



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN  
INTEGRAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CARRETERA  
CONOCOCHA-YANACANCHA

Línea de Investigación:  
Seguridad Vial e Infraestructura de Transporte

Modalidad de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero  
Civil

Autor:  
Apaza Navarro, Max Arturo

Asesor:  
Jaramillo Tarazona, Francisco  
(ORCID: 0000-0002-9638-7814)

Jurado  
Romero Ríos, David  
Ayquipa Quispe, Evelyn Estefany  
Arévalo Vidal, Samir Augusto

Lima – Perú  
2023

### **Dedicatoria**

El presente informe de suficiencia es dedicado a mis padres y hermana, por su apoyo constante en mi formación profesional y personal.

## Índice

RESUMEN .....	9
ABSTRACT.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Trayectoria del autor.....	12
1.1.1. Experiencia laboral.....	12
1.2. Descripción de la empresa.....	13
1.3. Organigrama de la Empresa .....	14
1.4. Áreas y funciones desempeñadas .....	14
1.4.1. Epcm consulting – Área de proyectos.....	14
II. DESCRIPCIÓN DE UNA TAREA ESPECÍFICA.....	16
2.1. Descripción del problema.....	17
2.2. Objetivos.....	18
2.2.1. Objetivo General .....	18
2.2.2. Objetivos Específicos.....	18
2.3. Justificación.....	18
2.4. Limitaciones .....	19
2.5. Hipótesis .....	19
2.5.1. Hipótesis general .....	19
2.5.2. Hipótesis específica.....	19

2.6.	Marco Teórico .....	20
2.6.1.	Antecedentes .....	20
2.6.2.	Bases teóricas sobre la investigación .....	22
2.7.	Método.....	46
2.7.1.	Tipo de investigación .....	46
2.7.2.	Ámbito espacial y temporal.....	46
2.7.3.	Variables.....	47
2.7.4.	Población y muestra .....	48
2.7.5.	Instrumentos .....	48
2.7.6.	Procedimientos .....	49
2.8.	Resultados.....	53
2.8.1.	Evaluación funcional y cálculo del IRI-PSI.....	53
2.8.2.	Evaluación Superficial y determinación del PCI .....	55
2.8.3.	Evaluación Estructural y Cálculo del ICE.....	60
2.8.4.	Evaluación de pavimentos flexibles .....	67
2.9.	Discusión de resultados .....	70
III.	APORTES MAS DESTACADOS A LA EMPRESA .....	72
3.1.	Aportes significativos en la formulación expedientes técnicos.....	72
3.2.	Aportes significativos en supervisión.....	72
3.3.	Aporte personal.....	72

IV. CONCLUSIONES .....	73
4.1. Primera conclusión .....	73
4.2. Segunda conclusión .....	73
4.3. Tercera conclusión.....	73
4.4. Cuarto conclusión .....	73
V. RECOMENDACIONES.....	74
5.1. Primera recomendación .....	74
5.2. Segunda recomendación .....	74
5.3. Tercera recomendación.....	74
5.4. Cuarta recomendación .....	74
5.5. Quinta recomendación.....	74
VI. REFERENCIAS.....	76
VII. ANEXOS.....	79

