la carretera Cajamarca - Celendín 2021.	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> Mejoramiento de infraestructura vial.	Presencia de fallas en el pavimento.	Grado de ahuellamiento.		
				Optimización del tránsito vehicular.	Nuevo IMDA de diseño.		

Anexo 2: Matriz de operacionalización de la variable

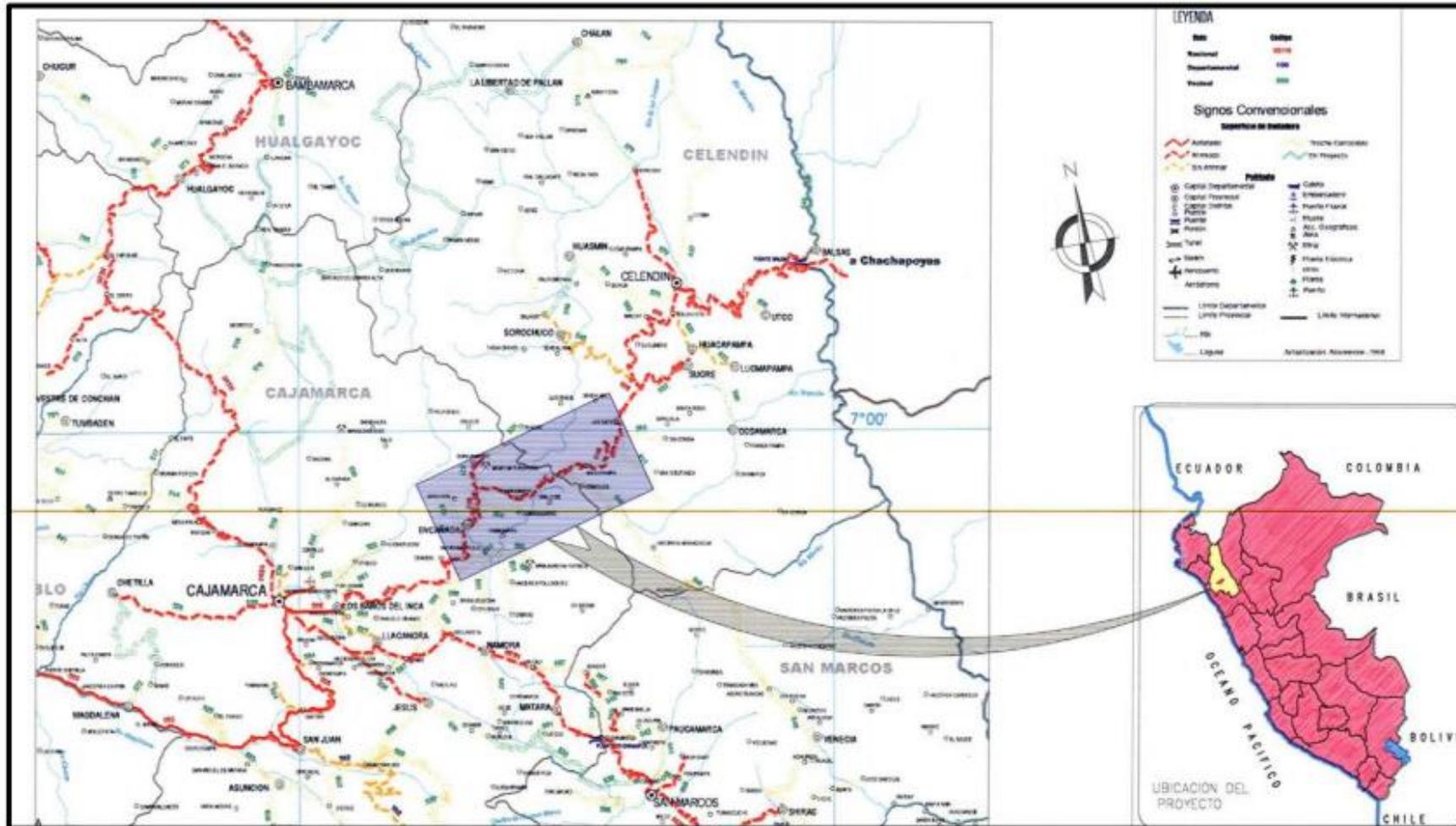
TÍTULO: "Diseño de pavimento flexible empleando Método AASHTO 93 para mejoramiento de infraestructura vial en la carretera Cajamarca – Celendín 2021."  
 autora: bach. INOCENTE CARRERA, sherryly katherin

