

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**T E S I S**

**Diseño de pavimento asfáltico en frío para el mejoramiento de la carretera**

**Paucartambo – Chupaca, Pasco, Perú**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

**Bach. Emer Ronny HUAYRE HUARANGA**

**Asesor:**

**Mg. José Germán RAMIREZ MEDRANO**

**Cerro de Pasco – Perú - 2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**T E S I S**

**Diseño de pavimento asfáltico en frío para el mejoramiento de la carretera**

**Paucartambo – Chupaca, Pasco, Perú**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCIA**

**PRESIDENTE**

---

**Dr. Luis Villar REQUIS CARBAJAL**

**MIEMBRO**

---

**Dr. Zenón Manuel LOPEZ ROBLES**

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis la dedico a nuestro creador  
Jehová, por brindarme el vigor  
necesario para afrontar este desafío  
profesional. A mis padres, que son el  
motor y el soporte principal de mi vida.  
A mis hermanos, por su apoyo y  
comprensión, para el logro de mis  
objetivos.*

*Emer Ronny Huayre Huranga*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme concretar esta etapa de mi vida, brindándome paciencia, fortaleza y humildad, a mi familia por su amor, apoyo incondicional y creer en mi capacidad, gracias por ser los mejores ejemplos de lucha. A la Universidad Daniel Alcides Carrión por su formación académica, a los docentes por su colaboración y orientación desinteresada.

## RESUMEN

El presente proyecto tuvo como propósito mejorar la resistencia del pavimento, reducir el desgaste y los daños causados por el tráfico y mejorar la comodidad y seguridad de los usuarios de la carretera Paucartambo – Chupaca, empleando métodos de análisis cuantitativos, ya que se realizaron encuestas y se interpretaron los datos estadísticos, el tipo de investigación fue aplicada puesto que se encontró una propuesta de mejora.

Es importante destacar que este proyecto requirió un análisis detallado de las condiciones existentes, así como una planificación cuidadosa y el cumplimiento de las normas y regulaciones pertinentes en cuanto a diseño y construcción de pavimentos. El diseño del pavimento asfáltico en frío implicó la selección de los materiales adecuados, la determinación de las proporciones de los agregados y el asfalto, y la evaluación de la resistencia y durabilidad del pavimento. Además, se debió considerar las características específicas de la carretera, como el tráfico esperado, las condiciones climáticas y el terreno circundante.

Los resultados demuestran que para un periodo promedio de 20 años el tránsito de vehículos sobre la carretera será equivalente al paso de 278627.89 ejes de 8.2 toneladas. A partir del estudio de suelos contemplado en el proyecto, se estima que los valores de esfuerzo de corte del suelo son de 28%, 19%, 39%, 40%, 48% y 45%. Es así que para el diseño final del pavimento se emplea el valor promedio encontrado en los estudios, es decir 37%. Acorde a los parámetros definidos de numero acumulado de ejes equivalentes, se establece que el diseño de pavimentos cuenta con un numero estructural requerido de 1.504. Este último define las características mínimas del diseño que deben ser suplidas para diferentes espesores de capa propuesto. Finalmente, se estima que un pavimento con espesores de 5 centímetros de carpeta asfáltica, 20 centímetros de base y 20 centímetros de subbase, satisface con creces todos los requerimientos mínimos establecidos. Ya que el diseño final propuesto con estos

espesores cuenta con una dotación de numero estructural de 2.407, se establece que existe una holgura del 60% respecto al mínimo requerido.

Palabras Clave: Resistencia del pavimento, desgaste, daños por tráfico, número estructural, diseño de pavimento asfáltico en frío, carpeta asfáltica, base y subbase.

## ABSTRACT

The present project aimed to improve the pavement's resistance, reduce wear and damage caused by traffic, and enhance the comfort and safety of users on the Paucartambo - Chupaca road, employing quantitative analysis methods. Surveys were conducted, and statistical data was interpreted, making it an applied research project due to the proposal for improvement.

It is important to highlight that this project required a detailed analysis of the existing conditions, careful planning, and compliance with relevant norms and regulations regarding pavement design and construction.

The design of the cold asphalt pavement involved the selection of suitable materials, determination of aggregate and asphalt proportions, and evaluation of the pavement's resistance and durability. Additionally, specific characteristics of the road had to be considered, such as expected traffic, climatic conditions, and the surrounding terrain.

The results demonstrate that over an average period of 20 years, the traffic on the road will be equivalent to the passage of 278,627.89 8.2-ton axles. Based on the soil study conducted as part of the project, it is estimated that the soil shear stress values are 28%, 19%, 39%, 40%, 48%, and 45%. Therefore, the average value of 37% found in the studies is used for the final pavement design. According to the defined parameters of accumulated number of equivalent axles, it is established that the pavement design requires a structural number of 1.504. This defines the minimum design characteristics that must be met for different proposed layer thicknesses. Finally, it is estimated that a pavement with 5 centimeters of asphalt surface, 20 centimeters of base, and 20 centimeters of subbase more than adequately satisfies all the minimum requirements established. Since the final proposed design with these thicknesses has a structural number provision of 2.407, there is a 60% margin compared to the minimum requirement.

Keywords: Pavement resistance, wear, traffic damage, structural number, cold asphalt pavement design, asphalt surface, base, subbase.

## INTRODUCCION

La carretera Paucartambo - Chupaca, ubicada en la región de Pasco, Perú, desempeña un papel crucial en la conectividad y desarrollo de la zona. Sin embargo, como ocurre con muchas vías de tránsito, la carretera ha experimentado desgaste y deterioro a lo largo del tiempo debido al tráfico constante y las condiciones climáticas adversas. Con el objetivo de mejorar la calidad y durabilidad de esta importante vía, se plantea el proyecto de diseño de pavimento asfáltico en frío.

El diseño de pavimento asfáltico en frío se presenta como una solución eficiente y económicamente viable para el mejoramiento de la carretera. A diferencia de los métodos tradicionales que requieren calentar el asfalto antes de su aplicación, el pavimento asfáltico en frío utiliza mezclas asfálticas que pueden ser colocadas directamente, lo que simplifica el proceso y reduce los costos asociados.

El presente proyecto tiene como objetivo principal desarrollar un diseño adecuado de pavimento asfáltico en frío para la carretera Paucartambo - Chupaca, considerando las condiciones específicas de la vía, el tráfico esperado y las características del terreno. El diseño se basará en una cuidadosa selección de materiales y la determinación precisa de las proporciones de los agregados y el asfalto, garantizando una mezcla que ofrezca resistencia, durabilidad y un óptimo rendimiento bajo las cargas de tráfico previstas.

La implementación del pavimento asfáltico en frío requerirá una planificación minuciosa, desde la preparación del terreno hasta la colocación y compactación de la mezcla asfáltica. La calidad del proceso de construcción será fundamental para asegurar la eficacia y longevidad del pavimento, así como la comodidad y seguridad de los usuarios de la carretera.

A través de este proyecto, se busca brindar una solución efectiva y sostenible al problema del deterioro del pavimento en la carretera Paucartambo - Chupaca. Se espera que la implementación del pavimento asfáltico en frío mejore significativamente las condiciones de la vía, optimizando la resistencia, reduciendo los costos de mantenimiento y promoviendo un tránsito más seguro y fluido para todos los usuarios.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCION	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE TABLAS	

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3.1. <i>Problema general</i> .....	4
1.3.2. <i>Problemas específicos</i> .....	4
1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS .....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	6

### CAPITULO II

#### MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO .....	7
2.1.1. <i>Antecedentes internacionales</i> .....	7
2.1.2. <i>Antecedentes nacionales</i> .....	9
2.1.3. <i>Antecedentes locales</i> .....	10
2.2. BASE TEÓRICAS – CIENTÍFICAS .....	11

2.2.1. Teoría de pavimentos.....	11
2.2.2. Asfalto como material de pavimentación.....	17
2.2.4. Ensayos para pavimentos.....	21
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	22
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	33
2.4.1. Hipótesis general.....	33
2.4.2. Hipótesis específicas.....	33
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	34
2.5.1. Variable independiente.....	34
2.5.2. Variable dependiente.....	34
2.5.3. Variable interviniente.....	34
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES.....	34

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGIA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	35
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	35
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	35
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	36
3.5.1. Población.....	36
3.5.2. Muestra.....	37
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	37
3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	37
3.8. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	39

### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....	41
--	----

4.1.1. Levantamiento de información.....	41
4.1.2. Recopilación y procesamiento de datos.....	65
4.2. PRESENTACIÓN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	82
4.2.1. Consideraciones generales para el diseño de pavimentos.....	82
4.2.2. Calculo del número estructural requerido.....	83
4.2.3. Calculo del número estructural dotado y espesores de carpeta.....	84
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	85
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	86
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límite de sustancias nocivas en el agregado fino .....	26
Tabla 2: Límite de sustancias nocivas en el agregado grueso .....	27
Tabla 3: Variables consideradas en el estudio .....	34
Tabla 4: Topografía representativa .....	42
Tabla 5: Ubicación de estaciones de conteo .....	44
Tabla 6: Índice medio diario anual del tramo ancara - chupaca.....	56
Tabla 7: Variaciones diarias de tráfico en el tramo ancara - chupaca.....	57
Tabla 8: Periodos de diseño en diferentes etapas.....	58
Tabla 9: Crecimiento por categoría de vehículos .....	58
Tabla 10: Factores de carga .....	59
Tabla 11: Características del suelo .....	59
Tabla 12: Tipo de suelo en la capa de la subrasante .....	60
Tabla 13: Tipo de suelo en la capa de rodadura .....	61
Tabla 14: Tipo de suelos a lo largo del tramo de estudio .....	62
Tabla 15: Cbr al 100 % de la máxima densidad seca.....	62
Tabla 16: Ensayos de laboratorio de la cantera patay ninacaca.....	64
Tabla 17: Ensayos de laboratorio de la cantera el inca .....	65
Tabla 18: Índice diario anual de vehículos .....	70
Tabla 19: Factores de distribución direccional y de carril .....	71
Tabla 20: Equivalencias por tipo de eje.....	73
Tabla 21: Numero acumulado de ejes equivalentes (w18) .....	74
Tabla 22: Datos del cbr para el diseño.....	76
Tabla 23: Niveles de confiabilidad para una etapa de diseño.....	77
Tabla 24: Coeficientes estadísticos de desviación estándar normal para una sola etapa de diseño .....	78
Tabla 25 Coeficientes estructurales de capas.....	80

Tabla 26: Calidad de drenaje en función al tiempo de evacuación del agua .....	81
Tabla 27: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles .....	81

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sección de un pavimento flexible .....	12
Figura 2: Sección de un pavimento semi - rígido .....	13
Figura 3: Sección de un pavimento rígidos .....	14
Figura 4: Sección de pavimentos articulados .....	15
Figura 5: Trabajos de pavimentación de una vía con asfalto.....	18
Figura 6: Ensayo marshal .....	21
Figura 7: Agregado fino.....	25
Figura 8: Agregado grueso .....	26
Figura 9: Ensayo cbr.....	30
Figura 10: Tipos de ensayo proctor.....	31
Figura 11: Tipos de estratos .....	32
Figura 12: Características de la estratificación .....	33
Figura 13: Representación gráfica de los automóviles .....	66
Figura 14: Representación gráfica de pick upp .....	66
Figura 15: Representación gráfica de las camionetas rurales .....	67
Figura 16: Representación gráfica de los microbuses .....	68
Figura 17: Representación gráfica de vehículos c2.....	68
Figura 18: Representación gráfica de vehículos c3.....	69
Figura 19: Distribución porcentual de vehículos .....	70

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

La falta de infraestructura vehicular es un problema social que aqueja a múltiples naciones del mundo, independientemente a su desarrollo tecnológico y económico que puedan presentar. Básicamente, debido al enorme crecimiento de la población mundial, cada día se requieren mayores cantidades de carreteras, puentes, caminos y demás. En la actualidad, la falta de este tipo de infraestructuras ha afectado principalmente a las poblaciones rurales ya que se encuentran limitados al acceso de algunos servicios básicos como educación y salud.(ComexPerú, 2020)

De acuerdo a Sanchez (2019) gran parte de la problemática en el Perú se debe a la falta de preocupación por parte del gobierno en implementar nuevas infraestructuras viales de buena calidad y en grandes magnitudes. Si bien la poca infraestructura construida durante las últimas décadas ha permitido que nuestro país experimente un ligero crecimiento en su economía. En tiempos actuales, estas no solo resultan ser insuficientes para suplir las necesidades de todos los usuarios, sino también se caracterizan por mostrar grandes deficiencias en su calidad. Pese a que todas las evidencias demuestran que la falta de este tipo de

construcciones limita en gran manera las oportunidades de crecimiento del Perú, todo ello parece no importarles a nuestras autoridades.

Paucartambo es un distrito perteneciente al departamento y provincia de Pasco que cuenta con una superficie aproximada de 704.33 Km<sup>2</sup> y alberga alrededor 4438 habitantes. Debido a que presenta un clima muy variado, con precipitaciones intensas y olas de calor abrazadores, la mayor parte de los pavimentos de sus calles tienden a deteriorarse muy rápido resultado ser intransitables para los usuarios (Portal iPerú, 2021). De acuerdo al informe de zonas críticas por peligros geológicos en la región pasco elaborado por Poma y Seminario (2013), Paucartambo es un área sujeta a la ocurrencia de huaycos, derrumbes y erosión de la laderas. En muchas ocasiones el desbordamiento del río Paucartambo ha terminado por inundar las carreteras del poblado de Chupaca, dejándolo con un daño irreparable. Ya que en la actualidad las condiciones de la carretera que permiten el acceso a Chupaca son deplorables, múltiples transportistas prefieren no prestar sus servicios en esta zona. Con ello, no solo se ha visto reducido en gran medida múltiples actividades económicas del sector, sino también se encuentra restringido el acceso a algunos servicios básicos como seguridad, salud y educación.

El presente proyecto de tesis titulado “DISEÑO DE PAVIMENTO ASFALTICO EN FRIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA PAUCARTAMBO - CHUPACA, PASCO, PERÚ”, tiene como objetivo impulsar el desarrollo Socio - Económico de los pobladores de Paucartambo. El proyecto en mención se enmarca dentro de los lineamientos institucionales del Gobierno Regional de Pasco. Básicamente, busca plantear un adecuado diseño de infraestructura vial en la región pasco, el cual, mejore el desarrollo de actividades comerciales en la zona y facilite el acceso a seguridad, educación y salud de calidad para localidades rurales.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **Alcances de la investigación**

En esta sección se definen y deciden las brechas de espacio, tiempo y circunstancias sobre las cuales se desarrollan las actividades necesarias para llevar a cabo la presente investigación. A nivel espacial el diseño de pavimentos se realiza en la Localidad de Áncara-Chupaca-Cochambra, ubicada en el Distrito de Paucartambo, Provincia y departamento de Pasco, que es el área geográfica donde se realizarán los ensayos y demás estudios pertinentes. En cuanto a las áreas de conocimiento abarca toda la teoría de Pavimentos, ya que se determinará los parámetros necesarios para el diseño y posteriormente se evaluarán sus propiedades frente a criterios técnicos y económicos. En adición a lo mencionado, se seguirá la metodología dada por la Guía AASHTO (Diseño de estructuras de pavimentos, 1993). Por último, referente a las brechas de tiempo, el desarrollo completo de la tesis tiene una duración promedio de 6 meses. Durante este periodo, se recopila toda la información necesaria, se ejecutan trabajos en campo, se establece el diseño de pavimentos y evalúa sus principales impactos.

### **Importancia**

Referente al aspecto económico, el diseño del pavimento de esta carretera impulsa el desarrollo de actividades comerciales que se basan en el traslado de personas y mercaderías. Básicamente reduce el consumo de combustibles en vehículos motorizados y en consecuencia los costos asociados a los pasajes y fletes. Así mismo, permite que los agricultores de la zona puedan trasladar fácilmente sus productos a otras localidades, abriéndoles las puertas a diferentes mercados nacionales. En segundo lugar, ya que esta localidad se concentran una gran cantidad de lagunas, valles, quebradas y demás ambientes naturales fomenta que una mayor cantidad de personas perciban el lugar como un buen

destino turístico. Con ello también se ven beneficiados múltiples negocios locales dedicados al hotelería, comida, movilidad, recreación y demás.

A nivel social, las mejoras provistas por el diseño de esta carretera pueden ser resumidas en tres aspectos: educación, salud y seguridad. En cuanto se refiere a la educación, una buena pavimentación permite que escolares, universitarios e instructores puedan desplazarse en menor tiempo hacia los centros de enseñanza. En cuanto a la salud, contribuye a la ampliación de la cobertura de atención que tienen los puestos de salud, a la vez que facilita el acceso de los pobladores a hospitales, clínicas y farmacias. Finalmente, en cuanto a seguridad, disminuye considerablemente la ocurrencia de todo tipo de accidentes de tránsito y permite que entidades como la policía, serenazgo y los bomberos mejoren sus servicios.(García et al., 2011) (UDEP, 2015).

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cómo el diseño de pavimento asfáltico en frío de la carretera Paucartambo - Chupaca, influirá de manera positiva en estas localidades?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo influye el Estudio de Tránsito en el diseño de pavimento asfáltico en frío de la carretera Paucartambo - Chupaca, Pasco, Perú?
- ¿Cómo influye la resistencia al esfuerzo de corte del Suelo (CBR) en el diseño de pavimento asfáltico en frío de la carretera Paucartambo - Chupaca, Pasco, Perú?
- ¿De qué manera los espesores calculados del diseño pavimento asfáltico en frío de la carretera Paucartambo-Chupaca, afectan a la transitabilidad de vehículos?

## **1.4. Formulación de objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Realizar el diseño de pavimento asfáltico en frío para la carretera Paucartambo-Chupaca, acorde a lo establecido por la guía AASHTO 93.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- A partir de un estudio de tráfico estimar el periodo de diseño de la carretera, así como el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas para el diseño final.
- Evaluar y analizar la resistencia al esfuerzo de corte del Suelo (CBR) para el diseño de pavimento asfáltico en frío de la carretera Paucartambo - Chupaca, Pasco, Perú.
- Determinar el número estructural requerido por el pavimento en base a características propias del tráfico, condiciones climáticas y demás.
- Calcular espesores de capa para la carpeta asfáltica, base y subbase, los cuales, doten a la estructura de un número estructural mayor al requerido.

## **1.5. Justificación de la investigación**

En la actualidad existen un sinnúmero de problemáticas que aquejan a las localidades de Chupaca, Paucartambo y todo Pasco, los cuales se encuentran estrechamente relacionados a la falta de infraestructura vial en esta localidad. Entre los ejemplos más destacados del “Seguimiento concentrado al acuerdo de gobernabilidad para el desarrollo integral de la región pasco 2019-2022” se puede mencionar lo siguiente. Para comenzar, debido al dificultoso acceso a los puestos de salud existe un número importante de muertes maternas, así como en niños recién nacidos y menores de 5 años. Adicionalmente a ello, la cobertura de vacunas en niños no llega a las comunidades rurales y muchas ocasiones quedan

excluidos de programas de desarrollo infantil temprano. Con referencia a la educación, la falta de adecuados pavimentos también ha influenciado que un gran número de estudiantes no concluyan satisfactoriamente su educación secundaria y en el peor de los casos que ni siquiera inicien la primaria. Referente a la seguridad, ha imposibilitado que diversos niños, niñas y adolescentes que han sufrido algún tipo de violencia no puedan denunciar (Caqui, 2020). En líneas generales, el planteamiento de diseño propuesto por la presente tesis puede ayudar en gran medida a resolver todos los problemas mencionados ya que brinda una mejor conectividad a la zona de estudio.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

La presente investigación aplica la metodología AASHTO del año 1993 para el diseño de pavimentos flexibles, así como para la evaluación de todos los parámetros y variables involucradas. Puntualmente se limita al tramo Paucartambo – Chupaca (Km. 0+000 – Km. 4+795), el cual, pertenece al camino vecinal con código N° 535 del ministerio de transportes y comunicaciones. Esta carretera parte de la ciudad de Paucartambo y culmina en el Centro Poblado de Chupaca, anexo de Cochambra. En forma resumida el diseño de la estructura del pavimento pretende establecer los espesores y rigideces de los materiales para mantener la vía bajo un cierto nivel de deterioro, confort y transitabilidad.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

Para el desarrollo del siguiente proyecto se utiliza algunas referencias y experiencias de otros trabajos que fueron realizados tanto dentro como fuera de nuestro país. Básicamente, sirven como una guía para el diseño de un pavimento flexible y de ayudan en la determinación los parámetros involucrados. A continuación, se presentan los principales antecedentes nacionales e internacionales.