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Calificación del IRI</i> .....	29
<b>Tabla 2</b> <i>Valores del PSI y calificación</i> .....	31
<b>Tabla 3</b> <i>Tipo de fallas y unidad de medida</i> .....	33
<b>Tabla 4</b> <i>Coeficientes de ajuste de curva para determinar la longitud efectiva</i> .....	39
<b>Tabla 5</b> <i>Tabla de Confiabilidad según tipo de vía</i> .....	40
<b>Tabla 6</b> <i>Tabla de confiabilidad Desviación Estándar</i> .....	41
<b>Tabla 7</b> <i>Medición de la propuesta metodológica SEFACE</i> .....	43
<b>Tabla 8</b> <i>Sectorización de la carretera</i> .....	48
<b>Tabla 9</b> <i>Valores promedio del IRI de la Carretera Conococha Yanacancha</i> .....	53
<b>Tabla 10</b> <i>Valores del IRI por sector</i> .....	54
<b>Tabla 11</b> <i>Cuadro de calores del PSI por tramos</i> .....	55
<b>Tabla 12</b> <i>Valores Promedio de PCI</i> .....	59
<b>Tabla 13</b> <i>Valores promedio de PCI</i> .....	60
<b>Tabla 14</b> <i>Lectura de los valores de los geófonos</i> .....	61
<b>Tabla 15</b> <i>Valores de Área</i> .....	62
<b>Tabla 16</b> <i>Cuadro de parámetros y longitud efectiva</i> .....	62
<b>Tabla 17</b> <i>Valores de Numero Estructural Efectivo</i> .....	63
<b>Tabla 18</b> <i>Valores promedio del Número Estructural</i> .....	64
<b>Tabla 19</b> <i>Valores de Modulo Resilente y Coeficiente Estructural Efectivo por sectores</i>	65
<b>Tabla 20</b> <i>Tráfico proyectado EAL</i> .....	66
<b>Tabla 21</b> <i>Parámetros AASHTO 93</i> .....	66
<b>Tabla 22</b> <i>Índice de la Condición Estructural</i> .....	67

<b>Tabla 23</b> <i>Tráfico Vehicular Carretera Conococha-Yanacancha</i> .....	68
<b>Tabla 24</b> <i>Tabla resumen de parámetros</i> .....	69
<b>Tabla 25</b> <i>Código SEFACE</i> .....	69
<b>Tabla 26</b> <i>Intervenciones óptimas según sectores</i> .....	70

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Organigrama de la empresa</i> .....	14
<b>Figura 2</b> <i>Sección transversal del pavimento</i> .....	22
<b>Figura 3</b> <i>Estructura de pavimento flexible</i> .....	23
<b>Figura 4</b> <i>Estructura del pavimento rígido</i> .....	24
<b>Figura 5</b> <i>Estructura del pavimento semi rígido</i> . .....	25
<b>Figura 6</b> <i>Ciclo de vida de un pavimento</i> .....	27
<b>Figura 7</b> <i>Perfilómetro Laser</i> .....	29
<b>Figura 8</b> <i>Formato de recolección de datos</i> .....	33
<b>Figura 9</b> <i>Formato de cálculo de CDV</i> .....	35
<b>Figura 10</b> <i>Tabla de corrección de CDV</i> .....	35
<b>Figura 11</b> <i>Tabla de calificación de PCI</i> .....	36
<b>Figura 12</b> <i>Deflectómetro de impacto FWD</i> .....	38
<b>Figura 13</b> <i>Determinación de la codificación de valores SEFACE</i> .....	44
<b>Figura 14</b> <i>Actividades a realizar en los Mantenimientos de carreteras según SEFACE</i>	45
<b>Figura 15</b> <i>Esquematización de la metodología SEFACE</i> .....	46
<b>Figura 16</b> <i>Ubicación de la Carretera Conococha-Yanacancha</i> .....	47
<b>Figura 17</b> <i>Relevamiento en el carril izquierdo km 0+244</i> .....	56
<b>Figura 18</b> <i>Formato de relevamiento</i> .....	57
<b>Figura 19</b> <i>Valores deducidos máximos</i> .....	57
<b>Figura 20</b> <i>Resumen de fallas de la Carretera Conococha Yanacancha</i> .....	58
<b>Figura 21</b> <i>Estado de la carretera Conococha Yanacancha</i> .....	71