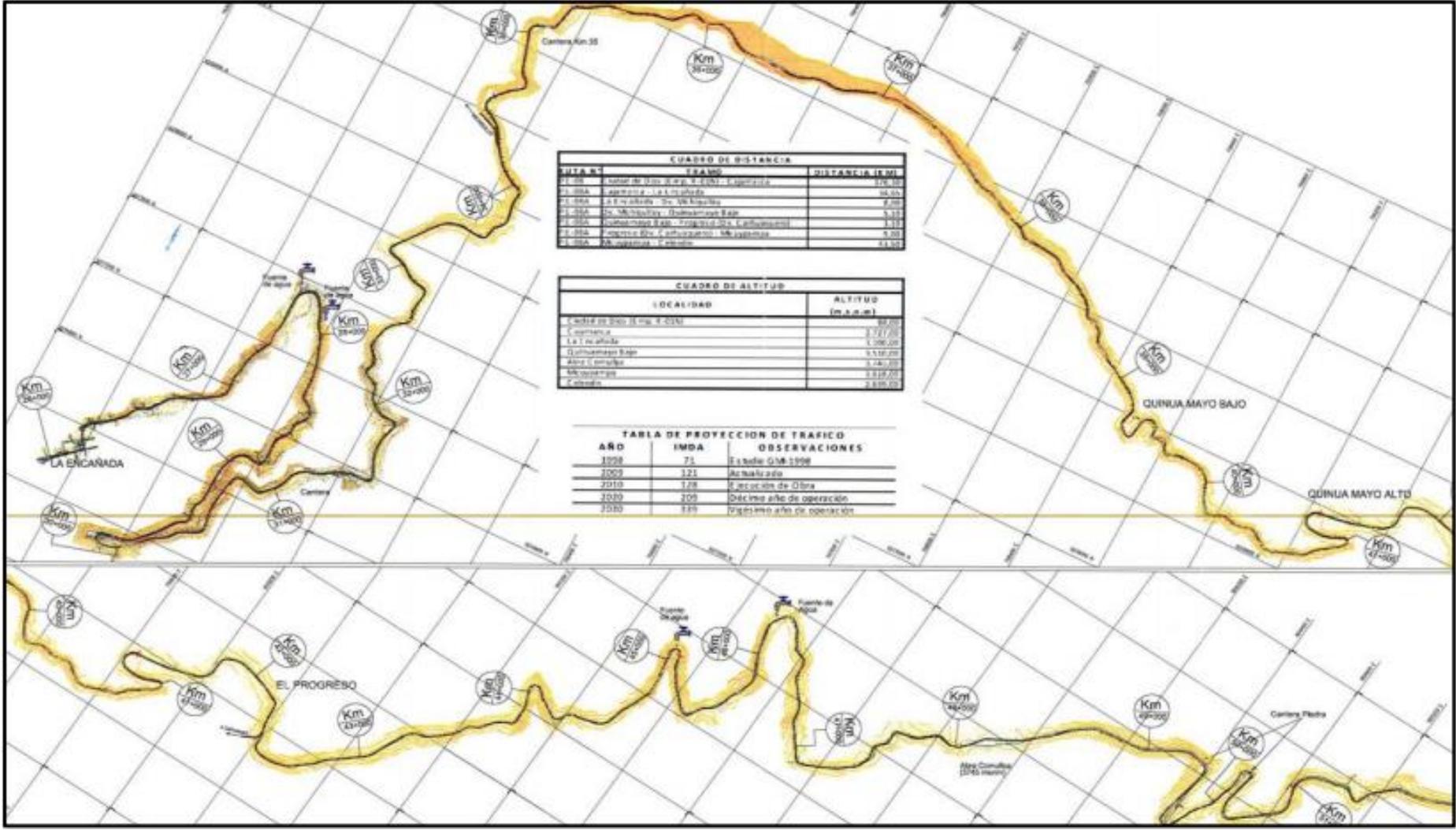
VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	INSTRUMENTO	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE Diseño de pavimento flexible.	Consiste en determinar los espesores de las capas estructurales del pavimento considerando una carpeta asfáltica en la superficie de rodadura, lo que permite deformaciones pequeñas en las capas inferiores sin que se rompa la estructura. (Quiñones, 2017).	Consiste en determinar los espesores de las capas estructurales del pavimento, es decir la carpeta asfáltica, la base y la subbase granular. Para ello se determina la capacidad de soporte del suelo y el número de ejes equivalentes, a través del ensayo CBR y el análisis de tráfico vehicular respectivamente. (Manual de Suelos y Pavimentos del MTC, 2014).	Condición geomecánica del suelo	Espeor de carpeta asfáltica.	Memoria de cálculo.	ORDINAL
				Espeor de base granular.	Memoria de cálculo.	
				Espeor de subbase granular.	Memoria de cálculo.	
			Estructura del pavimento	% de CBR	Ensayo de CBR.	ORDINAL
			Análisis de tráfico vehicular.	Numero de ejes equivalentes (EE)	Memoria de cálculo.	ORDINAL
DEPENDIENTE Mejoramiento de infraestructura vial.	Consiste en mejorar el conjunto de elementos que forman una vía para lograr una circulación de vehículos segura y confortable. (Castro, 2019).	Consiste en mejorar la serviciabilidad de la vía evaluando las fallas del pavimento existente afin de proponer un nuevo diseño de pavimento que permita optimizar el tránsito vehicular. Para ello se emplean fichas de observación y memorias de cálculo. (Manual de Suelos y Pavimentos del MTC, 2014).	Serviciabilidad de la vía.	Nivel de satisfacción.	Ficha de observación.	ORDINAL
			Presencia de fallas en el pavimento.	Grado de ahuellamiento.	Ficha de observación.	ORDINAL
			Optimización del tránsito vehicular.	Nuevo IMDA de diseño.	Memoria de cálculo.	ORDINAL