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

- Ramos y Muñiz (2013), “Propuesta de diseño de mezcla asfáltica en frio de graduación densa como alternativa para el mantenimiento de pavimentos flexibles”: En el siguiente trabajo monográfico plantean una propuesta para el diseño de mezcla asfáltica en frio de graduación densa para el mantenimiento de pavimentos flexibles estimado por medio del ensayo Marshall. Tienen como objetivo principal diseñar mezcla asfáltica en frio de graduación densa como alternativa para el mantenimiento de pavimentos flexibles que inicia de la emulsión asfáltica. Se menciona que el problema de pavimentos se presenta en

todo el mundo por lo cual se han realizado grandes campañas para perfeccionar el comportamiento de las mezclas asfálticas. Una de las propuestas es la utilización de diferentes materiales que puedan mejorar el impacto ambiental que tiene por consecuencia la explotación y obtención de los aditivos pétreos, mejorar el comportamiento mecánico. Referente al impacto ambiental que se produce, cabe mencionar los altos consumos energéticos que involucra el diseño de mezclas asfálticas en caliente y considerables cantidades de combustible para el calentamiento del asfalto y aditivos. Como conclusión mencionan que los aditivos son parte importante del diseño de mezclas, por lo cual, debe manejarse adecuadamente si se pretende un diseño óptimo.

- Crespín et al., (2012), Aplicación del Método Marshall y granulometría superpave en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con asfalto clasificación grado de desempeño. En el siguiente trabajo se menciona que las mezclas asfálticas en caliente son muy utilizadas en las capas de rodadura del Salvador. Este tipo de asfaltos se obtiene al combinar cemento asfáltico y aditivos pétreos a temperaturas muy elevadas. Se pudieron ver que las mezclas asfálticas fueron sustituidas con cemento asfáltico mediante el uso de emulsiones asfálticas para interactuar con la mezcla. Su objetivo principal es aplicar granulometría SUPERPAVE y el método de Marshall en un modelo de mezcla asfáltica en caliente con asfalto distribución PG grado de desempeño. Para ello determinaron el nivel del asfalto clasificación PG con respecto al método de temperatura en el aire de la estación meteorológica Llopango, ya que es la más cercana a el área del Salvador Se aplicaron

los registros de 20 años para determinar las temperaturas mínimas y máximas del país.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

- Flores y Antuanet (2020), “La influencia del RAP en la resistencia estructural de un pavimento reciclado en frío para el proyecto de conservación vial de la carretera Binacional Mazocruz – Puente Internacional”. Dicha investigación evalúa la influencia del RAP en el comportamiento mecánico con respecto a la resistencia estructural que proporciona la base reciclada en la estructura de un pavimento del proyecto de la carretera Binacional Mazocruz. Después de haber realizado el análisis correspondiente, llegaron a la conclusión que la utilización del Rap tendrá una negativa influencia en el pavimento. Sobre los ensayos evaluados en zonas donde hay mayor solicitud de tráfico, con relación a la índole del pavimento de la carretera, se requiere el soporte de un agente afianzador al momento de reciclar si se desea alcanzar la resistencia estructural requerida.
- Ballena (2016), Utilización de fibras de polietileno de botellas de plástico para su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío: En este trabajo tuvo como estudio dar a saber cómo se aplica la fibra reciclada de polietileno con botellas de plástico y la adaptación en una aleación asfáltica en frío. El problema que se dio a conocer es que el pavimento no se puede llegar a cumplir su ciclo de vida debido a los esfuerzos a los que se somete. El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de la fibra de polietileno agregado a una aleación asfáltica en frío sobre las características físico-mecánicas del asfalto. Así mismo determino que se llegue a cumplir con los requerimientos de flujo y estabilidad para pavimentos flexibles vigentes

en la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. En el trabajo propuesto se empleó fibra de polietileno triturado denominado por sus siglas (PET) como un elemento inorgánico implementado a la mezcla asfáltica en frío. Básicamente, realizo una comparación con una mezcla tradicional, la nueva mezcla de asfalto en frío se situaba dentro de los rangos aceptables de Estabilidad y Flujo.

- Ancalá y Delgado (2020), “Mapa de grado de desempeño (PG) para ligantes asfálticos según clasificación superpave, aplicado en las regiones lima, Ancash e Ica”. El siguiente trabajo sobre, establece un primer paso en la adaptación de la metódica Superpave, para la evaluación y selección de ligantes asfálticos en el Perú, como observación a la obligación de examinar los diferentes agentes climáticos en las provincias de Ica, Lima y Ancash como circunstancias que conciernen de manera natural a los adoquinados de las carreteras que se fabrican dentro de las regiones en mención.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

- Cruz y Rengido (2019). Diseño de una mezcla asfáltica en frío como alternativa para la pavimentación del Jr. Perú, distrito de Tarapoto-2019: La siguiente investigación tiene como objetivo principal diseñar una mezcla asfáltica en frío y por lo tanto hacer un contraste con la mezcla asfáltica tradicional. Para poder realizar esta investigación se ha investigado ensayos a los compuestos las cuales fueron: caras fracturadas, análisis granulométrico, plástico y límite líquido, que equivale a la arena, absorción de los agregados, gravedad específica y ensayo de abrasión, peso unitario de los asociados contenido de sales solubles en agregados y duración al sulfato de magnesio. Los resultados muestran que los parámetros físico-mecánicos de los

agregados son utilizados en el diseño de la mezcla asfáltica en frío, si se cumple con lo mencionado en las especificaciones de las normas Los diámetros que fueron Agregados en la investigación fueron de 3/4" y 1/2". La tasa de consumo (máquina ángel) es 22.7%, para ser compatible, debe tener un máximo de 25 por ciento que cumple con la norma, agregados que pueden ser encontrados de rápida y fácil manera para poder ayudar a futuros trabajos de investigación

## **2.2. Base teóricas – científicas**

### **2.2.1. Teoría de pavimentos**

#### **2.2.1.1. Definición de pavimento**

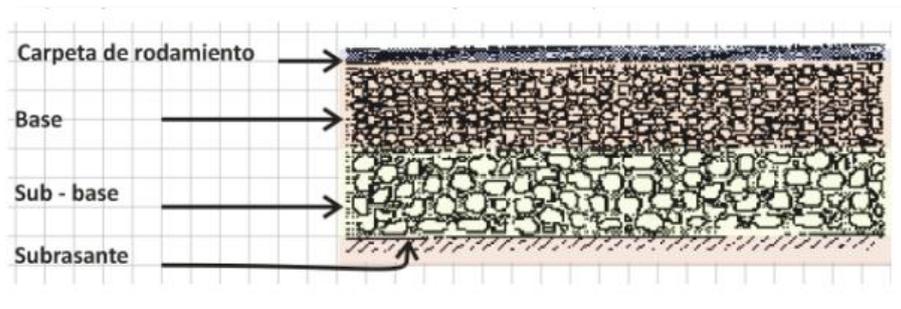
Según Ramos y Muñiz (2013) los pavimentos son estructuras de capas superpuestas en posición horizontal llamadas también subrasante, base, carpeta y subbase, instaladas hasta coronar la rasante y sujetas a posibilitar el tránsito de vehículos. Se construyen y diseñan teóricamente con apropiados materiales y compactados adecuadamente. En la actualidad, los principales materiales empleados para su construcción son los agregados pétreos y materiales bituminosos que se componen de asfaltos líquidos, crudos, asfalto en caliente, aditivados y modificados.

Según Montejo (2022) para que un pavimento cumpla adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos: Soportar el impacto de las cargas provocadas por el tráfico, ser resistente a la intemperie, presentar una textura superficial consistente con la velocidad de diseño, resistir el desgaste por el efecto abrasivo de los neumáticos, presentar una regularidad superficial como para los usuarios, ser duradero y económico, presentar condiciones adecuadas para el drenaje, reducir el ruido del tránsito.

### 2.2.1.2. Tipos de pavimento

- **Pavimentos flexibles:** Los pavimentos flexibles son estructuras que sostienen un acercamiento íntimo con las cargas y las dispersan a la subrasante; su seguridad tiene que ver con el entrelazamiento de los aditivos de las partículas en fricción y de la cohesión. Los pavimentos flexibles están compuestos por una capa bituminosa puesto básicamente sobre dos capas no rígidas, la subbase y la base.

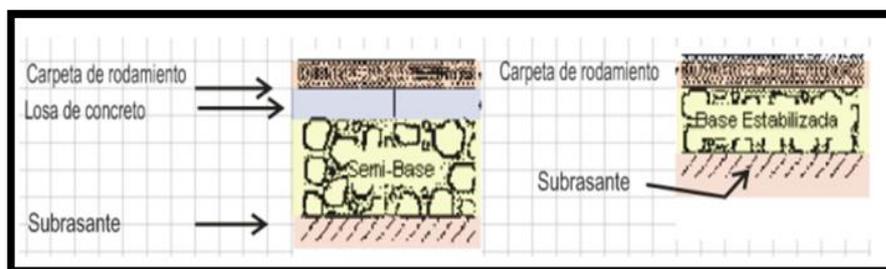
**Figura 1: Sección de un pavimento flexible**



Nota: Fuente Propia

- **Pavimentos semi – rígidos:** Esta clase de pavimentos su combinada estructura está comprendida por una carpeta flexible bituminosa que está apoyada en estructuras que son rígidas como bases estabilizadas de cemento o losas de concreto.

**Figura 2: Sección de un pavimento semi - rígido**

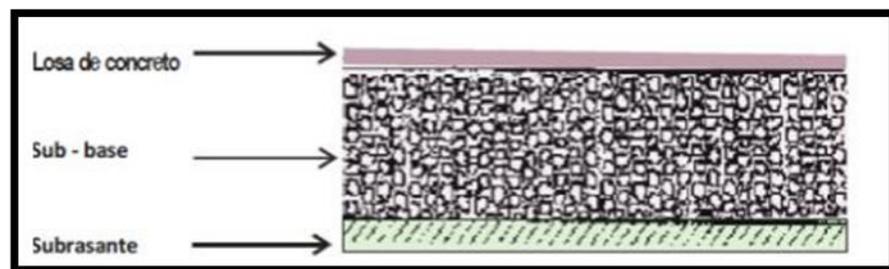


*Nota:* Fuente Propia

- **Pavimentos rígidos:** Es un pavimento que se compone esencialmente de hormigón armado liso o losas de hormigón, apoyadas directamente sobre una subbase o base. Debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, la placa absorbe la mayoría de las fuerzas aplicadas al pavimento, proporcionando una buena distribución de la carga de las ruedas, lo que resulta en muy bajas tensiones en el suelo. A grandes rasgos, este tipo de pavimentos presenta tres componentes. Primero, la subrasante que es la capa inferior sobre la que se asientan las demás capas. Su función es proporcionar un soporte razonable y uniforme sin cambios repentinos en el valor del soporte, es decir, el soporte estable proporcionado por el suelo es mucho más importante que la capacidad de carga. Por lo tanto, la expansión de los suelos debe hacerse con mucho cuidado. Segundo, la subbase que es la parte de la estructura de pavimento rígido que se encuentra entre la losa rígida y la subrasante. Consiste en una o más subcapas de material granular o estable; La función primordial de la subbase es evitar la inyección de suelos de grano fino. Se requiere de la subbase cuando una combinación de agua suelo y tráfico puede causar el bombeo. Tal situación

ocurre con frecuencia en el diseño de pavimentos para carreteras principales y tráfico pesado. Por último, la losa que es la capa superior de la estructura del pavimento, construida de hormigón hidrodinámico, por lo tanto, debido a su alta rigidez y módulo de elasticidad, su capacidad portante se basa en la losa, no en el suelo, ya que no utilizan una capa de fondo. (Alicaresp, 2019)

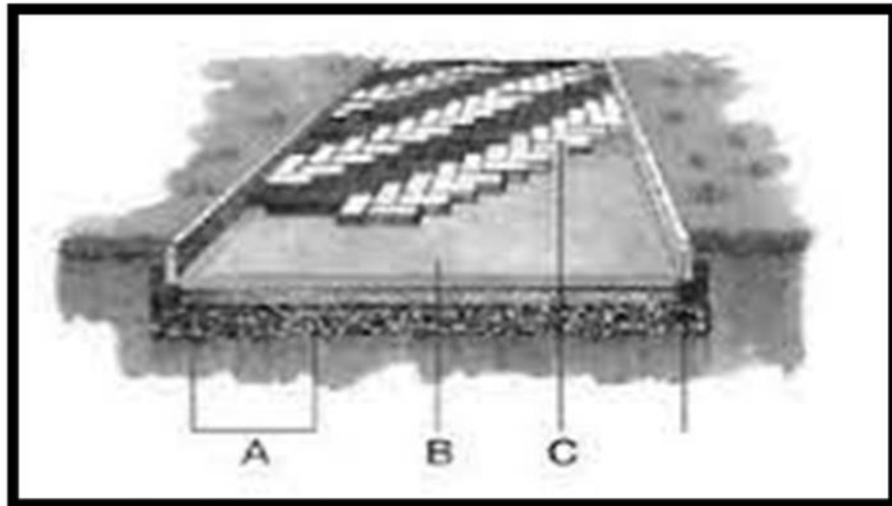
**Figura 3: Sección de un pavimento rígidos**



*Nota:* Fuente Propia

- **Pavimentos articulados:** Según Sandoval (2009) El pavimento articulado constituido por una capa abrasiva formada por bloques prefabricados de hormigón, conocidos como adoquines, de espesor uniforme unidos entre sí, puede descansar sobre una fina capa de arena, que a su vez descansa sobre sustrato granular o directamente sobre el subsuelo, según la calidad y magnitud. de la frecuencia de la carga que circula por dicho revestimiento.

**Figura 4: Sección de pavimentos articulados**



*Nota:* Fuente Propia

### **2.2.1.3. Metodologías para el diseño**

- **Método AASHTO 1993:** Irigoin (2018) señala que este método se utiliza para el diseño de pavimentos de tipo flexibles y se encuentra basado en la construcción de la carretera AASHTO en Ottawa a finales de los 50's y publicada como guía en el año 1986, según los siguientes pasos: Cálculo del tráfico para el periodo a considerar en el diseño, definir la desviación estándar combinada y la confiabilidad, establecer el módulo de resistencia efectiva de la subrasante, determinar la pérdida de serviciabilidad, asignar el numero estructural y finalmente establecer los espesores.
- **Método del Asphalt Institute 1991:** Este método incluye el cálculo de espesores de refuerzos asfálticos, considerando pavimentos flexibles y hormigón. La estructura del pavimento es considerada como un sistema elástico multicapa en el que los materiales se caracterizan por su modulo elástico y la relación de Poisson, el transito se expresa en términos de

repeticiones de un eje simple que equivale a 80 kN, el procedimiento puede aplicarse a pavimentos conformados por distintas combinaciones de concreto asfáltico en carpeta y base, agregados no tratados para base y subbase y mezclas en frío.

#### **2.2.1.4. Estudios previos para el diseño**

- **Estudio de mecánica de suelos:** Con la finalidad de determinar propiedades químicas, físicas y mecánicas del suelo se debe realizar un estudio de mecánica de suelos para estudiar cual es la factibilidad técnica del alineamiento vertical y horizontal, conocer el tipo de material de corte, ubicar el nivel freático, caracterizar los materiales de cantera y localizarlos. Este estudio tiene una gran importancia para el diseño estructural del pavimento como y realizar una buena ejecución de la obra y un adecuado control de carretera (Villanueva, 2021).
- **Estudio de Transito:** De acuerdo con Calderon y Zelaya (2015) este estudio tiene como objetivo determinar la composición y volumen de tráfico desde el inicio de operación de la carretera, gracias a este estudio se puede determinar la capacidad, nivel de servicio cuantificación de los ejes equivalentes, etc. El comportamiento y volumen de tráfico lo definen la demanda de un proyecto vial.
- **Teorías para el diseño de pavimentos flexibles:** Coria et al. (n.d.) señala que existen dos criterios básicos para el diseño

de pavimentos flexibles nuevos: La deformación permanente y la fatiga. En 1953 Kerkhoven y Dormon sugirieron la deformación vertical de compresión en la coronación de la subrasante como criterio de fallo para el control de las deformaciones permanentes, por otro lado, Saal y Pell recomendaron que utilizar la deformación horizontal podría controlar la fisuración debido a la fatiga. Dormon y Metcalf presentaron el uso de ambos conceptos para diseñar firmes.

## **2.2.2. Asfalto como material de pavimentación**

### **2.2.2.1. Definición de asfalto**

Según Blanco (2017) asfalto u originalmente llamado "bitumen"; de la raíz sánscrita, que significa hacer alquitrán; Es un mineral que se deriva de varios ingredientes principalmente naturales y debido a sus propiedades y características hoy en día están presentes en su elaboración una gran variedad de productos, en general su utilidad se encuentra comúnmente en la construcción de carreteras.

Se pueden observar los primeros usos del bitumen, determinando que ha sido utilizado de forma cruda y natural, existen yacimientos de crudo subterráneos; Esto puede deberse a causas geológicas, ya que la cantidad observada depende de algún proceso natural que puede cambiar las propiedades del material y, por supuesto, ha habido grandes depósitos de petróleo crudo durante miles de años.

**Figura 5: Trabajos de pavimentación de una vía con asfalto**



*Nota:* Fuente Propia

#### **2.2.2.2. Tipos de asfalto**

Según petróleos del Perú - Petroperú S.A. los tipos de gados asfálticos son: Cementos Asfálticos o también llamados Asfaltos Sólidos, Asfaltos Líquidos o Cut-Backs, Suspensiones Asfálticas, Asfaltos Modificados y Asfaltos Industriales

Según Ballena (2016) La clasificación de los asfaltos pueden ser de tres tipos generales: Cemento asfáltico, Asfalto cortado, Asfalto emulsionado. Los asfaltos emulsificadores y diluidos son usados en su totalidad, en mezclas en riesgo y en frío. Los cementos asfálticos, por otro lado, en mezclas en caliente

#### **2.2.2.3. Propiedades físicas**

Según Laime (2020) las propiedades físicas del asfalto, que son de gran importancia para el diseño, la construcción y el mantenimiento de carreteras, son 5: En principio la Durabilidad, que es una medida de la capacidad de un asfalto para retener sus propiedades originales cuando se expone a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad criticada mayormente por el desempeño del pavimento y, por lo tanto, es difícil determinar las propiedades del asfalto solo. En segundo

lugar, la cohesión que es la capacidad del bitumen para fijarse a los agregados en la mezcla de pavimento y la adherencia es la capacidad del asfalto para retener las partículas de agregado del pavimento terminado en su lugar. En tercer lugar, la sensibilidad a la temperatura, ya que el asfalto es termoplástico; es decir, se vuelven más viscoso a medida que disminuye su temperatura y más blandos (menos viscosos) a medida que aumenta su temperatura. Esta propiedad a la que también se denomina tasa de cambio de la viscosidad con la temperatura, es una de las propiedades más valiosas del betún. La sensibilidad a la temperatura varía entre asfaltos elaborados a partir de aceites de diferente origen, incluso si los asfaltos tienen la misma consistencia. Por último, el Temple y envejecimiento. Básicamente el asfalto tiende a endurecerse, aumentando su homogeneidad en las mezclas asfálticas durante la construcción, así como en el pavimento terminado. Este endurecimiento se debe primordialmente a la oxidación que es la combinación del asfalto con el oxígeno, que ocurre más fácilmente a altas temperaturas.