## RESUMEN

**Objetivo:** Aplicar la propuesta metodología serviciabilidad, falla y condición estructural o SEFACE, para la evaluación del pavimento flexible en la carretera Conococha Yanacancha. **Método:** El método de investigación es de tipo cuantitativo y el tipo de estudio es descriptivo. La población es todo el tramo de 120 kilómetros de pavimento flexible de la carretera Conococha Yanacancha, utilizando equipos digitales, formatos de recolección de datos y trabajo en gabinete. **Resultados:** De la evaluación funcional se obtuvo que la carretera posee valores de serviciabilidad según la sectorización de 2.78, 2.83, 2.97 y 2.83. Estos valores califican como tramos regulares de serviciabilidad. Los valores de la evaluación superficial arrojaron una calificación mayor de 90 que se traduce como excelente. La condición estructural del pavimento, tiene un rango de 78% a 102% en el índice de condición estructural, lo que representa un estado crítico y regular. El Índice Medio Diario Anual arroja un valor de 567, que representa a una carretera de segunda clase. Al realizar la evaluación de la Carretera Conococha Yanacancha, mediante la propuesta metodológica, se obtuvo parámetros de codificación que nos dieron como resultado una intervención optima a realizar. **Conclusiones:** El primer sector, entre los kilómetros 0+000 al 47+000, requiere una intervención de tipo fresado y recapeo. El segundo sector, entre los kilómetros 47+000 al 94+000 y el tercer sector, entre los kilómetros 94+000 al 109+000, también requiere realizar fresado y recapeo. Finalmente, para el último sector comprendido entre las progresivas 109+000 al 117+500, resulto una intervención de tipo reciclado en caliente y recapeo.

*Palabras clave:* evaluación funcional, evaluación superficial, evaluación estructural, intervenciones.

## ABSTRACT

**Objective:** To apply the proposed serviceability, failure and structural condition methodology or SEFACE, for the evaluation of the flexible pavement on the Conococha Yanacancha highway. **Method:** The research method is quantitative and the type of study is descriptive. The population is the entire 120-kilometer stretch of flexible pavement of the Conococha Yanacancha highway, using digital equipment, data collection forms and desk work. **Results:** The functional evaluation showed that the road has serviceability values of 2.78, 2.83, 2.97 and 2.83 according to sectorization. These values qualify as regular serviceability sections. The surface evaluation values yielded a rating higher than 90, which translates as excellent. The structural condition of the pavement has a range of 78% to 102% in the structural condition index, which represents a critical and regular condition. The Annual Average Daily Index yields a value of 567, which represents a second class road. The evaluation of the Conococha Yanacancha road, through the methodological proposal, obtained coding parameters that gave us as a result an optimal intervention to be carried out. **Conclusions:** The first sector, between kilometers 0+000 to 47+000, requires a milling and resurfacing intervention. The second sector, between kilometers 47+000 to 94+000 and the third sector, between kilometers 94+000 to 109+000, also requires milling and re-bedding. Finally, for the last sector, between progressive 109+000 to 117+500 kilometers, a hot recycling and overlay type intervention was required.

*Keywords:* functional evaluation, surface evaluation, structural evaluation, intervention.

## I. INTRODUCCIÓN

El presente informe de suficiencia profesional se refiere a la metodología SEFACE (serviciabilidad, falla y condición estructural), para evaluación integral para pavimentos flexibles en la carretera Conococha Yanacancha, ubicada en el departamento de Ancash, provincia de Bolognesi, Distrito de San Marcos, a una altitud entre los 3700 a 4200 m.s.n.m. La construcción de la carretera data en el año 2000 y su último mantenimiento en el año 2014.

Los pavimentos flexibles requieren de un mantenimiento preventivo (rutinario y periódico) y mantenimientos de tipo correctivo, para mantener los niveles de servicios óptimos por lo que se debe de determinar el tipo de intervenciones a realizar, a lo largo de toda la longitud de la carretera.

Para analizar esta problemática es necesario mencionar las causas de deterioro de las vías. Una de estas causas es el flujo pesado que transita en la carretera y el factor climático (temporada de lluvias) que dañan la rodadura de la carretera, disminuyendo los niveles de serviciabilidad requeridos para mantener el tránsito constante y confort de los usuarios.