Anexo 3: Ficha de validación de expertos

FICHA DE VALIDACIÓN								
TÍTULO:				AUTORA:				
"Diseño de pavimento flexible empleando Método AASHTO 93 para mejoramiento de infraestructura vial en la carretera Cajamarca – Celendín 2021"				Bach. Inocente Carrera, Sherry Katherin.				
VARIABLES EMPLEADAS	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	VALIDEZ DEL JUICIO DE EXPERTOS				
				INGENIERO N°1	INGENIERO N°2	INGENIERO N°3		
Diseño de pavimento flexible.	Capacidad de soporte del suelo.	Espesor de capa asfáltica.	Memoria de cálculo.	0.80	0.85	0.92		
		Espesor de base granular.	Memoria de cálculo.	0.82	0.78	0.86		
		Espesor de subbase granular.	Memoria de cálculo.	0.85	0.82	0.88		
	Estructura del pavimento.	%CBR.	Ensayo de CBR.	0.83	0.88	0.87		
	Análisis de tráfico vehicular.	Número de ejes equivalentes (EE).	Memoria de cálculo.	0.95	0.76	0.74		
Mejoramiento de infraestructura vial.	Serviciabilidad de la vía.	Nivel de satisfacción.	Ficha de observación.	0.80	0.74	0.77		
	Presencia de fallas en el pavimento.	Grado de ahuellamiento.	Ficha de observación.	0.73	0.97	0.8		
	Optimización del tránsito vehicular.	Nuevo IMDA de diseño.	Memoria de cálculo.	0.81	0.74	0.76		
<b>INTERPRETACIÓN DEL VALOR DE LA VALIDEZ (Según Oseña, 2012)</b>			Sumatoria	6.59	6.54	6.60		
<b>Valor de la validez obtenida</b>	<b>Interpretación</b>							
0.53 a menos	Validez nula		Sumatoria / (n° de instrumentos)	0.82	0.82	0.83		
0.54 a 0.59	Validez baja							
0.60 a 0.65	Válida		Promedio de la validez obtenida	0.82				
0.66 a 0.71	Muy válida							
0.72 a 0.99	Excelente validez							
1.00	Validez perfecta							
 <b>TIRSO ARENAS URQUIZO</b> ING. CONTROL DE CALIDAD CIP 18795			 <b>JUAN ENRIQUE PEDRA NAYAS</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 15888			 <b>CARLOS ASNER JULCA VASQUEZ</b> INGENIERO CIVIL REG. CIP 84873		
Ingeniero N°1			Ingeniero N°2			Ingeniero N°3		

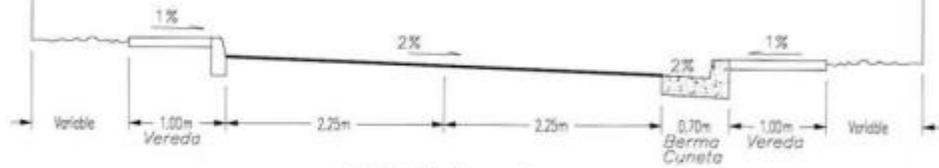
Anexo 4: Planos



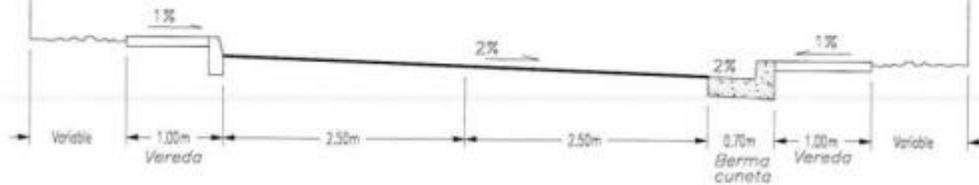




SECCION TIPICA EN ZONA DE  
ANGOSTAMIENTO DE VIA



SECCION 1 - 1  
( Km 26+220 - Km 26+259.73 )



SECCION 2 - 2  
( Km26+290.04 - km26+305.79 )