#### **2.2.2.4. Propiedades químicas**

Según Laime (2020) Actualmente, no existe una prueba estándar para determinar la composición química del bitumen mejor llamado asfalto que sea aceptable para los vendedores, comparadores y usuarios del material. Las pruebas existentes para el análisis de la composición química requieren equipos complejos y conocimientos técnicos que no están disponibles en la mayoría de los laboratorios de pruebas de asfalto. La relación entre la aplicación en la estructura del pavimento y la composición química del cemento asfáltico.

### 2.2.2.5. Mezclas asfálticas en frío

Es la mezcla constituida por la aleación de uno o varios aditivos pétreos con la emulsión asfáltica que es el asfalto disuelto en agua antes de ser mezclar con los aditivos. En este caso de emulsión, el asfalto es poco viscoso y es más fácil trabajar con asfalto compacto. La emulsión también se romperá cuando se evapore suficiente agua y la mezcla fría comience a tener mucha fuerza. El asfalto acuoso se utiliza como compuesto no agregado. A menudo se utilizan como reparaciones en caminos sin pavimentar. Acorde al porcentaje de vacíos que presentan se pueden clasificar las mezclas asfálticas en cerradas y abiertas. (Ramos y Muñiz, 2013)

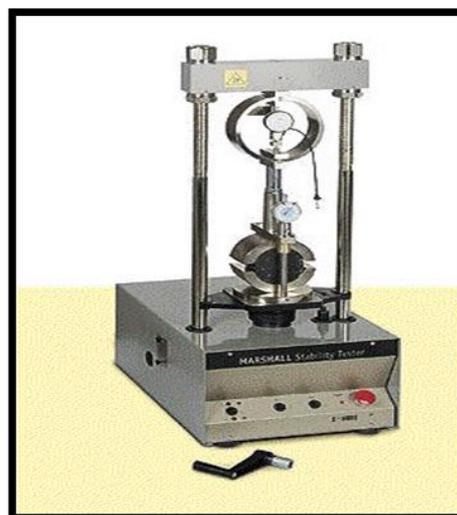
- **Mezclas densas o cerradas:** Se denominan así por su relación de vacíos que es inferior al 6%. Aunque se pueden compactar después de que la emulsión se descompona, no se recomienda colocarlos en el sitio si no se manipulan adecuadamente, por otro lado, no se pueden abrir en el camino hasta que alcancen la resistencia completa. Particularmente, pueden ser utilizados en bases negras, en bases estabilizados con emulsión, en la carpeta de nivelación y la estabilización de materiales marginales.
- **Mezclas abiertas:** Según Ramos y Muñiz (2013) Se dicen que son abiertas porque se conceptualizan partiendo de su porcentaje de vacíos. por lo cual debe ser mayor al 12%. La clasificación abierta es la más empleada ya que se caracterizan por su trabajabilidad durante semanas, esta clasificación abierta consiste en combinar un aditivo pétreo grueso y con uniforme granulometría. Al igual que las mezclas densas este tipo de asfalto es utilizado en bases negras además de mezclas en acopio.

## 2.2.4. Ensayos para pavimentos

### 2.2.4.1. Ensayo Marshal

Según De la Cruz y Porras (2015) Dicho concepto del ensayo Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, un ex ingeniero de asfalto del Departamento. Carretera estatal de Misisipi. El juicio de Marshall surgió de una investigación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos que comenzó en 1943. Se han discutido varios métodos de diseño y control de mezclas asfálticas para crear un proceso simple. El propósito del sistema Marshall es determinar el mejor contenido de asfalto para el agregado. Este sistema también proporciona información sobre las características de la mezcla asfáltica en caliente y establece la densidad y la no conductividad óptima que se deben respetar durante la construcción del pavimento. El método Marshall solo está disponible en compuestos de asfalto caliente con un espesor compuesto de 25,0 mm o menos. La técnica se puede utilizar para el diseño de laboratorio, así como para pruebas de campo de pavimento de asfalto mixto (ligero). (Crespín et al., 2012)

**Figura 6: Ensayo Marshal**



*Nota:* Fuente Propia

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Resistencia estructural:** Es la capacidad del suelo para resistir la deformación bajo carga cuando comienza la falla de su estructura interna. A medida que el coeficiente  $M$  disminuye, el suelo reacciona en una tendencia lineal. Si se tiene en cuenta la durabilidad de la estructura al calcular el asentamiento, entonces:

- a) La zona de impacto se caracteriza por la profundidad por debajo del fondo de la cimentación, donde el aumento de la tensión longitudinal  $z$  se retoma idéntico a la fuerza estructural del suelo (determinada por la multiplicación de la tensión geostacionaria inicial  $\sigma$  y el coeficiente  $m$ .

$$\sigma_z = m \cdot \sigma_{or} \quad \text{Ecuación (1)}$$

- b) ) Al calcular el asentamiento de una capa, el crecimiento de la tensión vertical por lo que  $\sigma_z$  a la excedente y limitado por la resistencia estructural del suelo, su fórmula es:

$$\sigma_z = m \cdot \sigma_{or} \quad \text{Ecuación (2)}$$

- **Durabilidad:** Según Gálvez (2010) La durabilidad es la capacidad de aguantar, a lo largo de la vida útil para la que ha sido hecha, sus condiciones químicas y físicas a los que se expone, y por los que podrían llegar a provocar su degradación como resultado de diferentes efectos a las cargas y solicitaciones consideradas en el análisis estructural. Por otro lado Valdés Krieg, A. (2017) La durabilidad es la capacidad de las estructuras de hormigón armado para mantener las condiciones físicas y químicas sin cambios a lo largo de su vida útil a medida que sufren el deterioro del material debido a diversas cargas e influencias en su estructura. El proyecto en particular deberá tomar las

medidas adecuadas para lograr la vida útil de la estructura especificada en el proyecto, tomando en cuenta las condiciones naturales y climáticas y el tipo de estructura a ser levantada. Las acciones preventivas indicadas en la etapa de diseño suelen ser muy efectivas y limitan los posibles costos posteriores. Existen factores que afectan la durabilidad del concreto los cuales son de muchos tipos y se pueden dividir en dos categorías: Factores extrínsecos: aquellos presentes en el medio ambiente o debido a las actividades de las condiciones, incluidos los iones de cloro, dióxido de carbono, sulfatos, bacterias, abrasivos y el ciclo de congelación-descongelación. Los elementos intrínsecos que se encuentran en el concreto mismo, como los iones de cloruro en algunos aditivos y los álcalis en el cemento, reaccionan con agregados fuertemente reactivos. A su vez, según su origen, se pueden dividir en elementos físicos, químicos, biológicos y mecánicos. A veces estos agentes aparecen simultáneamente. El valor de los factores agresivos depende del entorno en el que viven, la velocidad de penetración y el medio de transporte. Estos corrosivos pueden ser gases, líquidos o partículas que forman parte del suelo adherido al hormigón.

- **Costo:** Es una variable económica que representa el costo económico total del proceso productivo. Este monto es el más importante en las estadísticas de la empresa, pues le sigue el precio del producto fabricado que será vendido al público. Es una inversión en producción. Al igual que los bienes, los servicios también utilizan este en sus cuentas porque de la misma manera se determina el uso de los bienes monetarios que se tienen en la empresa para realizar sus funciones de manera que sean iguales, similares. La función principal del término es observar si es rentable seguir planes basados en ideas existentes, las ganancias del cambio de divisas que se obtienen con la producción siempre deben ser más altas que los costos de producción costos de producción para

impulsar el desarrollo de nuevas iniciativas que estimulan el crecimiento empresarial.

- **Conservación:** Según el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (n.d.) la conservación es la preservación, protección, restauración o manejo del entorno natural y las comunidades ecológicas en las que reside. La conservación primordialmente incluye la gestión del uso humano de los recursos naturales en beneficio de la sociedad, y su uso sostenible, social y económico. La conservación es cuidar y mantener los recursos naturales para que estos no desaparezcan. Los recursos naturales son los suministros físicos de las cosas que existen en la naturaleza, como el suelo, el agua, el aire, las plantas, los animales y la energía. El Servicio de Recursos Naturales (NRCS) reconoce que no queremos que estas cosas disminuyan o desaparezcan y que necesitamos trabajar para proteger y conservar los recursos naturales.
- **Comodidad:** El confort se entiende como un agrupado de acciones que involucran a un organismo, haciendo su vida cómoda y placentera, aunque no necesariamente lujosa, pero relacionada con la capacidad de moverse, descansar y/o desarrollarse holísticamente. El confort está muy relacionado con la relajación, el descanso y el esfuerzo reducido, por lo que la tecnología contribuye en gran medida a conseguirlo. Comodidad también se le puede llamar a no realizar esfuerzos
- **Diseño Mecánico – Empírico:** Según Minaya y Ordoñez (2006) Método mecánico experimental basado en la aplicación de la mecánica estructural, este método nos permite delimitar la observación de los elementos estructurales que componen el pavimento, como son las deformaciones, fuerzas, y desplazamientos, ante cargas debidas a ruedas, efecto carro, azar, cimentación. y permitir el modelado de la teoría de la elasticidad.

- **Mantenimiento:** En otras palabras, el mantenimiento es la realización de una serie de actividades, como actualizaciones y/o reparaciones, lo cual afecta la operación de los activos fijos de una empresa a lo largo del tiempo. Realizar un adecuado mantenimiento es de vital importancia en todo tipo de actividades económicas, excepto cuando la organización requiera determinados gastos. El mantenimiento es necesario para evitar fallas en el proceso de producción que generen mayores costos.
- **Fallas:** A menudo usamos la palabra "falla" en nuestro lenguaje cotidiano con la tarea el cual indica que es un defecto o deficiencia de algún instrumento o material y por lo tanto, lo hace menos útil de lo que es o ya no cuenta con su misma función, lo cual se podrá reparar si es posible o desecharse si ya no tiene algún uso.
- **Agregado:** Los agregados incluyen materiales geológicos como roca, arena y grava que se utilizan en la mayoría de las formas de construcción. Se pueden utilizar en su forma natural o moler en trozos más pequeños.
- **Agregado Fino:** Según Supermix (2018) Se considera como tal la fracción que pasa por el tamiz de 4,75 milímetros. Este procederá de arena natural o de trituración de gravas, rocas, escorias siderúrgicas. La proporción de arena fina no debe exceder el 30% de árido fino.

**Figura 7: Agregado fino**



*Nota:* Concretos Supermix (2018).

**Tabla 1: Límite de sustancias nocivas en el agregado fino**

Características	Requisito		Unidad
	Min	Max	
Módulo de finura	2.3	3.1	N.A.
Pasante de la malla N° 200	N. A	5	%
Cloruros solubles	N. A	1000	Ppm
Sulfatos solubles	N. A	12000	Ppm
Terrones de arcilla y partículas deleznable	N. A	3	%
Impurezas orgánicas	N. A	3	Plato de Color
Inalterabilidad por sulfato de magnesio	N. A	15	%

Nota: Concretos Supermix (2018)

- **Agregado Grueso:** El agregado grueso es el agregado que queda en el tamiz de 4,75 milímetros. El árido se obtendrá triturando piedra o grava, o una combinación de ambas: sus fragmentos deberán estar limpios y firmes, sin residuos de partículas planas, oblongas, blandas o en descomposición. No debe haber polvo, grumos de arcilla u otras sustancias indeseables que puedan afectar la calidad de la mezcla de concreto.

**Figura 8: Agregado grueso**



Nota: Fuente Propia.

**Tabla 2: Límite de sustancias nocivas en el agregado grueso**

Características	Requisito		Unidad
	Min	Max	
Pasante de malla N° 200	N. A	1	%
Cloruros solubles	N. A	1000	Ppm
Sulfatos solubles	N. A	10000	Ppm
Terrones de arcilla y partículas deleznable	N. A	5	%
Abrasión por la máquina de los ángeles	N. A	50	%
Inalterabilidad por sulfato de magnesio	N. A	18	%

Nota: Fuente propia

- Carga de Servicio:** Según USEM (s.f.) es la fuerza que da como resultado del peso de materiales o elementos de construcción, ocupantes, efectos del medio ambiente y cambios dimensionales restringidos. Según el reglamento peruano todo tipo de fuerzas sobre una estructura se pueden clasificar en entre cargas vivas y muertas. Carga muerta se define como el peso de los materiales, equipos, dispositivos de servicio, entre otros elementos que aguantan las edificaciones, incluyendo su propio peso que sean permanentes o con variación en su magnitud. Carga viva: Esto se define como el peso de todos los materiales, ocupantes, muebles y entre otros elementos que se mueven aguantados por la construcción.
- Asfalto Frio:** Según SUR QUIMICA (2017) el betún frío es un árido negro que contiene un ligante bituminoso especial en forma de emulsión. Cationes, lavados con productos vegetales no tóxicos, áridos seleccionados y dimensionados al tamaño de partícula y aditivos especiales para mejorar la adherencia, fluidez y trabajabilidad del producto. Este tipo de asfalto en frío es adecuado para mantenimiento de carreteras, pavimentación, cierre de baches, reparación de pequeñas superficies de desgaste, fisuras y en general no es

necesario el uso de asfalto caliente. El producto es resistente a las fuerzas a lo largo del tiempo, tanto en tráfico primario como secundario. El asfalto frío es adecuado para astilleros comerciales, pueblos, etc.

- ✓ Estructura: Utilizado en parqueos o carreteras
  - ✓ Superficie: Utilizado en asfaltos
  - ✓ Exterior/interior: Exterior protegido, exterior, interior
- **Asfalto Caliente:** Para definir qué es el asfalto caliente, explicaremos que es una mezcla de varios componentes. Existe una mezcla asfáltica, también conocida como mezcla bituminosa, que se combina con áridos que contienen polvo mineral. Una vez que lo tenga todo, necesita un adhesivo, que es un material que puede unir todos estos elementos de manera efectiva. No todos los adhesivos son iguales, ni todos los áridos lo son.

### **Beneficios**

- ✓ Durabilidad
  - ✓ Gran resistencia a que se agriete por bajas temperaturas
  - ✓ Alta resistencia al daño por humedad
- **Estabilidad:** Según Llata et al., (s.f) La estabilidad es un diseño de un sistema cualquiera de control en un proceso que sea dinámico, la estabilidad es un parámetro principal que debemos tener en cuenta, ya que en el caso de entrar a una inestabilidad se produciría una destrucción y deterioro del proceso. Se podría decir también que es un proceso o sistema estable si, se muestra una señal de entrada limitada en amplitud. El sistema respondería con una señal de salida que es también limitada en amplitud, este concepto se denomina estabilidad absoluta.

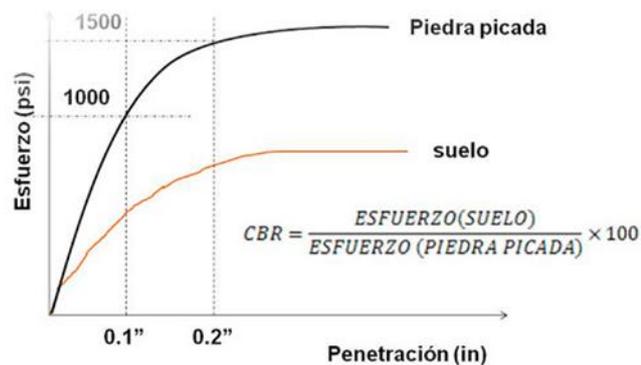
- **Granulometría:** Según Garay et al., (2015) La granulometría es muy importante en la clasificación del suelo y el análisis del tamaño de las partículas se usa ampliamente con fines de ingeniería. Una parte importante de los estándares de aceptación del suelo para carreteras, gasoductos, presas de tierra, El terraplén y otros tipos de este se analizaron mediante el método de medición de grano. En primer lugar, la medida de la granularidad permite separar una parte grande de una parte pequeña. Además, las propiedades de medición del grano del suelo son de gran importancia para sus propiedades mecánicas y tienen un impacto significativo en la compactación adecuada de tierra. La estabilidad del suelo depende de la cantidad de vacíos que tenga, cuanto más pequeños sean, mejor será la actividad del suelo. Para garantizar que los vacíos en el piso se mantengan al mínimo, es importante que el material tenga una amplia gama de dimensiones que permitan el espacio libre resultante de la residencia de las partículas más grandes, que son ocupadas por las partículas más pequeñas.
- **CBR:** Según Geo Tech tips (2020) nos menciona que es el CBR es una prueba de carga en la que un pistón de metal de 0,5 pulgadas cuadradas penetra desde la superficie del suelo compactado en un molde de metal a una velocidad de penetración constante. CBR, la especificación de prueba, se define como la relación entre la carga unitaria del pistón requerida para penetrar 0,1 pulgadas (0,25 cm) y 0,2 pulgadas (0,5 cm) en el suelo de prueba y las unidades de carga necesarias para recorrer la misma distancia. sobre grava bien graduada según la norma; Este valor se expresa como un porcentaje.

  - ✓ Describir el procedimiento de prueba para determinar la lectura de resistencia. suelo, llamado valor del coeficiente de soporte, comúnmente conocido como CBR (Coeficiente de carga de California). La prueba generalmente se realiza en suelo preparado en laboratorio bajo ciertas

condiciones de humedad y densidad; pero también puede funcionar similar para muestras de suelo intacto.

- ✓ Este criterio se utiliza para evaluar la capacidad portante del suelo de la subcapa y capa base, capa inferior y capa superficial.

**Figura 9: Ensayo CBR**



Nota: Fuente propia

- **Proctor:** Según Construmatica (2010) La prueba de Proctor es una demostración de laboratorio utilizada para determinar qué relación existe entre el contenido de humedad y el peso seco por unidad de suelo compactado. Por otro lado (TodoVial, 2020) menciona que la finalidad de un ensayo Proctor es determinar la cantidad óptima de un suelo que permite la mejor compactación para una energía dada, el ensayo se basa en que la compactación del suelo es proporcional a la densidad del terreno seco.

**Figura 10: Tipos de Ensayo Proctor**

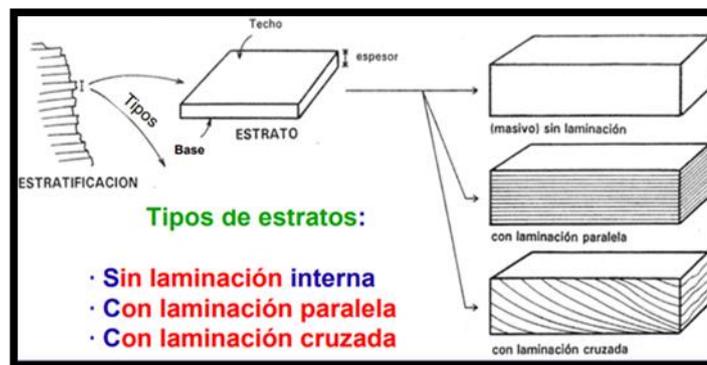


*Nota:* Fuente propia

- **Proctor modificado:** Según LCweb (2015) Esta es una prueba que consiste en procesos de compactación utilizados en el laboratorio para determinar la relación entre el contenido de agua y la gravedad específica del suelo seco (curva de compresión) compactado en un molde de 101,6 o 152,4 mm de diámetro) de diámetro, con un pistón de goteo de 18 pulgadas (457 mm) y 10 lb (44,5 N) que proporciona una potencia de compresión de 56 000 lb-ft<sup>3</sup> (2700 kN-m/m<sup>3</sup>).
  - ✓ Se utiliza para determinar la relación peso seco/humedad de los materiales compactados utilizados en la subrasante y la capa de pavimento, y como referencia para las pruebas de calidad de compactación en obra.
  - ✓ La relación entre la densidad seca y la humedad de condensación se determinó para un suelo con una energía de compactación de 2629 J/cm<sup>3</sup>.
- **Control de calidad:** El control de calidad es un paso importante en cualquier proceso de fabricación, ya que asegura que los procesos se llevan a cabo correctamente y que lo que se produce cumple con las normas y objetivos aplicables. El concepto de control de calidad, aunque más común en la fabricación, también aparece en las empresas de servicios. Las encuestas y otros métodos intentan medir la experiencia de la audiencia en relación con el servicio prestado, qué se podría mejorar, etc.