El objetivo de este informe de suficiencia profesional es aplicar la propuesta metodología integral para la evaluación superficial del pavimento flexible en la carretera Conococha Yanacancha determinando previamente los valores de la condición situacional, superficial y estructural del pavimento.

El interés de la investigación de esta problemática nace por la necesidad de conocer nuevas metodologías que permitan la evaluación e intervención de los pavimentos flexibles aplicados en la carretera mencionada de estudio.

La metodología empleada integra los resultados de la evaluación superficial, situación y estructural del pavimento flexible, teniendo como resultado un Índice de Condición Global del pavimento para cuantificar y calificar el estado de la carretera y proponer una posible intervención para mantener los niveles óptimos de servicio en nuestra carretera de estudio.

## **1.1. Trayectoria del autor**

Bach. De Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Federico Villarreal, con más de dos años de experiencia en consultoría de expedientes técnicos de carreteras en la rama de costos y presupuestos, participando en distintos proyectos para Provias Nacional. También cuento con más de un año como asistente supervisor de obras de carreteras desempeñándome en funciones como control de calidad, verificación del correcto proceso constructivo de la obra, verificación e inspección de herramientas de seguridad según los estándares de la CM ANTAMINA, y labores en oficina técnica.

### ***1.1.1. Experiencia laboral***

#### **1.1.1.1. Provias Nacional-practicante profesional.**

En el año 2019, inicié como Practicante Profesional de Costos y Presupuestos desarrollando labores de revisión de expedientes técnico de carreteras en la subdirección de estudios.

**1.1.1.2. Epcm Consulting s.a.c – Asistente de Ingeniería (Julio 2019-mayo 2021).** En Julio del año 2019 ingreso a cumplir labores en el área de oficina técnica y como asistente en costos y presupuestos en la elaboración de expedientes de Metrados, Costos y Presupuestos en los siguientes proyectos:

- A. Estudio Definitivo Para el Mantenimiento Periódico de la Carretera Kishuara-Puente Sahuinto, para Provias Nacional.
- B. Estudio Definitivo Para el Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha-Yanacancha km 0+000 al 120+00, para Provias Nacional a través de la Compañía Minera Antamina.
- C. Rehabilitación de Puentes Paquete 9-LA Libertad 2-Lima Obra 1: Puente Ullachi y Accesos y Puente Enaben para el Programa Reconstrucción con Cambios
- D. Expediente Técnico Para la reparación de losas del Truckshop, para la Compañía Minera Antamina.
- E. Expediente Técnico *para la repavimentación de la Vía Huaricanga, para la Compañía Minera Antamina.*

**1.1.1.3. Epcm consulting s.a.c - Asistente de Supervisión (junio 2021-Julio 2022).** En junio del 2021 hasta julio del 2022 cumplí la labor de Asistente Supervisor en el proyecto de Supervisión del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha-Yanacancha, para la Compañía Minera Antamina.