- **Estratigrafía:** La estratigrafía es un grado (roca o sedimento) de petrología homogénea o jerárquica paralela a la superficie del sedimento (generalmente tabulares) y separados de las capas vecinas por la superficie del amortiguador, sin deposición o cambio drástico en las propiedades, y depositado en condiciones físicas, químicas y biológicas durante un período de tiempo específico.

**Figura 11: Tipos de Estratos**



*Nota:* Fuente propia

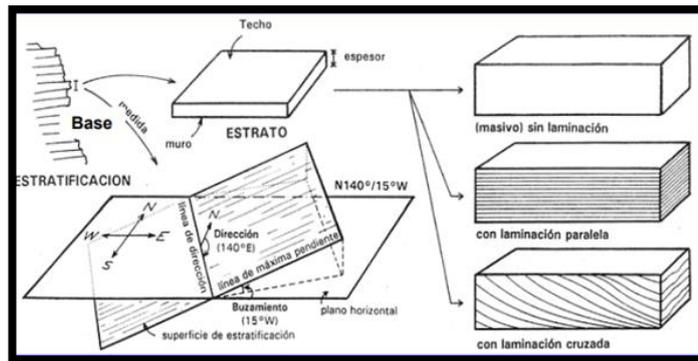
### **Características de los estratos**

- Forma y espesor de los estratos
- Límite de estrato
- Posición espacial
- Estructura y textura del estrato

### **Características de la estratificación**

- Variación con respecto al espesor de los estratos
- Relación geométrica entre la superficie de estratificación

**Figura 12: Características de la estratificación**



*Nota:* Fuente propia

## 2.4. Formulación de hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

El diseño de pavimento asfáltico en frío tiene la capacidad de mejorar de forma considerable y positiva el tránsito vehicular de la carretera que une las localidades de Paucartambo y Chupaca.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

- Los espesores de carpeta que se calculan mediante el diseño de pavimentos, permiten que la estructura soporte eficientemente las cargas de automóviles durante un periodo significativo.
- Ante un cambio abrupto de las condiciones climáticas y el tránsito vehicular es posible que se generen importantes daños estructurales en el pavimento y se requieran mayores espesores de carpeta.
- La resistencia al esfuerzo de corte del Suelo (CBR) influye de manera considerable para realizar el diseño de pavimento asfáltico en frío debido al deterioro de la carretera Paucartambo - Chupaca, Pasco, Perú.

## 2.5. Identificación de variables

### 2.5.1. Variable independiente

La variable independiente es el Diseño de Pavimento Asfáltico

### 2.5.2. Variable dependiente

La variable dependiente es el Deterioro de la carretera Paucartambo – Chupaca

### 2.5.3. Variable interviniente

Las variables intervinientes son: Estudios preliminares, Ensayos de Laboratorio, Guías y Metodologías de Diseño de Pavimentos.

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

**Tabla 3: Variables consideradas en el estudio**

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE: DISEÑO DE PAVIMENTO ASFALTICO	Para diseñar el pavimento este tiene diversos parámetros como estudio de tráfico, estudio de mecánica de suelos y seguir la metodología de diseño de pavimentos.	Índice Medio Diario (IMD) Clasificación de suelos, análisis granulométrico, Límites Plástico, líquido, Contenido de Humedad, CBR, Proctor modificado Diseño de Pavimento Flexible
VARIABLE DEPENDIENTE: DETERIORO DE LA CARRETERA	Para mejorar y así evitar el deterioro de la vía existente, se plantea pavimentar la carretera y así cumplir con la demanda de la población y mejorar sustancialmente la localidad de Paucartambo.	Propiedades del suelo Evaluación técnica y económica

Nota: Fuente Propia

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

La investigación es de tipo aplicada, “La investigación aplicada tiene como objeto el estudio de un problema destinado a la acción. La investigación aplicada puede aportar hechos nuevos, si proyectamos suficientemente bien nuestra investigación aplicada, de modo que podamos confiar en los hechos puestos al descubierto, la nueva información puede ser útil y estimable para la teoría”. Después de lo anteriormente descrito la presente es una investigación aplicada, ya que se busca una mejora de la carretera Paucartambo – Chupaca, mediante el diseño de pavimento para brindar una vía que satisfaga los parámetros de la zona de estudio.

#### **3.2. Nivel de investigación**

La presente investigación tiene nivel de descriptiva

#### **3.3. Método de investigación**

El enfoque o método de esta investigación es cuantitativo, que es “cuando se privilegia la información o los datos numéricos, por lo general datos estadísticos que son interpretados para dar noticia fundamentada del objeto, hecho o fenómeno investigado. La estadística se emplea en la medición tanto de

fenómenos sociales como los de las ciencias naturales, como diversos tipos de encuestas de percepción o seguimiento de eventos sujetos a porcentajes de efectividad para dar por comprobado algo” (Muñoz, 2015). En seguimiento de lo planteado, esta investigación cuenta con un enfoque cuantitativo, ya que analizaremos datos números que nos ayudaran para diseñar el pavimento de la carretera Paucartambo – Chupaca, además de interpretar los datos obtenidos por los diversos ensayos y estudios al suelo de la vía en estudio

### **3.4. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación será experimental, “el término experimento tiene al menos dos acepciones, una general y otra particular. La general se refiere a “elegir o realizar una acción” y después observar las consecuencias (Babbie, 2014) , (Fernández y Baptista, 2014), además, “los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control” . Dado lo anterior se puede afirmar que la presente investigación es experimental ya que se manipularan las variables independientes, como lo es el diseño de pavimentos, que cuenta con diversos parámetros que son el estudio de Tránsito y estudio de mecánica de suelos, que afectaran al diseño y cálculo de espesores de la carretera, lo que tendrá un efecto sobre la variable dependiente que es el deterioro de la vía.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

Se define como el “conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación” (Esther y Echenique, 2017). La descripción de la población de estudio será La red Vial del distrito de Paucartambo, provincia de Pasco, conformada Carretera Paucartambo – Chupaca.

### **3.5.2. Muestra**

La muestra “es un subconjunto representativo y finito del universo o población donde se realizará la investigación”. (Esther y Echenique, 2017) Dado lo antes mencionado, entonces para la presente investigación la muestra será el tramo: Paucartambo – Chupaca (Km. 0+000 – Km. 4+795).

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

“La observación es la más común de las técnicas de investigación, consiste en el registro sistemático, válido y confiable del comportamiento o conducta manifiesta mediante la vista, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de los objetivos de investigación preestablecidos (Arias, 2006; Behar-Rivero, 2008; Tamayo, 2003)” (Esther y Echenique, 2017). Además de la Observación también se usó como técnica de recolección de datos el análisis documental, mediante el cual se obtuvieron las características de la población de estudio y los parámetros del análisis de pavimentos a realizar para la intervención. Las fuentes de consulta incluyen datos estadísticos, guías de diseño y manuales:

- Manual de Carreteras (Suelos Geología, geotecnia y pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos) R.D. N°10-2014 – MTC/14
- Diseño Geométrico (DG-2018, R.D. N° 03-2018 – MTC/14)
- Método de diseño de pavimentos flexibles (AASHTO 93)

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para el procesamiento y análisis de datos se harán y elaboraran todos los estudios básicos de ingeniería necesarios para el diseño de pavimentos; adicionalmente para una investigación cuantitativa se toman registros de datos estadísticos, pruebas estandarizadas, sistemas de mediciones fisiológicas,

aparatos de precisión. Los ensayos de campo y de laboratorio tienen la finalidad de identificar y caracterizar los suelos y rocas que comprenden los estratos de los lugares donde se ejecutan las calicatas. Estos ensayos son diversos y se ejecutan de acuerdo a los tipos de materiales encontrados.

Los métodos de análisis de datos involucran diferentes procesos, que se basan en los resultados obtenidos, por ejemplo, tablas, registros, etc. Se deben establecer algunos puntos importantes, como técnicas y lógica, ya que se utilizarán para capturar los detalles en la recopilación de datos. Se detallan algunos de los métodos básicos para realizar esta investigación, se debe buscar y compilar la recolección de datos e información, esta parte combina búsquedas numéricas, literarias y bibliográficas estrictamente vinculadas al campo de la ingeniería para fines específicos de diseño de pavimentos, y apoyo mediante normativa vigente, para poder asignar usos específicos a dichos problemas que presenta la localidad de estudio, cabe señalar que se asistió a charlas informativas, entrevistas a expertos en el tema y entrevistas técnicas, por lo que se ha tenido en cuenta información actualizada hasta la presente fecha.

- Se excavó 19 calicatas espaciadas cada una por 250 m. para el muestreo de los suelos de cada estrato encontrado (superficie de rodadura y subrasante).
- La identificación de las calicatas son de la forma C-01 al C-19.
- Las calicatas se han realizado entre el lado derecho e izquierdo alternadamente, ubicando en los ahuellamientos que deja el tráfico.
- Toma de muestras de suelos para los ensayos estándar y ensayos especiales.
- Las muestras disturbadas de suelos, serán debidamente identificadas, para su posterior estudio, mediante los siguientes ensayos:
- Análisis Granulométrico por tamizado MTC E 107 (ASTM-D-422)

- Determinación del límite Líquido MTC E 110 (ASTM-D-423)
- Determinación del límite Plástico MTC E 111 (ASTM-D-424)
- Determinación Humedad-Densidad (P. Modificado) MTC E 115 (ASTM D-1557)
- (CBR) Método del Cuerpo de Ingenieros MTC E 132 (ASTM-D-1883)
- Clasificación de SUCS ASTM-D-2487
- Clasificación AASHTO ASTM D-3282

### **3.8. Tratamiento estadístico**

- La información necesaria para el desarrollo del estudio comprende primero de la toma de datos de campo mediante una exploración inicial con todo el equipo de estudio. Para esto fue necesario que previamente se realice el levantamiento topográfico, lo que permite identificar la localización de las diferentes progresivas. En acorde con la información geológica regional y local se planifica el plan de ejecución de calicatas cada 0.25 Km. Asimismo, se requirió a los pobladores de Paucartambo y las demás localidades sobre los antecedentes de las obras existentes en el tramo y sus continuaciones.
- Se realiza inicialmente la exploración geológica que permite saber que tipos de suelos se ubican en el tramo. Los ensayos de campo se realizan cuando no es posible llevar muestras a laboratorio en la condición inalterada o cuando el tipo de suelo lo exige así.
- La capacidad de soporte de las capas de materiales que se encuentran debajo de la plataforma de rodadura en una vía, se puede cuantificar mediante ensayos de corte, ya sea in situ o en laboratorio. Estos ensayos pueden ser pruebas de California Bearing Ratio (CBR), pruebas de Carga sobre Placa (k) o de Módulo Resiliente (Mr).

- La realización de cada prueba depende del tipo de pavimento a proyectar. Las pruebas (k) son representativos para pavimentos llamados rígidos, donde la transmisión de esfuerzos se realiza a un área grande del pavimento, es decir que la sub rasante se comporta como una serie de resortes. Las pruebas (CBR) y (Mr) se aplican a pavimentos donde la transmisión de esfuerzos se realiza en un área localizada debajo de las ruedas de los vehículos, es decir donde la sub rasante actúa directamente, lo que sucede en pavimentos denominados flexibles.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Levantamiento de información**

###### **Datos generales**

a). Ubicación del proyecto:

El tramo de estudio abarca las localidades de Ancara, Chupaca y Cochambra, ubicadas en el distrito de Paucartambo en la provincia de Pasco del departamento de Pasco. Específicamente, el tramo de estudio inicia en Ancara y termina en Cochambra. Cabe mencionar que la zona de estudio se encuentra en la parte central de territorio peruano y que por el trayecto se cruza el río Chupaca.

b). Descripción del proyecto:

El lugar donde se lleva a cabo este proyecto es una de las zonas más productivas de la provincia de Pasco. Así pues, se busca facilitar el transporte de productos agrícolas. De esta manera, se podrán abastecer a los centros poblados y estos podrán sacar sus productos para la venta. Los primeros dos kilómetros desde Ancara son ligeramente sinuosos con pendientes moderadas. Después de este tramo, comienza un terreno llano que termina

hasta el puente Chupaca. A partir de este punto, existen quebradas por lo que el tramo es sinuoso, aunque con pendientes bajas.

Por otra parte, durante el trayecto se pueden apreciar problemas de erosión de taludes, los cuales comprometen a la estabilidad de la carretera que se construirá. Asimismo, existen diversos problemas geotécnicos como reptación de taludes, deslizamientos y deformaciones. Existe problemas de drenaje en el pavimento existe que hacen que su deterioro se acelere.

c). Topografía de la zona:

El terreno en estudio presenta una topografía ondulada, a consecuencia, los trazos son sinuosos. En líneas generales, los taludes presentan una plataforma estable, son bajos y tendidos. Ahora bien, llegando a Cochambra la topografía se vuelve abrupta a comparación de los tramos anteriores. En la tabla 2 se puede observar un resumen del tipo de topografía que presenta cada sector.

**Tabla 4: Topografía representativa**

Sector	Longitud (km)	Topografía
km 0+000 – km 2+480	2,84	Llana a ondulada
km 3+076 – km 4+795	1,72	Ondulada a accidentada

*Nota:* Fuente Propia

d). Trafico del sector:

En este apartado se describen los procedimientos seguidos para el recuento de vehículos y las encuestas origen-destino. El recuento de vehículo o conteo de tráfico se utilizó para determinar la intensidad con la que circulan los vehículos y clasificarla según la categoría de los vehículos, como los ligeros

o los pesados. Por otra parte, las encuestas se utilizan para examinar la dinámica y los rasgos del tráfico que circula por la carretera, incluidos el punto de origen, el destino, la distancia recorrida, el propósito del viaje, etc.

Cabe señalar que la determinación del tráfico es de suma importancia para poder adelantar otras actividades como el diseño adecuado de la estructura del pavimento, así como la evaluación del proyecto. Así pues, los objetivos principales de esta parte del proyecto de investigación son conocer el Índice Medio Diario que circulará por las vías del proyecto y el número de Ejes de Carga Equivalentes que podrá soportar la carretera a lo largo de su vida útil.

El tramo que se estudia en esta investigación es importante ya que conecta el distrito de Paucartambo con el pueblo de Chupaca. Por lo tanto, sirve como ruta obligada para los vehículos que se dirigen a Cochambra, y proporciona una ruta alternativa más conveniente hacia otros poblados, todos los cuales son cruciales en términos de infraestructura de transporte del distrito y la provincia.

e). Situación actual de la carretera

La carretera está situada a 3200 metros sobre el nivel del mar. Tiene una longitud de 4,975 kilómetros y un carril con una anchura de 4 metros. La velocidad directriz es de 20 km/h. Debido a los defectos de la plataforma y de la construcción de la carretera, que la hacen muy incómoda para los usuarios, y a la falta de un aspecto visual adecuado, sus características operativas no son las ideales. Los tipos de vehículos que circulan por el tramo de estudio son vehículos ligeros como, por ejemplo, autos, micros rurales, combis y camionetas; en ocasiones también se pueden ver circular vehículos pesados como camiones de 2 y 3 ejes, que trasladan materiales para el cultivo. Las horas con mayor movimiento de tráfico son entre las seis y nueve de la

mañana, entre una y tres de la tarde y entre cinco y siete de la noche. Siendo el principal flujo vehicular de pasajeros que viajan en camionetas, combis y micros rurales.

f). Estaciones de conteo vehicular

Como se ve en la tabla 3, para obtener los resultados del conteo vehicular se ubicó 2 estaciones, la primera se estableció en el distrito de Ancara en el tramo con dirección hacia Chupaca, mientras que el segundo se encontró en Chupaca con dirección hacia Cochabamba.

**Tabla 5: Ubicación de estaciones de conteo**

Estación	Tramo	Ubicación
E1	Ancara – Chupaca	Ancara
E2	Chupaca – Cochabamba	Chupaca

*Nota:* Fuente Propia

Debido a las características de bajo volumen de tráfico de la carretera, la medición del tráfico se realiza contando manualmente los vehículos que utilizan la carretera con frecuencia. Asimismo, el conteo se realiza en cada dirección. Además, se documenta la composición del tráfico para que el diseño del pavimento pueda beneficiarse de los datos.

g). Geología local

A lo largo de esta parte del estudio se investigó la carretera desde el punto de partida del trazado hasta su posición final. Se determinaron las características de la carretera y las circunstancias operativas, es decir, se identificaron los hundimientos, los taludes, los desprendimientos y las fallas de los taludes que podrían tener un impacto en la estabilidad de la carretera.

Por otra parte, se definieron las características físicas y mecánicas para el cálculo de la estabilidad de los taludes en los que podrían producirse movimientos estáticos o dinámicos.

Las características geológicas de la carretera son:

- **Desde el km 0+000 hasta el km 0+050:** La investigación comienza en una región llana en la intersección de otra ruta de desvío que lleva al centro de Paucartambo. Hay pocos taludes laterales y el camino es tangencial y con poca pendiente. El suelo es aluvial y está compuesto por suelos sueltos, gruesos y finos. Hay un cruce de agua en el kilómetro 0+010.
- **Desde el km 0+050 hasta el km 0+100:** Este tramo está libre de geodinámica interna o externa. El camino continúa en una zona plana con poca pendiente longitudinal. Se puede encontrar suelo de un depósito aluvial del Cuaternario Reciente. Asimismo, existen casas y corrales a lo largo del camino.
- **Desde el km 0+100 hasta el km 0+150:** Este tramo de estudio se trata de un valle amplio con geomorfología plana, suelos aluviales en superficie y poca evidencia de flujos de agua o estructuras geológicas.
- **Desde el km 0+150 hasta el km 0+200:** En este tramo de estudio se encuentran los mismos rasgos geomorfológicos y estructurales que en las partes anteriores. A profundidades superiores a 5,00 m, se encuentra la base rocosa. Un problema de reptación del suelo en el km 0+180 es provocado por la infiltración de agua en la parte superior de la ladera.
- **Desde el km 0+200 hasta el km 0+250:** Se puede observar la presencia de viviendas a ambos lados de la carretera. Es importante mencionar que el extenso valle tiene una geomorfología plana y un suelo aluvial estable.

Los afloramientos rocosos y las formaciones geológicas están ausentes en este tramo.

- **Desde el km 0+250 hasta el km 0+300:** La superficie y el subsuelo de la carretera tienen una configuración aluvial, y no hay afloramientos rocosos ni formaciones geológicas significativas. Aparte de las aguas menores de la alcantarilla en el kilómetro 0+267, no hay cursos de agua superficiales o internos presentes.
- **Desde el km 0+300 hasta el km 0+350:** En este tramo de estudio se puede adentrar al centro de la ciudad. Asimismo, se puede encontrar que el terreno es llano en concordancia con la formación geológica creada por la deposición de suelos aluviales procedentes de las partes altas de la zona.
- **Desde el km 0+350 hasta el km 0+400:** El segmento de la carretera avanza por un terreno llano con una ligera pendiente lateral. El suelo aluvial está todavía relativamente suelto. Por otra parte, debido a la escasa inclinación de los taludes laterales, no hay movimientos de tierra desde o hacia la carretera.
- **Desde el km 0+400 hasta el km 0+450:** Este tramo de la carretera tiene una plataforma que no tiene pendientes laterales a su paso y avanza por la zona urbana de Ancara. Es importante mencionar que el suelo aluvial limoso del Cuaternario sigue presente.
- **Desde el km 0+450 hasta el km 0+500:** Existe un cruce de alcantarilla para evacuar las aguas pluviales en el km 0+462. Esta zona mantiene una línea recta en la dirección longitudinal y tiene poca pendiente lateral. Asimismo, no hay rocas cerca.

- **Desde el km 0+500 hasta el km 0+550:** Para este tramo de la carretera el terreno es llano, recto y no hay procesos geodinámicos que puedan poner en peligro la carretera.
- **Desde el km 0+550 hasta el km 0+600:** No hay taludes de corte en la carretera y se conserva el mismo tramo recto anterior. Por otra parte, no hay rocas ni procesos geodinámicos.
- **Desde el km 0+600 hasta el km 0+650:** Esta parte conserva la geomorfología de los suelos aluviales en forma de terraza con poca pendiente lateral. Asimismo, se accede a una zona de curva de volteo. No se encuentra agua.
- **Desde el km 0+650 hasta el km 0+700:** Existe un terreno que es plano para la parte derecha del tramo en estudio, mientras que para la parte izquierda existe un desnivel considerable. Aunque, la plataforma no se encuentra afectada por este desnivel. La curva de volteo es hacia la parte izquierda de la zona plana.
- **Desde el km 0+700 hasta el km 0+750:** Este tramo es crítico debido a la socavación del talud derecho. En cuanto al suelo, este sigue siendo aluvial y no hay presencia de afloramientos rocosos.
- **Desde el km 0+750 hasta el km 0+800:** En este tramo existe erosión lateral justo donde existe una cuneta no revestida. Asimismo, las condiciones geomorfológicas son similares a los tramos ya mencionados anteriormente.
- **Desde el km 0+800 hasta el km 0+850:** La ruta es plana y recta, con una ligera inclinación lateral. Hay un paso de agua utilizado para el riego en el km 0+845.

- **Desde el km 0+850 hasta el km 0+900:** La carretera avanza sobre una topografía plana y sin movimientos de masas del suelo con una modesta pendiente longitudinal. Predominan los suelos aluviales con un nivel de humedad medio y poca vegetación.
- **Desde el km 0+900 hasta el km 0+950:** Hay muy pocos taludes laterales y la carretera entra en una curva. No se han producido hundimientos ni deformaciones en el terreno. Hay suelo aluvial en toda la región.
- **Desde el km 0+950 hasta el km 1+000:** Sección en una curva de giro con menos de 1,00 m de talud de corte lateral. La plataforma es amplia como resultado de una geofoma estable y plana.
- **Desde el km 1+000 hasta el km 1+250:** En este tramo se puede encontrar el desarrollo de actividades agrícolas a ambos lados. Además, suelos aluviales poco robustos.
- **Desde el km 1+250 hasta el km 1+300:** En el kilómetro 1+300 pasa el agua a través de una alcantarilla. La altura de los taludes laterales es menos de 1,00 m.
- **Desde el km 1+300 hasta el km 1+350:** Camino largo con ancho de plataforma en zona llana y sin taludes laterales. No existen desplazamientos, hundimientos ni fallas.
- **Desde el km 1+400 hasta el km 1+450:** Zona estable sin suelos sueltos ni afloramientos de rocas. Capas de suelo densificados.
- **Desde el km 1+450 hasta el km 1+500:** La carretera que conduce a la parte superior del valle se encuentra en una geofoma plana. Suelo aluvial junto a la carretera sin rasgos geológicos.

- **Desde el km 1+500 hasta el km 1+550:** Hay una alcantarilla situada en el km 1+550. Comienza en una región donde la geoforma tiene una mayor pendiente lateral en una curva suave.
- **Desde el km 1+550 hasta el km 1+600:** Tramo libre de fenómenos geodinámicos y fallas.
- **Desde el km 1+650 hasta el km 1+700:** A más de 5,00 m del borde de la plataforma hay un talud inferior más pronunciado. Es decir, no hay peligro de fallas.
- **Desde el km 1+700 hasta el km 1+750:** Rasgos similares a los de la sección anterior.
- **Desde el km 1+750 hasta el km 1+800:** Zona de geoforma con una pendiente transversal moderada y una geoforma plana en la dirección longitudinal. No hay suelos especiales ni afloramientos de roca.
- **Desde el km 1+800 hasta el km 1+850:** El agua presente en el subsuelo de la parte superior hace que se inicie una zona de reptación del suelo.
- **Desde el km 1+850 hasta el km 1+900:** Similar al punto anterior.
- **Desde el km 1+900 hasta el km 1+950:** El tramo se reanuda por un camino lateral libre de procesos geológicos importantes. Se encuentra cerca del anexo de La Florida.
- **Desde el km 1+900 hasta el km 1+950:** Baja pendiente lateral en el talud de corte del camino. No hay rocas ni suelos diferentes que la aluvial.
- **Desde el km 1+950 hasta el km 2+000:** La estratigrafía del suelo aluvial está alterada por los restos de caídas glaciares que aún están presentes en la superficie.

- **Desde el km 2+000 hasta el km 2+050:** Región de la Florida, con una anchura de plataforma inferior a 4,50 metros y un diminuto camino con corrales laterales. Asimismo, hay una alcantarilla en el kilómetro 2+025.
- **Desde el km 2+050 hasta el km 2+100:** El camino tiene poca visibilidad lateral debido a los corrales y las viviendas que están cerca. La carretera está en perfecto estado.
- **Desde el km 2+100 hasta el km 2+150:** Hay presencia de bloques de roca en el subsuelo, lo que indica que los procesos geodinámicos tienen un origen coluvial-aluvial.
- **Desde el km 2+150 hasta el km 2+200:** Existe una ciudad situada en una superficie formada por los restos de materiales gruesos.
- **Desde el km 2+000 hasta el km 2+250:** En una zona rural densamente poblada asentada en una geoforma estable.
- **Desde el km 2+250 hasta el km 2+300:** La zona de la curva vertical de la colina no es muy prominente. En ella predomina el trabajo del hombre para la vivienda.
- **Desde el km 2+300 hasta el km 2+350:** Hay una alcantarilla en el km 2+328; tiene poco efecto en el comportamiento de la carretera.
- **Desde el km 2+350 hasta el km 2+400:** Zona de descenso de la ruta de la carretera. Los riesgos geológicos están ausentes en esta zona.
- **Desde el km 2+400 hasta el km 2+450:** Descenso suave hacia el oeste.
- **Desde el km 2+450 hasta el km 2+500:** Está formado por suelos aluviales y bloques de roca, sin taludes laterales en un lugar plano.

- **Desde el km 2+500 hasta el km 2+550:** Restos de suelo aluvial en la geoforma y alta densificación.
- **Desde el km 2+550 hasta el km 2+600:** Presencia de una alcantarilla en el km 2+564 y suelo firme.
- **Desde el km 2+600 hasta el km 2+650:** En este tramo hay un pase de la Florida hacia Chupaca. El área alrededor de la ruta está dominada por la actividad humana.
- **Desde el km 2+650 hasta el km 2+700:** Rasgos similares a los del tramo anterior.
- **Desde el km 2+700 hasta el km 2+750**

Las rocas y los suelos aluviales constituyen la mayor parte de la subrasante firme.

- **Desde el km 2+750 hasta el km 2+800:** En la entrada de Chupaca, la línea es recta.
- **Desde el km 2+800 hasta el km 2+850:** La zona arqueológica se encuentra alrededor del km. 2+800, lo que obliga a desplazar el eje de la carretera hacia la izquierda. El segmento con pavimento rígido comienza alrededor del km. 2+840.
- **Desde el km 2+850 hasta el km 3+076:** Zona de pavimento rígido reciente y en buen estado. Hay una alcantarilla en el kilómetro 2+933 y un puente de hormigón sobre el río Chupaca en el kilómetro 3+050.
- **Desde el km 3+076 hasta el km 3+100:** Una zona urbana con viviendas a los lados de la carretera.

- **Desde el km 3+100 hasta el km 3+150:** Carretera cubierta de suelo con una base rocosa.
- **Desde el km 3+100 hasta el km 3+150:** Comparable a la sección anterior.
- **Desde el km 3+150 hasta el km 3+200:** En la base de la carretera hay restos de rocas intrusivas que han formado enormes bloques sueltos con una fina capa de limo negro encima. La ruta ocupa una pequeña sección de un pequeño valle en la margen izquierda del río Chupaca.
- **Desde el km 3+000 hasta el km 3+250:** Rasgos similares a los del tramo anterior.
- **Desde el km 3+250 hasta el km 3+300:** A partir del Km. 3+076, se repite la misma disposición, cubriendo la zona poblada de Chupaca. El peligro de erosión lateral está indicado por la proximidad del río Chupaca al borde de la carretera, que es inferior a 5,00 m.
- **Desde el km 3+300 hasta el km 3+350:** La carretera continúa por la margen izquierda del río Chupaca, con restos de escombros en la superficie del cauce y en la ladera cercana.
- **Desde el km 3+350 hasta el km 3+400:** La presencia de formaciones ígneas en el tramo lateral es lo que da al cauce y al valle su forma longitudinal estrecha. Aquí, el río se considera una fuente de agua para las diversas actividades del proyecto.
- **Desde el km 3+450 hasta el km 3+500:** Rasgos estructurales y geomorfológicos similares a los descritos en el apartado anterior.
- **Desde el km 3+500 hasta el km 3+550:** El río no está lejos de la carretera.

- **Desde el km 3+550 hasta el km 3+600:** Existe un paso de agua donde está prevista una alcantarilla.
- **Desde el km 3+600 hasta el km 3+650:** El paisaje es más llano y la parte de la carretera es más ancha que las partes anteriores. La vegetación está compuesta por árboles de tamaño medio.
- **Desde el km 3+650 hasta el km 3+700:** Hay un cruce de agua con alcantarilla. La carretera sigue avanzando en una región casi llana y más amplia. La plataforma es estable y no hay taludes cortados en la carretera.
- **Desde el km 3+700 hasta el km 3+750:** Los suelos y rocas fluvio glaciales de las montañas de granodiorita se conservan en una geomorfología llana. Se trata de una plataforma dura y compacta.
- **Desde el km 3+750 hasta el km 3+800:** Las mismas condiciones que en la parte anterior.
- **Desde el km 3+800 hasta el km 3+850:** El cauce del río Chupaca domina el esquema geomorfológico y las labores agrícolas de los pobladores, repitiendo los rasgos de la región anterior.
- **Desde el km 3+850 hasta el km 3+900:** En este punto, la carretera continúa por un corto tramo del valle interandino, pasando por un terreno plano en los laterales y una ligera pendiente longitudinal.
- **Desde el km 3+900 hasta el km 3+950:** En esta zona del camino, las formaciones de suelo fluvio glacial son más evidentes, dejando ver los restos de detritos anteriores.
- **Desde el km 3+950 hasta el km 4+000:** El río Chupaca y la montaña lateral de origen intrusivo sirven de límites, y la carretera ocupa la parte plana del estrecho valle con una anchura media de 50 m.

- **Desde el km 4+000 hasta el km 4+050:** Rasgos similares a los de la sección anterior.
- **Desde el km 4+050 hasta el km 4+100:** Formas similares a las de las secciones anteriores.
- **Desde el km 4+100 hasta el km 4+150:** Reiterando la geoforma y las propiedades de los restos rocosos en las zonas laterales de la carretera, en el kilómetro 4+140 hay un paso de agua equipado con una alcantarilla.
- **Desde el km 4+150 hasta el km 4+200:** Aunque el terreno es más llano que en la parte anterior, la carretera está construida para seguir el curso del pequeño valle.
- **Desde el km 4+200 hasta el km 4+250:** La carretera se traza en la franja plana pero estrecha que está rodeada de paredes de roca granítica. Tiene una superficie estable y firme.
- **Desde el km 4+250 hasta el km 4+300:** Comparable al tramo anterior.
- **Desde el km 4+300 hasta el km 4+350:** La zona poblada comienza donde termina la zona plana.
- **Desde el km 4+350 hasta el km 4+400:** Comienza la entrada de Cochambra, cuyo terreno es asimétrico debido a la presencia de rocas y escombros.
- **Desde el km 4+400 hasta el km 4+450:** La porción de paisaje de la carretera se vuelve cada vez más irregular.
- **Desde el km 4+450 hasta el km 4+500:** En este tramo de la carretera se pueden encontrar infraestructuras urbanas.

- **Desde el km 4+500 hasta el km 4+550:** La carretera no está muy curvada. Una alcantarilla que cruza el agua y los lados de la carretera no tienen taludes.
- **Desde el km 4+550 hasta el km 4+600:** Las mismas condiciones que en el tramo anterior.
- **Desde el km 4+600 hasta el km 4+650:** Región urbana bordeada por el río Chupaca y situada en suelo de escombros.
- **Desde el km 4+650 hasta el km 4+700:** Geoforma irregular y cercana a los lados de la carretera, con una superficie dura formada por rocas depositadas previamente durante eventos geológicos.
- **Desde el km 4+700 hasta el km 4+750:** Las mismas circunstancias que en el apartado anterior.
- **Desde el km 4+750 hasta el km 4+800:** El final del camino sin pavimentar tiene una superficie irregular con rocas de granito alrededor. Los eucaliptos se encuentran principalmente a lo largo de toda la ruta a partir del km 3+500.

#### h). Composición de suelos

El trabajo de campo consistió en la inspección visual, la toma de muestras de suelo mediante calicatas y la recogida de datos para definir los estratos existentes. Esto se hizo para evaluar y determinar las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de diseño que soportará la futura estructura del pavimento.

Las calicatas (C) se realizaron a una profundidad mínima de 1,50 m con una separación media de 250 m, lo que permitió identificar los estratos y sus espesores. Esta labor requirió el uso de un pico, una lampa y una barreta, todas ellas herramientas manuales.

Los ensayos de laboratorio necesarios son variados y se realizan en función de los tipos de materiales utilizados. Para ello, se realiza inicialmente una investigación geológica para determinar qué tipos de suelos están presentes en la región. Cuando es imposible llevar las muestras al laboratorio en su estado original o cuando la naturaleza del suelo lo requiere, se realizan pruebas de campo. Para este proyecto, las pruebas de campo no fueron necesarias porque todas las muestras pudieron llevarse al laboratorio. Además, el proyecto no incluye ninguna obra de arte para la que el cálculo de la capacidad admisible sea requerido.

### **Estudio del tráfico**

#### a). Flujo de vehículos

En la 6, se puede observar que el 36% estuvo compuesto de autos, 18% de vehículos tipo C2, 15.15% tanto para camiones rurales y micros, 9.09% para Pick Upps y finalmente 6.06% de vehículos C3.

**Tabla 6: Índice Medio diario Anual del tramo Ancara - Chupaca**

Vehículos	IMDA	Participación (%)
Autos	12	36.36%
Pick Up	3	9.09%
Camiones rurales	5	15.15%
Micros	5	15.15%
B2	0	0.00%
B3-4	0	0.00%
2E CH	0	0.00%
C2	6	18.18%
C3	2	6.06%
C4	0	0.00%
T2S2	0	0.00%
T2S3	0	0.00%
T3S2	0	0.00%
T3S3	0	0.00%

C2R2	0	0.00%
C2R3	0	0.00%
C3R2	0	0.00%
C3R3	0	0.00%
<b>IMDA</b>	<b>33</b>	<b>100.00%</b>

*Nota:* Fuente Propia

En la tabla 7, se puede observar cómo varía el tráfico durante los días los días lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo. Cabe mencionar que en la tabla se muestra el tráfico por tipo de vehículo como son los vehículos ligeros, ómnibus, camiones unitarios y articulados.

**Tabla 7: Variaciones diarias de tráfico en el tramo Ancara - Chupaca**

Días	Vehículos ligeros	Ómnibus	Camiones unitarios	Articulados	Total
Sábado	29	—	7	2	38
Domingo	34	—	6	—	40
Lunes	22	—	8	—	30
Martes	26	—	8	—	34
Miércoles	26	—	7	—	33
Jueves	28	—	8	—	36
Viernes	32	—	30	—	62
<b>IMDA</b>	<b>28.1428571</b>	<b>0</b>	<b>10.5714286</b>	<b>0.28571429</b>	<b>39</b>
<b>%</b>	<b>72.16%</b>	<b>0.00%</b>	<b>27.11%</b>	<b>0.73%</b>	<b>100.00%</b>

*Nota:* Fuente Propia

b). Periodo de diseño

La vida útil de un pavimento flexible puede variar de una situación a otra, pero suele durar entre 10 y 20 años. El diseñador no tiene control sobre la amplia gama de características de diseño, por lo que esta vida puede ser difícil. En la tabla 8, se muestra el resumen de los periodos de diseños considerados para distintas etapas del proyecto.

**Tabla 8: Periodos de diseño en diferentes etapas**

Tipo	Periodo de diseño (años)
Por etapas	
Primera etapa	10
Segunda etapa	10
Una sola etapa	20

Nota: Fuente Propia

c). Tasa de crecimiento anual

La Tabla 9 muestra las tasas de crecimiento consideradas para el diseño del pavimento. Se puede observar cómo varía este según el tipo de vehículo. Para este apartado se han considerado cuatro categorías de vehículos: autos y camionetas, camionetas rurales, micros, C2 y C3.

**Tabla 9: Crecimiento por categoría de vehículos**

Tipo de vehículo	r(%)
Autos y camionetas	0.90%
Camionetas rurales	0.90%
Micros	0.90%
Camiones pequeños	3.60%
Camión de 2 Ejes	3.60%

Nota: Fuente Propia

d). Factores de carga

Los factores destructivos se utilizan para calcular las repeticiones ESAL de 8,2 Ton. Para estimar los valores de cada conjunto de ejes mostrados en la Tabla 10, se clasificaron los pesos por tipo de vehículo y por cada eje.

**Tabla 10: Factores de carga**

Tipo de vehículo	Factor de carga
Autos y camionetas	0,00
Camionetas rurales	0,00
Micros	0,14
C2	1,02
C3	4,40

*Nota:* Fuente Propia

### **Estudio de suelos**

Los ensayos de laboratorio se hicieron con la finalidad de identificar y caracterizar los suelos y las rocas que componen los estratos. La tabla 11 presenta el resumen de información encontrada para los diferentes tramos de carretera.

**Tabla 11: Características del suelo**

Inicio	Fin	Descripción
0+000	0+260	Plataforma urbana con pavimento compactado y deteriorado h=0,30
0+260	0+300	Plataforma casi perfecta
0+300	0+350	Plataforma con baches h=0,80 metros
0+350	0+500	Plataforma con ahuellamiento h=0,40 metros
0+500	0+580	Plataforma erosionada como consecuencia del agua del subsuelo
0+580	1+000	Plataforma donde sobresalen las gravas gruesas, con erosiones puntuales
1+000	2+000	Plataforma con baches de 0,30 metros de altura

2+000	2+840	Plataforma rodeada de vallas y viviendas a ambos lados. Debido a la falta de cunetas, presenta ahuellamiento.
2+840	3+076	Plataforma con pavimento rígido en Chupaca.
3+076	3+350	Plataforma con superficie irregular debido a la subrasante creada por restos de roca y fuerte pendiente longitudinal en el segmento.
3+350	4+800	Se presentan baches (h=0,40 m) y el pavimento está en malas condiciones de transitabilidad.

*Nota:* Fuente Propia

A lo largo de todo el tramo en estudio, se han encontrado dos capas de suelos con características específicas. La Tabla 12 el resumen del porcentaje de suelos encontrado en la capa de la subrasante. Se puede observar que el 63,2 % de los suelos está en buenas condiciones, suelos como gravas y arenas; y el 36,8 % son limos.

**Tabla 12: Tipo de suelo en la capa de la subrasante**

Tipo de suelo	Porcentaje de suelo
A-2-4 (0) Gravas y arenas con limos o arcillas	42,1
A-1-b (0) Gravas y arenas con escaso finos	21,1
A-4 y A-5 Suelos finos	36,8
<b>Total</b>	<b>100</b>

*Nota:* Fuente Propia

De igual manera, para la capa de rodadura se hicieron los ensayos respectivos, los mismos que se muestran en la Tabla 13. En los resultados se puede observar que el 100 % del suelo tiene buenas condiciones. Esta capa del tramo en estudio posee suelos del tipo grava y arenas.

**Tabla 13: Tipo de suelo en la capa de rodadura**

Tipo de suelo	Porcentaje de suelo
A-1-a (0) Piedras con gravas y arenas	84,2
A-1-b (0) Gravas con arenas	10,5
A-2-4 (0) Gravas y arenas con limos o arcillas	5,3
<b>Total</b>	<b>100</b>

*Nota:* Fuente Propia

Los resultados de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos y la clasificación de los suelos ha permitido interpretar y describir las características físico-mecánicas de los suelos. En la tabla 14, se observa que se ha identificado los estratos encontrados a lo largo de todo el tramo en estudio, de esta manera, se creó un perfil estratigráfico de la carretera actual (superficie de rodamiento existente y subrasante). Este perfil muestra la ubicación y la variación de cada uno de los estratos encontrados.