## **1.2. Descripción de la empresa**

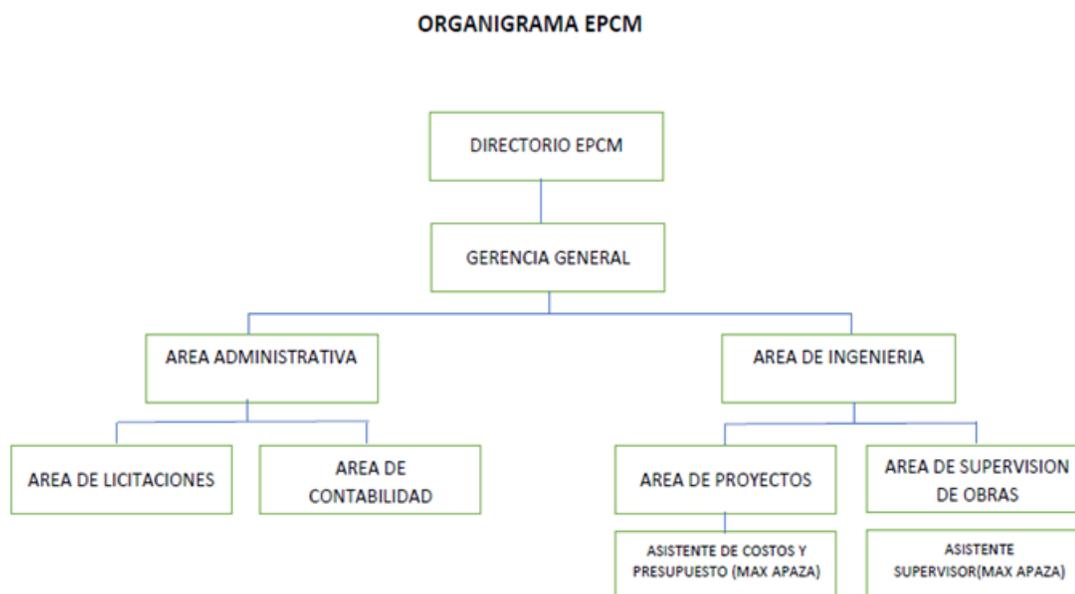
La empresa donde laboro EPCM CONSULTING S.A.C. es una empresa de ingeniería civil especializada en la elaboración de estudios, diseños y desarrollo de ingeniería, supervisión de estudios y obras de infraestructura vial.

### 1.3. Organigrama de la Empresa

En la figura 1 se muestra el organigrama de la empresa donde me desempeñe a lo largo de este tiempo como bachiller de Ingeniería civil.

#### Figura 1

*Organigrama de la empresa*



*Nota.* Elaboración propia.

### 1.4. Áreas y funciones desempeñadas

#### 1.4.1. *Epcm consulting – Área de proyectos*

##### 1.4.1.1. Asistente de Costos y Presupuestos.

Elaboración de planos de todas las especialidades de los proyectos. Memoria descriptiva, resumen ejecutivo.

Elaboración de especificaciones técnicas generales.

Cálculo de metrados de obras y base de cálculos.

Elaboración de Análisis de precios unitarios, gastos generales, fórmula polinómica.

Uso de Software S10 para la preparación de los presupuestos de obras.

Programación de obra con MS Project.

Elaboración de cronogramas valorizados de obra, materiales y equipos.

#### **1.4.1.2. Epcm consulting – Área de supervisión de obras**

Asistente Supervisor de Obras de Carreteras.

- Inspección y verificación de herramientas de seguridad previos a los trabajos de campo.
- Supervisión y control del correcto proceso constructivo según las especificaciones técnicas del proyecto.
- Supervisión de los ensayos de calidad del proyecto.
- Asistir en la revisión de documentación y herramientas de seguridad según los estándares de la Compañía Minera Antamina.
- Asistencia en Oficina Técnica.

## II. DESCRIPCIÓN DE UNA TAREA ESPECÍFICA

Para el desarrollo del presente informe de suficiencia profesional el bachiller Apaza Navarro Max Arturo, describirá las principales características, problemáticas surgidas y planteamiento de propuestas para viabilizar la ejecución del proyecto denominado “Mantenimiento periódico de la Carretera Conococha Yanacancha”.

La carretera Conococha-Yanacancha está ubicada en el departamento de Ancash, a una altitud entre los 3700 a 4200 m.s.n.m. Mediante un convenio entre el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en octubre del año 2000 y la Compañía Minera Antamina-CMA, es que se ejecutan los trabajos para mantener los niveles de servicios aceptables y buen estado de la vía mediante los trabajos necesarios para su conservación periódicamente.

La construcción de esta carretera se inició en los años de 1999, siendo entregada oficialmente al MTC en el año 2002. Es en este contexto donde la CMA necesita los servicios de una empresa consultora para definir el tipo de intervención que se hará en distintas etapas de la vida útil del proyecto mencionado, siendo EPCM CONSULTING, la encargada de la elaboración de la propuesta a nivel de ingeniería.