**Tabla 14: Tipo de suelos a lo largo del tramo de estudio**

Kilómetro	Capa de afirmado	Capa de subrasante
De 0+000 al 0+250	A-1-b (0)	A-1-b (0)
De 0+250 al 1+250	A-1-a (0)	A-4
	A-1-b (0)	
De 1+250 al 1+500	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)
	A-1-a (0)	
De 1+500 al 2+500	A-1-a (0)	A-4
		A-5
De 2+250 al 3+750	A-1-a (0)	A-2-4 (0)
De 3+750 al 4+500	A-1-a (0)	A-1-b (0)
De 4+500 al 4+800	A-1-a (0)	A-2-4 (0)

*Nota:* Fuente Propia

Los valores de CBR adquiridos en el laboratorio para cada 0,8 kilómetros de carretera de media se han utilizado para determinar la capacidad portante del suelo de la subrasante. Los CBR obtenidos para el 100 % de la Densidad Seca Máxima del Proctor Modificado y 0,1" de penetración se pueden observar en la Tabla 15. Es importante mencionar que, utilizando el Método del Instituto del Asfalto descrito en el Manual MS-1, el cual indica que el CBR de diseño depende del nivel de tráfico a servir, se utilizaron los CBRs adquiridos en los diferentes progresivos para obtener el CBR de diseño para la carretera.

**Tabla 15: CBR al 100 % de la máxima densidad seca**

Calicata	Kilómetro	CBR (%)
C-02	0+250	28
C-05	1+000	19
C-08	1+750	39
C-13	3+250	40
C-16	4+000	48
C-18	4+500	45

*Nota:* Fuente Propia

Debido a la alta calidad de los suelos que componen la subrasante, el 60% del material de corte de la subrasante pudo utilizarse para rellenar los terraplenes. Los bloques y boleos de roca constituyen los elementos gruesos, que representan el 40 % del material desechado.

### **Estudio de canteras**

La metodología del estudio incluyó el trabajo de campo, de laboratorio y de oficina. El trabajo de campo permitió recoger referencias de los proyectos en curso en el barrio de Paucartambo y sus alrededores. Asimismo, se buscaron posibles canteras que pudieran ser útiles para el proyecto. Cuando se localizaron las canteras se llevaron muestras representativas al laboratorio para su análisis. En última instancia, se evaluó la viabilidad de utilizar los materiales en las distintas partes del proyecto con los resultados de las pruebas. Para ello, se hizo una exploración preliminar de la zona cercana y a lo largo del tramo. También se realizó una verificación de las zonas de influencia, arroyos, cauces secos y todos los demás lugares que puedan indicar la presencia de materiales sedimentarios o residuales en el subsuelo. Tras el descubrimiento de las canteras, se realizaron muestreos para determinar la potencia de la zona y fijar los límites de la explotación. Es importante mencionar que las canteras analizadas fueron la cantera Patay Ninaca y la cantera Estadio el Inca.

No fue imprescindible realizar exploraciones en la cantera de Patay Ninaca ya que los materiales están disponibles para ser comparados. Por ello, se solicitó a los propietarios muestras representativa para cada análisis. En este lugar, se procesan y comercializan los materiales de agregados para obras de concreto asfáltico (MAFS) y obras de concreto hidráulico (MCCP).

Por otra parte, los propietarios de la cantera El Inca, en el pueblo de Paucartambo, venden los materiales extraídos del cerro dando permisos para su explotación. Durante la exploración se descubrió que se extraían y fabricaban

materiales para las capas de base y subbase del proyecto de pavimentación desde Carhuamayo hasta Paucartambo.

Propiedades físicas: El material cumple con los requisitos para producir un concreto decente según las estadísticas relativas a su peso unitario, contenido de humedad y absorción. La excepcional calidad del material pétreo queda demostrada por el bajo desgaste por abrasión combinado con el desgaste de los ángeles, como se observan en las tablas 16 y 17.

**Tabla 16: Ensayos de laboratorio de la cantera Patay Ninacaca**

Propiedades	Valor
Peso unitario seco compacto del agregado grueso	1,94 g/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto del agregado grueso	1,52 g/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco natural del agregado grueso	1,72 g/cm <sup>3</sup>
Humedad natural del agregado grueso	6,04 g/cm <sup>3</sup>
Absorción del agregado grueso	2,33 %
Peso unitario seco compacto del agregado fino	2,04 g/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto del agregado grueso	1,61 g/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco natural del agregado grueso	1,74 g/cm <sup>3</sup>
Humedad natural del agregado grueso	9,37 g/cm <sup>3</sup>
Absorción del agregado grueso	5,57 %
Desgaste de los ángeles	16,68 %
pH de piedra chancada (agregado grueso)	6,25
Cloruros de piedra chancada	28 ppm
Sulfatos de piedra chancada	10 ppm
Sales solubles totales de piedra chancada	65 ppm
pH de arena gruesa (agregado fino)	6,51
Cloruros de arena gruesa	25 ppm
Sulfatos de arena gruesa	20 ppm
Sales solubles totales de arena gruesa	64 ppm

*Nota:* Fuente Propia

**Tabla 17: Ensayos de laboratorio de la cantera El Inca**

Propiedades	Valor
Finos menores a la malla N200	5.26%
Limite liquido	15.90%
Limite plástico	14.50%
Índice plástico	1.40%
SUCS	GW-GM
AASHTO	A-1-a(0)
Densidad Máxima Seca Proctor Mod.	2.190 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad optima Proctor Modificado	5.70%
CBR al 100% del DSM y 0.1" penetración	132%
Desgaste de los ángeles	15.44%

*Nota:* Fuente Propia

#### **4.1.2. Recopilación y procesamiento de datos**

##### **Estimación del tráfico**

##### a). Categorías de vehículos

Se define en base a lo establecido en el Reglamento Nacional de Vehículos y el Reglamento Nacional del Sistema de Emisión de Licencias de Conducir. En líneas generales, la presente investigación contempla las siguientes categorías de vehículos: Automóvil, Pick Upp, Camioneta Rural, Microbus, C2 Y C3. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2003).

La categoría automóvil corresponde a un vehículo automotor destinado exclusivamente al transporte de pasajeros que cuenta con una capacidad máxima de 5 persona. Además del eje delantero, posee un eje simple adicional ubicado en la parte posterior del vehículo. Acorde al estudio de tráfico y cargas realizado se estima que el peso soportado por el eje delantero es alrededor de 1 tonelada, mientras que para el eje posterior es 0.9. En el grafico 13, se puede apreciar la representación de esta categoría de vehículos, así como la distribución de sus ejes.

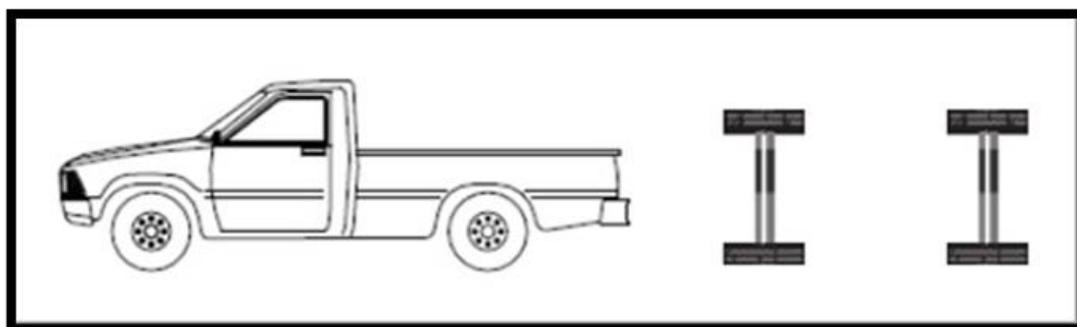
**Figura 13: Representación gráfica de los Automóviles**



*Nota:* Reglamento Nacional de vehículos- DS N° 058-2003-MTC

La categoría Pick Up hace referencia a los vehículos destinados al transporte de personas y mercaderías, los cuales, se caracterizan por poseer una plataforma de carga descubierta sobre el eje posterior. Tanto el peso soportado como la distribución de ejes de estos vehículos son equivalentes a los parámetros establecidos por la categoría automóviles. En grafico 14 se aprecia la representación de una camioneta Pick Up y su correspondiente distribución de ejes.

**Figura 14: Representación gráfica de Pick Up**

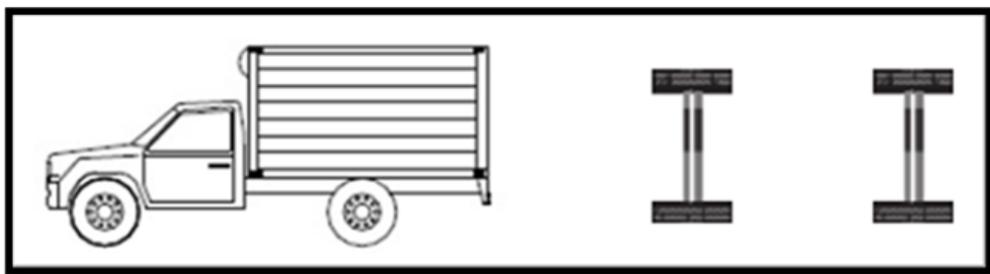


*Nota:* Reglamento Nacional de vehículos- DS N° 058-2003-MTC

Las camionetas rurales son una categoría de vehículos cuyo uso se encuentra relacionado mayormente al traslado de mercaderías y en menor medida al transporte de personas. A diferencia de los Pick Up, la plataforma

de carga de ubicada sobre el eje posterior de estas camionetas, poseen una cobertura integral. Para la presente investigación se estima que el peso soportado en estos vehículos es de 1.1 toneladas para su eje delantero y 1 tonelada para el eje posterior (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2003). En la grafico 15 se aprecia la representación de las camionetas rurales, así como la distribución de sus ejes.

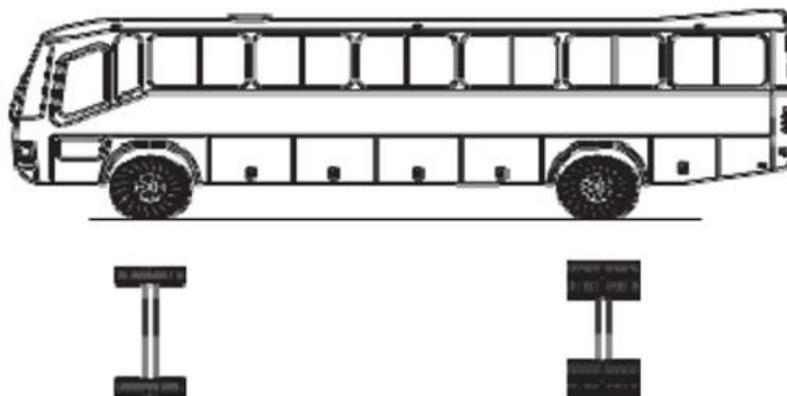
**Figura 15: Representación gráfica de las camionetas rurales**



*Nota:* Reglamento Nacional de vehículos- DS N° 058-2003-MTC

Los microbuses “B2” son un tipo de vehículos empleados por el servicio de transporte público para el desplazamiento masivo de personas. Debido a que puede ostentar dimensiones longitudinales máximas de 14 metros, posee un eje delantero que soporta un peso máximo de 7 toneladas además de un eje simple posterior de cuatro ruedas con capacidad de 11 toneladas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2003). Acorde al reglamento nacional del sistema de licencias de conducir, estos vehículos corresponden a la categoría M2 y pueden ser conducidos con una licencia A2-B.

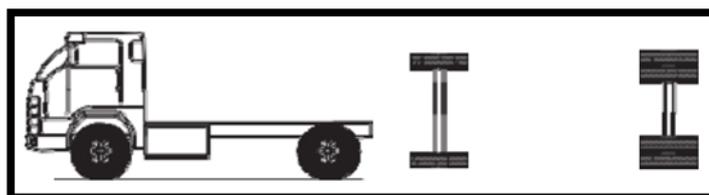
**Figura 16: Representación gráfica de los microbuses**



*Nota:* Reglamento Nacional de vehículos- DS N° 058-2003-MTC

Los C2 son un tipo de vehículos destinados al transporte reducido de mercaderías, los cuales, pueden presentar dimensiones longitudinales máximas de 12.3 metros. Con referencia a la caracterización de sus ejes, poseen la misma distribución de los microbuses “B2”, teniendo un eje simple de cuatro ruedas en su parte posterior. Acorde al reglamento nacional de vehículos, se establece que el peso máximo soportado por estos vehículos es de 7 toneladas en el primer eje y 11 para el segundo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2003). En el grafico 17, se observa la representación de los vehículos C2 y su respectiva distribución de ejes.

**Figura 17: Representación gráfica de vehículos C2**



*Nota:* Reglamento Nacional de vehículos- DS N° 058-2003-MTC

Correspondiente a la categoría C3, son un tipo de camiones medianos que se usan exclusivamente para el transporte masivo de mercancías y presentan dimensiones máximas de 13.2 metros. Básicamente, tienen un eje delantero simple de dos ruedas, así como un eje tándem compuesto de ocho neumáticos. De acuerdo al reglamento de vehículos, pueden soportar un peso máximo de 25 toneladas, de los cuales, 7 corresponden al su eje delantero y 18 al eje posterior (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2003). En la grafico 18 se aprecia la representación de un vehículo categoría C3 y la distribución de sus ejes.

**Figura 18: Representación gráfica de vehículos C3**



*Nota:* Reglamento Nacional de vehículos- DS N° 058-2003-MTC

b). Cantidad diaria de vehículos

Se determina a partir de los datos recolectados en el estudio de tráfico de la sección 4.1.1 del presente estudio. En principio, se conoce que diariamente transitan un promedio de 39 vehículos correspondientes a todas las categorías. Así mismo, del conjunto total de vehículos alrededor del 36% son autos, 9% pick up, 15% camionetas rurales, 15% micros, 18% C2 y 6% C3. En la tabla 18 presentada a continuación, el índice diario de vehículos es el resultado de multiplicar 39 por el porcentaje correspondiente a cada categoría.

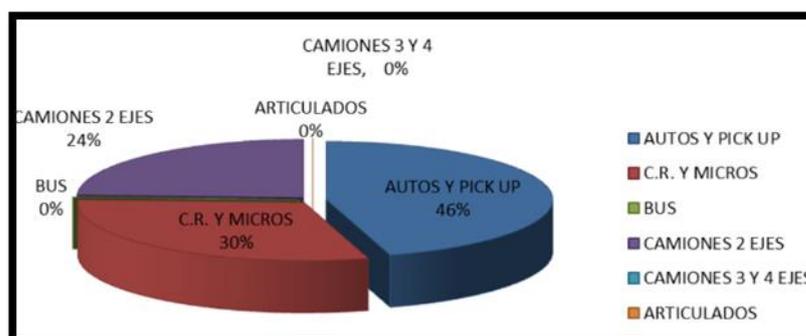
**Tabla 18: Índice diario anual de vehículos**

Tipo de vehículo	Porcentaje	IMDP
Autos	36.00%	14.04
Pick UP	9.00%	3.51
Cam. Rural	15.00%	5.85
Microbuses	15.00%	5.85
C2	18.00%	7.02
C3	6.00%	2.34
	99.00%	38.61

Nota: Fuente propia.

Acorde a la distribución porcentual de vehículos que se presenta en la grafico 19, se aprecia que la categoría autos en adición a los pick up representan el 46% de la muestra global de vehículos. Seguidamente, las camionetas rurales y los micros representan el segundo grupo de categorías más grande con un 30%. Por último, los camiones de dos ejes que resultan de la sumatoria de las categorías C2 y C3 alcanzan apenas el 24%.

**Figura 19: Distribución porcentual de vehículos**



Nota: Geotech

c). Periodo de diseño (n)

En virtud a que el diseño propuesto del estudio, contempla la ejecución integra del proyecto en una sola etapa, se establece que el periodo de diseño asciende a 20 años. Es importante mencionar que según la guía AASTHO

del año 1993, se considera que cada uno de estos años se componen de un total de 365 días.

$$n = 20 \text{ años}$$

Ecuación (3)

d). Factor direccional y factor carril (Fd-Fc)

La guía AASHTO de 1986 establece los valores de estos parámetros en virtud al número de sentidos de la carretera propuesta, así como la cantidad de carriles en cada dirección que posee. Teniendo por consideración que la carretera comprendida entre las localidades de Paucartambo y Chupaca cuenta con un total de dos carriles, siendo un solo carril por cada dirección, se define un factor direccional de 0.5 y un factor carril unitario. En el grafico 19 se aprecia los valores de cada factor para diferentes tipos de propuestas.

**Tabla 19: Factores de distribución direccional y de carril**

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

*Nota:* (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos-Sección Suelos y Pavimentos, 2014, p.64)

$$Fd = 0.5$$

Ecuación (4)

$$F_c = 1 \quad \text{Ecuación (5)}$$

e). Tasa anual de crecimiento (r)

Este parámetro se determina como la media geométrica de las razones de crecimientos definidas en la tabla 7 del presente informe y la cantidad de vehículos muestreados de la tabla 4. En resumidas cuentas, se estima que para el presente estudio el conjunto global de vehículos presenta una razón de crecimiento del 1.5545%. A continuación, se presenta el proceso seguido para el cálculo de la tasa de crecimiento empleado en el diseño.

$$r = \frac{r_1 \times v_1 + r_2 \times v_2 + r_3 \times v_3 + r_4 \times v_4 + r_5 \times v_5}{v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5}$$

$$r = \frac{0.9\% \times 15 + 0.9\% \times 5 + 0.9\% \times 5 + 3.6\% \times 6 + 3.6\% \times 2}{15 + 5 + 5 + 6 + 2}$$

$$r = 1.5545\% \quad \text{Ecuación (6)}$$

f). Factor de crecimiento acumulado (Fca)

Se determina a partir de la razón de crecimiento calculado anteriormente y el periodo de diseño establecido para la carretera. Para su cálculo se hace uso de la ecuación establecida por la guía AASTHO de 1933. En el proceso presentado a continuación la variable “Y” representa el periodo de diseño expresado en años y la variable “r” la razón de crecimiento de todos los vehículos. Como resultado, se estima que la tasa de crecimiento para el diseño de pavimentos son 23.2481 unidades. (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos-Sección Suelos y Pavimentos, 2014)

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

$$Fca = \frac{(1 + 1.5545\%)^{20} - 1}{1.5545\%}$$

$$Fca = 23.2481 \quad \text{Ecuación (7)}$$

g). Numero de ejes equivalentes

Se establece en virtud a la distribución de ejes de cada tipo de vehículo y sus correspondientes pesos máximos soportados. Para la presente investigación, la equivalencia de cada eje se determina acorde a un conjunto ecuaciones establecidas por la guía AASHTO de 1993. En la tabla 20 se aprecia el detalle de equivalencias para diferentes tipos de ejes y a continuación los cálculos seguidos por la investigación.

**Tabla 20: Equivalencias por tipo de Eje**

Tipo de Eje	Eje Equivalente ( $EE_{8,2tn}$ )
Eje simple de ruedas simples ( $EE_{S1}$ )	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.0}$
Eje simple de ruedas dobles ( $EE_{S2}$ )	$EE_{S2} = [P/8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas doble + 1 eje rueda simple) ( $EE_{TA1}$ )	$EE_{TA1} = [P/14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 eje ruedas dobles) ( $EE_{TA2}$ )	$EE_{TA2} = [P/15.1]^{4.0}$
Eje Tandem (2 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) ( $EE_{TR1}$ )	$EE_{TR1} = [P/20.7]^{3.9}$
Eje Tandem (3 eje ruedas dobles) ( $EE_{TR2}$ )	$EE_{TR2} = [P/21.8]^{3.9}$

P = peso real por eje en toneladas

*Nota:* (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos- Sección Suelos y Pavimentos, 2014, p.67)

- Calculo para ejes simples de dos ruedas

$$EES1_{p ton} = \left(\frac{p}{6.6}\right)^4 \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$EES1_{0.9 ton} = \left(\frac{0.9}{6.6}\right)^4 = 0.0005 \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$EES1_{1 ton} = \left(\frac{1}{6.6}\right)^4 = 0.0003 \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$EES1_{1.1 ton} = \left(\frac{1.1}{6.6}\right)^4 = 0.0008 \quad \text{Ecuación (11)}$$

$$EES1_{7 ton} = \left(\frac{7}{6.6}\right)^4 = 1.2654 \quad \text{Ecuación (12)}$$

- Calculo para ejes simples de cuatro ruedas

$$EES2_{p ton} = \left(\frac{p}{8.2}\right)^4 \quad \text{Ecuación (13)}$$

$$EES2_{11ton} = \left(\frac{11}{8.2}\right)^4 = 3.2383 \quad \text{Ecuación (14)}$$

- Calculo para ejes tándem de ocho ruedas

$$ETA2_{p ton} = \left(\frac{p}{15.1}\right)^4 \quad \text{Ecuación (15)}$$

$$ETA2_{18 ton} = \left(\frac{18}{15.1}\right)^4 = 2.0192 \quad \text{Ecuación (16)}$$

h). Numero de repeticiones de ejes equivalentes (W18)

Referente a la tabla 24, en la segunda y tercera columna se presenta las cargas máximas que soporta cada tipo de vehículo en cada eje, en la cuarta y quinta columna la estimación de sus correspondientes ejes equivalentes, en la sexta columna el total de ejes por vehículo, en la séptima el índice medio diario y en la última columna los ejes equivalentes para cada categoría. A partir de la sumatoria de estos últimos parámetros se estima que el numero acumulado de ejes equivalentes es igual a 65.6709.

**Tabla 21: Numero acumulado de ejes equivalentes (W18)**

Tipo de vehículo	Carga (TON)		Fvpi		Total	IMDP	
	Eje delantero	1 eje	Eje delantero	1 eje			
Autos	1	0.9	0.0005	0.0003	0.0009	14.09	0.0123
Pick UP	1	0.9	0.0005	0.0003	0.0009	3.51	0.0031
Cam. Rural	1.1	1	0.0008	0.0005	0.0013	5.85	0.0076
Micros	7	11	1.2654	3.2383	4.5037	5.85	26.3464
C2	7	11	1.2654	3.2383	4.5037	7.02	31.6156
C3	7	18	1.2654	2.0192	3.2846	2.34	7.6859
						IMDP×Fvpi	65.6709

Nota: Fuente propia

$$IMDP_i \times Fvpi = 65.6709 \quad \text{Ecuación (16)}$$

En segunda instancia se determina la cantidad de ejes equivalentes por día para el carril de diseño ( $EE_{\text{dia-carril}}$ ) mediante la multiplicación del índice medio diario, factor de vehículo pesado, factor direccional, factor carril y factor de presión de neumáticos. Referente a este último parámetro, adopta un valor unitario ya que la capa de rodadura oscila alrededor de 5 milímetros y la presión de neumáticos 80 psc. (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos-Sección Suelos y Pavimentos, 2014)

$$\begin{aligned} EE_{\text{dia-carril}} &= IMDP_i \times Fvpi \times Fd \times Fc \times Fpi \\ EE_{\text{dia-carril}} &= 65.6709 \times 0.5 \times 1 \times 1 \\ EE_{\text{dia-carril}} &= 32.8354 \quad \text{Ecuación (17)} \end{aligned}$$

El último proceso presentado a continuación determina el número de repeticiones de ejes equivalentes mediante el producto de tres factores: ejes equivalentes por día, factor de crecimiento acumulado y cantidad de días. En resumidas cuentas, la investigación estima que el diseño de la carretera debe soportar el paso de 278627.8 ejes de 18000 libras. (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos-Sección Suelos y Pavimentos, 2014)

$$\begin{aligned} Nrep \text{ de } EE_{8.2ton} &= EE_{\text{dia-carril}} \times Fca \times 365 \\ Nrep \text{ de } EE_{8.2ton} &= 32.8354 \times 23.2481 \times 365 \\ W18 &= Nrep \text{ de } EE_{8.2ton} = 278627.889 \quad \text{Ecuación (18)} \end{aligned}$$

## Propiedades físico mecánicas del terreno

### a). Valor relativo de soporte (CBR)

Se define como el promedio de valores estipulados en tabla 11 de la sección 4.1.1.3 del presente informe. A continuación, se presenta el proceso seguido para el cálculo del CBR y algunas características adicionales para la base y subbase.

**Tabla 22: Datos del CBR para el diseño**

Tipo	CBR
Valor relativo de soporte	37%
Base granular	80 % al 100 % de MDS
Subbase granular	40 % al 100 % de MDS

*Nota:* Fuente Propia

$$CBR = \frac{28\% + 19\% + 39\% + 40\% + 48\% + 45\%}{6}$$

$$CBR = 37\%$$

Ecuación (19)

### b). Modulo resiliente de subrasante (Mrsr)

Se determina a partir del valor del CBR y la ecuación estipulada en la en el manual de carreteras. Para la presente investigación se estima que el valor del módulo resiliente es de 25765.58 PSI (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos-Sección Suelos y Pavimentos, 2014).

$$Mrsr = 2555 \times (CBR)^{0.64}$$

$$Mrsr = 2555 \times (37)^{0.64}$$

$$M_{rsr} = 25765.58 \text{ PSI}$$

$$\text{Ecuación (20)}$$

### Parámetros adicionales para el diseño de pavimentos

#### a). Confiabilidad (R)

Se determina en base al tipo de camino, tráfico y cantidad de ejes equivalentes de la ruta. Debido a que el número de ejes equivalente estimado en la sección 5.1.7 se encuentra en un rango entre 150001 y 300000 unidades, en principio definimos un tipo de tráfico "Tp1". Seguidamente, acorde al grafico 24 presentado a continuación, la confiabilidad establecida para un camino con bajo volumen de tránsito y tráfico "Tp1" es 70%.

**Tabla 23: Niveles de confiabilidad para una etapa de diseño**

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de bajo Volumen de Transito	$T_{P0}$	75.000	150.000	65%
	$T_{P0}$	150.001	300.000	70%
	$T_{P0}$	300.001	500.000	75%
	$T_{P0}$	500.001	750.000	80%
	$T_{P0}$	750.001	1,000.000	85%
	$T_{P0}$	1,000.001	1,500.000	85%
	$T_{P0}$	1,500.001	3,000.000	85%
	$T_{P0}$	3,000.001	5,000.000	85%
	$T_{P0}$	5,000.001	7,500.000	90%
	$T_{P0}$	7,500.001	10'000.000	90%
Resto de Caminos	$T_{P0}$	10'000.001	12'500.000	90%
	$T_{P0}$	12'500.001	15'000.000	90%
	$T_{P0}$	15'500.001	20'000.000	95%
	$T_{P0}$	20'000.001	25'000.000	95%
	$T_{P0}$	25'000.001	30'000.000	95%
	$T_{P0}$	>30'000.000		95%

*Nota:* (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos-Sección

Suelos y Pavimentos, 2014)

$$R = 70\%$$

$$\text{Ecuación (21)}$$

b). Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar ( $Z_r$ )

De forma análoga a la sección anterior se define este parámetro en virtud al tipo de camino y tráfico que ostenta la carretera. En el gráfico 25, se presentan todos los valores de desviación estadística para el diseño de proyectos ejecutados en una sola etapa. Para la presente investigación, el valor adoptado de este parámetro es de -0.504 unidades.

**Tabla 24: Coeficientes estadísticos de desviación estándar normal para una sola etapa de diseño**

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL ( $Z_r$ )
Caminos de bajo Volumen de Transito	$T_{P0}$	75.000	150.000	-0.385
	$T_{P0}$	150.001	300.000	-0.524
	$T_{P0}$	300.001	500.000	-0.674
	$T_{P0}$	500.001	750.000	-0.842
	$T_{P0}$	750.001	1,000.000	-0.842
	$T_{P0}$	1,000.001	1,500.000	-1.036
	$T_{P0}$	1,500.001	3,000.000	-1.036
	$T_{P0}$	3,000.001	5,000.000	-1.036
	$T_{P0}$	5,000.001	7,500.000	-1.282
	$T_{P0}$	7,500.001	10'000.000	-1.282
Resto de Caminos	$T_{P0}$	10'000.001	12'500.000	-1.282
	$T_{P0}$	12'500.001	15'000.000	-1.282
	$T_{P0}$	15'500.001	20'000.000	-1.645
	$T_{P0}$	20'000.001	25'000.000	-1.645
	$T_{P0}$	25'000.001	30'000.000	-1.645
	$T_{P0}$	>30'000.000		-1.645

*Nota:* (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos- Sección

Suelos y Pavimentos, 2014)

$$Z_r = -0.504$$

Ecuación (22)

c). Desviación estándar combinada ( $S_o$ )

Si bien la guía AASTHO menciona que en virtud a la variabilidad del tránsito y demás factores se pueden adoptar valores para este parámetro entre 0.4 y 0.5 unidades, el Manual de Carreteras recomienda usar un valor de puntual de 0.45. Es así, que en virtud a todas estas consideraciones la presente

investigación ha optado conveniente asumir un valor conservador de desviación estándar de 0.45 unidades. (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos- Sección Suelos y Pavimentos, 2014)

$$S_o = 0.45 \quad \text{Ecuación (23)}$$

d). Variación de Serviciabilidad ( $\Delta PSI$ )

Es el parámetro que se determina mediante la diferencia del nivel de servicio inicial ( $PSI_o$ ) y el nivel de servicio terminal ( $PSI_t$ ). Para el caso del presente estudio se tomó por consideración una valoración del nivel de servicio inicial de 4.2 y para el servicio terminal de 2.2. Acorde al proceso presentado a continuación se estima que la variación de serviciabilidad empleado para el diseño de la carretera es de 2 unidades.

$$\Delta PSI = PSI_o - PSI_t$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.2$$

$$\Delta PSI = 2 \quad \text{Ecuación (24)}$$

e). Coeficientes estructurales de las capas ( $a_i$ )

Acorde a la información presentada en la tabla 25 , el Manual de Carreteras establece los siguientes detalles para cada uno de los coeficientes en distintas capas. En el caso de la capa superficial, el estudio considera un coeficiente estructural de 0.125 debido a que la componente del pavimento es una mezcla asfáltica en frío con emulsión. En cuanto se refiere a la capa base ya que se trata de una base granular y el número de ejes equivalentes de la carretera es menor a 10000000 unidades, el coeficiente adopta un valor de 0.052. Finalmente, para el caso la subrasante se establece que adopta un coeficiente de 0.047 que es el único valor recomendado.

**Tabla 25 Coeficientes estructurales de capas**

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL $a_1$ (cm)	OBSERVACIÓN
<b>CAPA SUPERFICIAL</b>			
<b>Carpeta Asfáltica en Frio, mezcla asfáltica con emulsión</b>	$a_1$	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Trafico $\leq 1'000,000$ EE
<b>BASE</b>			
<b>Base Granular CBR 80% compactada al 100% de la MDS</b>	$a_2$	0.052 / cm	Capa Superficial recomendada para Trafico $\leq 10'000,000$ EE
<b>SUBBASE</b>			
<b>Subbase Granular CBR 40% compactada al 100% de la MDS</b>	$a_3$	0.047 / cm	Capa de Subbase recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de Tráfico

*Nota:* (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos- Sección Suelos

y Pavimentos, 2014, p.141)

$$a_1 = 0.125 \text{ cm}^{-1} \quad \text{Ecuación (25)}$$

$$a_2 = 0.052 \text{ cm}^{-1} \quad \text{Ecuación (26)}$$

$$a_3 = 0.047 \text{ cm}^{-1} \quad \text{Ecuación (27)}$$

f). Calidad del drenaje ( $m_i$ )

En principio debido a que el agua acumulada en la carpeta tarda en promedio 1 semana para ser evacuada, acorde a la grafico 25 se establece que la calidad de drenaje en la carretera es mediano o regular.

**Tabla 26: Calidad de drenaje en función al tiempo de evacuación del agua**

CALIDAD DE DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDE EL AGUA EN SER EVACUADA
<b>Excelente</b>	2 horas
<b>Bueno</b>	1 día
<b>Mediano</b>	1 semana
<b>Malo</b>	1 mes
<b>Muy Malo</b>	El agua no evacua

*Nota:* (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos-Sección

Suelos y Pavimentos, 2014, p.142)

Seguidamente, si consideramos que alrededor del 15% las capas de base y subbase se encuentran cerca al punto de saturación, al iterar los valores de la figura 31 se estima una calidad de drenaje de 0.9 unidades.

**Tabla 27: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles**

CALIDAD DE DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA 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

*Nota:* (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos-Sección Suelos y Pavimentos, 2014, p.142)

$$\frac{m-1}{0.8-1} = \frac{15\%-5\%}{25\%-5\%} \quad \text{Ecuación (28)}$$

$$m2 = 0.9 \quad \text{Ecuación (29)}$$

$$m3 = 0.9 \quad \text{Ecuación (30)}$$

## **4.2. Presentación de análisis e interpretación de resultados**

### **4.2.1. Consideraciones generales para el diseño de pavimentos**

El diseño de pavimentos en el presente estudio gira entorno al cálculo de una variable conocida como número estructural, el cual, representa la capacidad que tiene un pavimento flexible para brindar un adecuado servicio. Por un lado, se define el número estructural requerido como el parámetro que establece los requisitos mínimos que obligatoriamente debe optar el diseño. Para el cálculo de este parámetro se emplea la información concerniente al número acumulado de ejes simples, coeficiente estadístico de desviación estándar normal, desviación estándar combinada, variación de serviciabilidad y módulo de residencia. Por lo que se refiera a las características propias del diseño, estas son definidas por el número estructural dotado, el cual, se determina a partir de los coeficientes estructurales, espesores y coeficientes de drenaje de las capas del pavimento. A grandes rasgos para que el diseño de un pavimento se considere apropiado el número estructural dotado no debe ser menor al número estructural requerido. Entre las principales consideraciones para el diseño se destaca lo siguiente:

- Acorde a lo establecido por la normativa CE. 010, se considera que la capa de rodadura tiene un espesor mínimo de 5 centímetros.
- Para la capa base se considera un valor relativo de soporte (CBR) no menor al 80%
- Para la capa de subbase el valor relativo de soporte es como mínimo 40%
- Con el objetivo de simplificar el proceso constructivo, el espesor de todas las capas del pavimento expresados en centímetros, ostentaran valores enteros múltiplos de 5.

- Debido a las características propias de la zona tanto la capa de base como subbase tendrán espesores no menores a 20 centímetros.

#### 4.2.2. Cálculo del número estructural requerido

Se define a partir de la ecuación básica de diseño de pavimentos flexibles estipulada por la metodología AASTHO y el Manual de Carreteras. Básicamente, el número estructural requerido debe ser tal que cumple la igualdad planteada en la figura 32. Con el objetivo de simplificar los cálculos, se ha optado por subdividir la ecuación general en dos parámetros (A y B) cuyas magnitudes son equivalentes.

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

Ecuación (31)

El parámetro “A” presentado a continuación, agrupa un conjunto de cuatro factores de la ecuación: el logaritmo de ejes equivalentes, el producto del coeficiente estadístico y desviación estándar normal, 0.2 y 8.07 unidades. Al reemplazar el valor de cada uno de los términos se estima que el parámetro “A” tiene un valor de 13.951 unidades.

$$A = \log(W_{18}) - Z_r \times S_o + 0.20 + 8.07$$

$$A = \log(278627.89) + 0.524 \times 0.45 + 0.20 + 8.07$$

$$A = 13.951$$

Ecuación (32)

En cuanto se refiere al parámetro “B”, agrupa el resto de términos de la ecuación básica que no son considerados por “A”. En los cálculos presentado a continuación, se ejecuta un proceso iterativo donde se estima valores de “B” asumiendo diferentes magnitudes de número estructural. En resumidas cuentas,

se establece que para un valor de  $SN$  igual a 1.504, el valor de “B” es prácticamente equivalente al parámetro “A”.

$$B = 9.36 \times \log(SN + 1) + \frac{\log\left(\frac{PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log(Mr3)$$

*Reemplazando  $SN = 1.504$*  Ecuación (33)

$$B = 9.36 \times \log(1.504 + 1) + \frac{\log\left(\frac{2}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(1.504 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log(25765.59)$$

$B = 13.951$  Ecuación (34)

#### 4.2.3. Cálculo del número estructural dotado y espesores de carpeta

De acuerdo al Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos-Sección Suelos y Pavimentos (2014) el número estructural dotado se estima mediante la ecuación presentada a continuación. Referente al proceso seguido, antes que nada, se reemplazan los valores definidos de coeficientes estructurales y coeficientes de drenaje de todas las capas, dejando expresado el número estructural requerido en términos de espesores de capa. En principio, se determina la magnitud del número estructural para los espesores de capa mínimos establecidos en la sección 4.2.1. del presente informe. En segundo lugar, se corrobora que el número estructural dotado sea mayor que el número requerido, de no ser el caso se reinicia el proceso mencionado asignando mayores espesores de capa. Para el caso de estudio, debido que los espesores de capa mínimos tienen la capacidad de dotar un número estructural ampliamente mayor al requerido, se confirma que el diseño final del pavimento tendrá tales dimensiones.

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times m_2 \times D_2 + a_3 \times m_3 \times D_3$$

$$SN = 0.125 \times D_1 + 0.052 \times 0.9 \times D_2 + 0.047 \times 0.9 \times D_3 \text{ Ecuación (35)}$$

$$D_1 = 5 \text{ cm} \quad \text{Ecuación (36)}$$

$$D_2 = 20 \text{ cm} \quad \text{Ecuación (37)}$$

$$D_3 = 20 \text{ cm} \quad \text{Ecuación (38)}$$

$$SN = 0.125 \times 5 + 0.052 \times 0.9 \times 20 + 0.047 \times 0.9 \times 20$$

$$SN = 2.407 \quad \text{Ecuación (39)}$$

#### 4.3. Prueba de hipótesis

- ✓ Los espesores de carpeta que se calculan mediante el diseño de pavimentos, permiten que la estructura soporte eficientemente las cargas de automóviles durante un periodo significativo.

##### Decisión

Conforme al estudio para espesores de 5 cm de carpeta asfáltica, 20 cm de base y 20 cm de subbase, el tramo de carretera entre Paucartambo y Chupaca puede soportar eficientemente el paso de 278627.9 ejes equivalentes de 18000 libras durante un periodo aproximado de 20 años

- ✓ Ante un cambio abrupto de las condiciones climáticas y el tránsito vehicular es posible que se generen importantes daños estructurales en el pavimento y se requieran mayores espesores de carpeta.

##### Decisión

Generalmente el diseño de pavimentos contempla toda posible variación en las condiciones climáticas y el tránsito de vehículos, mediante variables como

el coeficiente de drenaje y factor de crecimiento acumulado. Si bien todos los aspectos mencionados tienen una incidencia significativa para el diseño final, no siempre resultan ser determinantes para la estimación de los espesores de carpeta. Para el caso particular de nuestro estudio, ya que los espesores calculados brindan al pavimento características estructurales ampliamente mayores a las exigencias mínimas, los cambios del clima y tránsito no generan daño significativo al pavimento

- ✓ La resistencia al esfuerzo de corte del Suelo (CBR) influye de manera considerable para realizar el diseño de pavimento asfáltico en frío debido al deterioro de la carretera Paucartambo - Chupaca, Pasco, Perú.

### **Decisión**

La resistencia al esfuerzo de corte del suelo CBR es una variable importante para el cálculo del número estructural requerido, el cual, define los requisitos mínimos que debe tener un pavimento. Básicamente, para mayores valores de resistencia se encuentran asociados menores valores de número estructural y en consecuencia menores espesores de carpeta.

#### **4.4. Discusión de resultados**

Conforme a las características de las capas de pavimento, la norma CE.010 Pavimentos Urbanos establece lo siguiente. Primero, el espesor de la capa de rodadura para pavimentos flexibles en vías locales debe ser no menor a 50 milímetros. Segundo, en el caso de la capa base el valor relativo del soporte debe ser mayor al 80%, compactada al 100% de su densidad máxima seca, obtenido mediante el ensayo Proctor modificado tipo C. Tercero, para la subbase el CBR debe ser mayor al 40% compactada al 95% de su densidad máxima seca, obtenido mediante un ensayo Proctor modificado (MVCS, 2010). En todos los

casos, se parecía que las características propuestas por nuestro diseño cumplen con lo recomendado por la normativa en mención.

En cuanto se refiere a los números estructurales estipulados, se aprecia que la dotación realizada al pavimento es de 2.407 mientras que el requerimiento mínimo asciende a 1.504. En virtud a ello, se establece que el diseño ha sido orientado no solo a cumplir con los requisitos mínimos establecidos, sino a superar con holgura este parámetro. Gracias a estas consideraciones, se puede afirmar que la propuesta tendrá un funcionamiento óptimo durante un periodo mínimo de 20 años.

## CONCLUSIONES

Finalizado el trabajo de investigación titulado “DISEÑO DE PAVIMENTO ASFALTICO EN FRIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA PAUCARTAMBO – CHUPACA, PASCO, PERÚ”, se menciona y declara las siguientes conclusiones:

Ante todo, el mejoramiento de las condiciones actuales del pavimento en el tramo de carretera entre Paucartambo y Chupaca constituye un proyecto que genera grandes beneficios tanto a nivel social como económico. Básicamente mejora los niveles de comunicación y conectividad entre las dos localidades; reduce los costos asociados al transporte además que facilita el acceso de los pobladores a los establecimientos de salud, puestos policiales y centros de estudio.

- Según los estudios del tráfico se establece que para un periodo promedio de 20 años el tránsito de vehículos sobre la carretera propuesta será equivalente al paso de 278627.89 ejes de 8.2 toneladas.
- Debido a que el esfuerzo de corte del Suelo (CBR) es un parámetro incidente en el cálculo del número estructural requerido, se establece que su influencia sobre el diseño final del pavimento es significativa. A partir del estudio de suelos contemplado en el proyecto, se estima que sus valores son de 28%, 19%, 39%, 40%, 48% y 45%. Es así que para el diseño final del pavimento se emplea el valor promedio encontrado en los estudios, es decir 37%.
- Acorde a los parámetros definidos de numero acumulado de ejes equivalentes, coeficiente estadístico de desviación estándar normal, desviación estándar combinado, variación de serviciabilidad y módulo de resiliencia se establece que el diseño de pavimentos cuenta con un numero estructural requerido de 1.504. Este último define las características mínimas del diseño que deben ser suplidas para diferentes espesores de capa propuesto.

- En definitiva, se estima que un pavimento con espesores de 5 centímetros de carpeta asfáltica, 20 centímetros de base y 20 centímetros de subbase, satisface con creces todos los requerimientos mínimos establecidos. Ya que el diseño final propuesto con estos espesores cuenta con una dotación de número estructural de 2.407, se establece que existe una holgura del 60% respecto al mínimo requerido.

## **RECOMENDACIONES**

Culminado el proceso de investigación se recomienda las siguientes acciones:

- Para los vehículos del tipo: automóviles, Pick Upp y camionetas rurales considerar pesos máximos en cada eje entre 0.9 y 1.1 toneladas
- Realizar la valoración económica para distintas propuestas de diseño a fin de evaluar la opción más favorable técnica y económicamente.
- Clasificar todo tipo de vehículos acorde a lo establecido en el Reglamento Nacional de Vehículos- Decreto Supremo N 058-2003-MTC
- Recopilar información del tránsito en distintos escenarios de espacio y tipo con el objetivo de mejorar los resultados del diseño.
- Ejecutar el procesamiento de datos y diseño de pavimentos acorde al Manual de Carreteras (Sección Suelos y Pavimentos)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agregados para la elaboración de concreto. (2018, julio 26). *Concretos Supermix*.

<https://www.supermix.com.pe/agregados-para-la-elaboracion-de-concreto/>

Ancalá Pascual, R. F., & Delgado Ramirez, C. J. N. (2020). MAPA DE GRADO DE DESEMPEÑO (PG) PARA LIGANTES ASFÁLTICOS SEGÚN CLASIFICACIÓN SUPERPAVE, APLICADO EN LAS REGIONES LIMA, ANCASH E ICA [UNIVERSIDAD RICARDO PALMA].

[https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3670/CIV-](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3670/CIV-T030_70946746_T_DELGADO_RAMÍREZ_CARLOS_JOSHEF_NICOLAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[T030\\_70946746\\_T DELGADO RAMÍREZ CARLOS JOSHEF NICOLAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3670/CIV-T030_70946746_T_DELGADO_RAMÍREZ_CARLOS_JOSHEF_NICOLAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ballena Tapia, C. J. (2016). UTILIZACIÓN DE FIBRAS DE POLIETILENO DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PARA SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ECOLÓGICAS EN FRÍO [UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN].

[https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/2256/TESIS - DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO CON POLIETILENO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/2256/TESIS_DISEÑO_DE_UNA_MEZCLA_ASFÁLTICA_EN_FRIO_CON_POLIETILENO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Calderon Ponce, G. A., & Zelaya Aguilera, S. P. (2015). *DISEÑO DE 1.5 KM DE PAVIMENTO ARTICULADO, DEL TRAMO “ESTELÍ – COMUNIDAD EL LIMÓN” EN EL MUNICIPIO DE ESTELÍ, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ*. [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://ribuni.uni.edu.ni/1780/1/90072.pdf>

Caqui Calixto, C. (2020). SEGUIMIENTO CONCENTRADO AL ACUERDO DE GOBERNABILIDAD PARA EL DESARROLLO INTEGRAL DE LA REGION PASCO 2019-2022.

[https://www.mesadeconcertacion.org.pe/storage/documentos/2020-12-](https://www.mesadeconcertacion.org.pe/storage/documentos/2020-12-16/seguimiento-concertado-al-acuerdo-de-gobernabilidad-regional-pasco-2019-)

[16/seguimiento-concertado-al-acuerdo-de-gobernabilidad-regional-pasco-2019-](https://www.mesadeconcertacion.org.pe/storage/documentos/2020-12-16/seguimiento-concertado-al-acuerdo-de-gobernabilidad-regional-pasco-2019-)

2022-periodo-2019.pdf

*Cargas de Servicio*. (s/f). Scribd. Recuperado el 6 de junio de 2023, de <https://es.scribd.com/doc/233618065/Cargas-de-Servicio>

Carlos, J., & Ruiz, G. (s/f). *ASPECTOS DURABILIDAD*. Uprm.edu. Recuperado el 6 de junio de 2023, de <https://academic.uprm.edu/prt2/DurabilidadJaime.pdf>

*CEMENTO ASFÁLTICO*. Propiedades químicas del asfalto □ El asfalto tiene propiedades químicas únicas que lo hacen muy versátil como material de construcción. (s/f). Slideplayer.es. Recuperado el 6 de junio de 2023, de <https://slideplayer.es/slide/17298735/>

Chayo-guima. (2015). Guía AASHTO 93 versión en español. *dokumen. tips*. <https://dokumen.tips/documents/guia-aashto-93-version-en-espanol.html?page=11>

ComexPerú. (2020, February 28). INFRAESTRUCTURA VIAL: GOBIERNOS SUBNACIONALES ESTANCADOS. Seminario 1021. [https://www.comexperu.org.pe/articulo/infraestructura-vial-gobiernos-subnacionales-estancados#:~:text=En nuestro país%2C el sistema,\(km\)%2C competencia de los Gobiernos](https://www.comexperu.org.pe/articulo/infraestructura-vial-gobiernos-subnacionales-estancados#:~:text=En nuestro país%2C el sistema,(km)%2C competencia de los Gobiernos)

Coria, C. A., Roberto, G., Hernández, I., Paul, D., & Anguas, G. (n.d.). *Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles: un enfoque mecanicista*.

Crespin Molina, R. A., Santa Cruz Jovel, I. E., & Torres Linares, P. A. (2012). APLICACION DEL METODO MARSHALL Y GRANULOMETRIA SUPERPAVE EN EL DISEÑO DE MEZCLASASFALTICAS EN CALIENTE CON ASFALTO CLASIFICACION GRADO DE DESEMPEÑO” [UNIVERSIDAD DE EL

SALVADOR]. [https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1796/1/TESIS\\_FULL\\_CORR.pdf](https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1796/1/TESIS_FULL_CORR.pdf)

Cruz Saldaña, E., & Rengido Mozombite. Josué. (2019). Diseño de una mezcla asfáltica en frío como alternativa para la pavimentación del Jr. Perú, distrito de Tarapoto- 2019 [UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60080/Cruz\\_SE-Rengifo\\_MJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60080/Cruz_SE-Rengifo_MJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

De la Cruz Bazan, P., & Porras Zavala, M. J. (2015). EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DISEÑADAS POR LA METODOLOGÍA MARSHALL CON EL ENSAYO DE LA RUEDA CARGADA DE HAMBURGO PARA EL PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA DV IMPERIAL-PAMPAS. Universidad Ricardo Palma.

*Ensayo Proctor.* (s/f). Construmatica.com. Recuperado el 6 de junio de 2023, de [https://www.construmatica.com/construpedia/Ensayo\\_Proctor](https://www.construmatica.com/construpedia/Ensayo_Proctor)

*Ensayo Proctor - Hoja de Cálculo.* (s/f). Scribd. Recuperado el 6 de junio de 2023, de <https://es.scribd.com/document/517017332/Ensayo-Proctor-Hoja-de-calculo>

Esther, E., & Echenique, G. (2017). Metodología de la Investigación. *Universidad Continental.* <http://www.continental.edu.pe/>

Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición). <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Flores Falcón, C. S., & Antuanet Yahaira, S. N. (2020). La influencia del RAP en la resistencia estructural de un pavimento reciclado en frío para el proyecto de conservación vial de la carretera Binacional Mazocruz – Puente Internacional

[UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS].

[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/652416/Flores\\_FC.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/652416/Flores_FC.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Garay, B., María, S., Pilar, D., Garay, B. R., & Antonio, J. (2015). Estudio comparativo de las granulometrías por sedimentación, para determinar los porcentajes de arcillas en los suelos finos de la región San Martín. *Universidad Ricardo Palma*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2245>

García, A. H. V., Montenegro, V. M. C., & Flores, E. I. B. (2011). IMPORTANCIA DEL CRECIMIENTO DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN EN LA ECONOMÍA Y SOCIEDAD PERUANA. *Gestión En El Tercer Milenio*, 14(28), 25–32. <https://doi.org/10.15381/gtm.v14i28.8818>

Geotechtips - ¿Qué es el CBR? - Aprende Geotecnia. (2018, diciembre 15). *Geotechtips*. <https://www.geotechtips.com/post/que-es-el-cbr>

Irigoin Quesquén, R. J. (2018). *Comparación Entre Los Métodos Aashto 93 E Instituto Del Asfalto Para Optimizar El Diseño Del Pavimento Flexible En El Ah San Lorenzo - José Leonardo Ortiz – Chiclayo - Perú*. Universidad San Martín de Porres.

LCweb - ensayo compactación proctor modificado. (s/f). Upm.Es. Obtenido de [https://www2.caminos.upm.es/departamentos/ict/lcweb/ensayos\\_suelos/proctor\\_modificado.html](https://www2.caminos.upm.es/departamentos/ict/lcweb/ensayos_suelos/proctor_modificado.html)

Luque Poma, G., & Rosario Seminario, M. (2013). ZONAS CRITICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN PASCO. [https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//9360\\_informe-tecnico-zonas-criticas-por-peligro-geologico-en-la-region-pasco.pdf](https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//9360_informe-tecnico-zonas-criticas-por-peligro-geologico-en-la-region-pasco.pdf)

Matos, C. (2017, agosto 13). *El Asfalto: su origen y vialidades - ConstrArte, C.A.* ConstrArte, C.A. <http://www.construarte.com.ve/asfalto-origen-vialidades/>

Minaya Gonzáles, S., & Ordoñez Huaman, A. (2006). DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.

[https://www.academia.edu/34829662/UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DE\\_INGENIERIA\\_DISEÑO\\_MODERNO\\_DE\\_PAVIMENTOS\\_ASFÁLTICOS\\_M\\_Sc\\_SILENE\\_MINAYA\\_GONZÁLEZ](https://www.academia.edu/34829662/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA_DISEÑO_MODERNO_DE_PAVIMENTOS_ASFÁLTICOS_M_Sc_SILENE_MINAYA_GONZÁLEZ)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2003). *Reglamento Nacional de Vehículos DS N° 058-2003-MTC.*

Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos-Sección Suelos y Pavimentos, 301 (2014).

Montejo Fonseca, A. (2022). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras (Universidad Católica de Colombia (ed.); Agora Editores).  
[https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria\\_de\\_pavimentos\\_Alfonso\\_Montejo\\_Fonseca](https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejo_Fonseca)

Muñoz Rocha, C. I. (2015). Metodología de la investigación. Oxford University Press Mexico. <https://isbn.cloud/9786074265255/metodologia-de-la-investigacion/>

MVCS. (2010). Norma CE.010 Pavimentos Urbanos. In *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES.*

Portal iPerú. (2021). Distrito de Paucartambo de la provincia de Pasco, región Pasco. Distrito de Paucartambo (Pasco). <https://www.iperu.org/distrito-de-paucartambo-provincia-de-pasco#Clima>

Ramos Garcia, B. L., & Muñiz Perez, C. I. (2013). Propuesta de diseño de mezcla asfáltica en frío de graduación densa como alternativa para el mantenimiento de pavimentos flexibles [UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA].  
<http://repositorio.uca.edu.ni/518/1/UCANI3500.PDF>

Ramos García, B. L., & Muñiz Pérez, C. I. (2013). Propuesta de diseño de mezcla asfáltica en frío de graduación densa como alternativa para el mantenimiento de pavimentos flexibles [UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA]. <http://repositorio.uca.edu.ni/518/1/UCANI3500.PDF>

*Redirect notice.* (s/f). Google.com. Recuperado el 6 de junio de 2023, de [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Focw.unican.es%2Fpluginfile.php%2F1829%2Fcourse%2Fsection%2F1439%2Fejercicios\\_1.pdf&psig=AOvVaw1HM1STI4lpafzI7ohd0oiM&ust=1686155110564000&source=images&cd=vfe&ved=0CBiQjhxqFwoTCPCA19Chr\\_8CFQAAAAAdAAAAABAJ](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Focw.unican.es%2Fpluginfile.php%2F1829%2Fcourse%2Fsection%2F1439%2Fejercicios_1.pdf&psig=AOvVaw1HM1STI4lpafzI7ohd0oiM&ust=1686155110564000&source=images&cd=vfe&ved=0CBiQjhxqFwoTCPCA19Chr_8CFQAAAAAdAAAAABAJ)

Sanchez Huaccha, A. M. (2019, June 8). *La Gran Problemática Actual De La Infraestructura Vial Con En El Futuro Del País | LinkedIn.* <https://www.linkedin.com/pulse/la-gran-problemática-actual-de-infraestructura-vial-sanchez-huaccha/?originalSubdomain=es>

Sandoval Sarmiento, S. F. (2009, April 27). *Pavimentos Articulados.* Obras Civiles. <http://udesobrasciviles.blogspot.com/>

Servicio de Conservación de Recursos Naturales. (n.d.). *¿Qué significa la conservación?* Retrieved December 19, 2022, from <https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/conservation-by-state/pennsylvania/que-significa-la-conservacion>

SUR QUIMICA. (2017). *Informacion Tecnica Asfalto en Frio.* [http://www.gruposur.com/download/hojas\\_tecnicas/ht-945-R2801101400.pdf](http://www.gruposur.com/download/hojas_tecnicas/ht-945-R2801101400.pdf)

UDEP. (2015, December 5). *“La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país”*. El Especialista En Transporte, El Mgtr. Julián Rivera, Comenta La Importancia de Una Adecuada Infraestructura Vial En El País. <https://www.udep.edu.pe/hoy/2015/12/la-red-vial-es-imprescindible-para-el->

desarrollo-y-crecimiento-de-un-pais/

Valdés Krieg, A. (2017, March 22). *DURABILIDAD DEL CONCRETO: CONCEPTOS Y SOSTENIBILIDAD*. <https://www.hormigonespecial.com/blog/?p=349>

Villanueva Flores, S. M. (2021, May). *LA IMPORTANCIA DE LA MECÁNICA DE SUELOS EN OBRAS DE CARRETERAS*. Construyendo Obras y Vías. <https://coovias.com/la-importancia-de-la-mecanica-de-suelos-en-obras-de-carreteras/>

(S/f). Uba.ar. Recuperado el 6 de junio de 2023, de <http://metodos-comunicacion.sociales.uba.ar/wp-content/uploads/sites/219/2014/04/Babbie-Cap-4.pdf>.

## **ANEXOS**

# **CONTEO VEHICULAR**

**DISEÑO DE PAVIMENTO ASFALTICO EN  
FRIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA  
CARRETERA PAUCARTAMBO –  
CHUPACA, PASCO, PERÚ**





















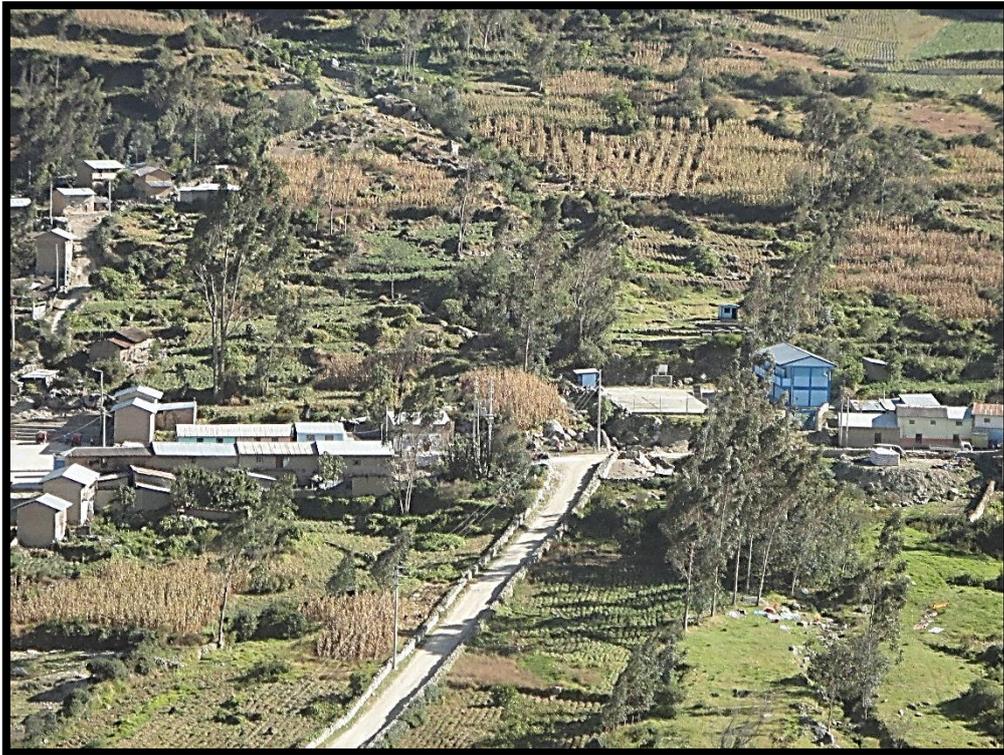








**PANEL FOTOGRAFICO**



*Fotografía 1 : Vista panorámica de la localidad de Chupaca*



*Fotografía 2 : Vista panorámica de la localidad de Paucartambo*



*Fotografía 3 : E1 - Levantamiento topográfico*



*Fotografía 4 : E2 - Levantamiento topográfico*



*Fotografía 5 : Sección del tramo a intervenir*



*Fotografía 6 : Ingreso a la localidad de Chupaca*



*Fotografía 7 : E3 - Levantamiento topográfico*