En el informe de suficiencia profesional, se plantea la metodología denominada “Serviciabilidad-Falla-Condición estructural”-SEFACE para la evaluación del pavimento en la carretera de estudio, y conocer la intervención necesaria. Esta metodología integra los conceptos de evaluación funcional, superficial y condición estructural de una carretera, obteniéndose un índice global de condición para la evaluación de carreteras, dándonos como resultados una alternativa de intervención para el mejoramiento de la transitabilidad y serviciabilidad en la vía.

## **2.1. Descripción del problema**

Los pavimentos flexibles al ser una opción más óptima y económica de construcción frente a otro tipo de pavimentos como los de tipo rígidos, necesitan intervenciones para preservar su vida útil.

Las vías nacionales, departamentales o vecinales no poseen un plan de ejecución actualizado y orientado a la conservación de la transitabilidad y serviciabilidad de nuestras vías a nivel nacional. No existe un inventario de nuestras redes de carreteras, ni se ha procesado actualizaciones de los inventarios viales teniendo en consideración su situación actual a niveles de servicio óptimo.

La gestión vial en cuanto al mantenimiento de nuestras vías, delegadas a los Gobiernos Regionales y municipales, son escasos, y el resultado de esto son malas inversiones, con mantenimientos de poca durabilidad y expedientes fuera de plazo.

En nuestra carretera de estudio, la carretera Conococha Yanacancha, el flujo vehicular pesado en especial, hace que la rodadura de la vía asfaltada disminuya sus capacidades estructurales, presentando fallas como agrietamientos o desprendimiento de agregados.

El factor climático en la temporada de lluvias, puede ocasionar diversos daños a la capacidad estructural de la vía, siendo una de las causas predeterminantes de deterioro ya que, por lo general, al iniciar en los meses de octubre hasta febrero, dificulta los trabajos rutinarios o periódicos que puedan efectuarse. Todo esto hace que las fallas de tipo superficial o estructural vaya acentuándose más provocando un desgaste en los niveles de operatividad en la vía.

Es por ello que se plantea una evaluación global para una adecuada estimación a la vía y definir el tipo de intervenciones a realizar a la carretera para mantener los niveles de servicio adecuados.

## **2.2. Objetivos**

Para el presente informe de suficiencia profesional se presenta los siguientes objetivos.

### **2.2.1. *Objetivo General***

Aplicar la propuesta metodológica para la evaluación integral del pavimento flexible en la carretera Conococha Yanacancha.

### **2.2.2. *Objetivos Específicos***

Determinar los valores de calificación para la evaluación funcional del pavimento flexible.

Determinar los valores de calificación para la evaluación superficial del pavimento flexible.

Identificar los valores de calificación para la evaluación estructural del pavimento flexible.

Determinar los valores de calificación (índice global) de la evaluación del pavimento para definir el tipo de intervención a realizar.

## **2.3. Justificación**

Hoy en día no existe un inventario vial del estado situacional de nuestras vías que detalle las intervenciones necesarias, para mantener los niveles operativos de una carretera a lo largo de toda la Red Vial Nacional, Departamental o Local. Tampoco, en nuestra

carretera de estudio, no se ha llevado a cabo una evaluación integradora que permita definir los trabajos necesarios para mejorar la serviciabilidad de la vía.

El propósito del presente informe es proponer una metodología de análisis para las evaluaciones de los pavimentos flexibles. Una evaluación mediante la metodología SEFACE permitirá integrar las condiciones de serviciabilidad, falla y condición estructural necesarias para brindar una correcta calificación e intervención en nuestra vía de estudio.

#### **2.4. Limitaciones**

En el presente informe, se tuvieron las siguientes limitaciones:

Las condiciones meteorológicas, tormentas eléctricas y lluvias, limitan el desarrollo del trabajo, principalmente en las actividades de recolección de datos.

Las limitaciones de acceso a la zona de trabajo, debido a la problemática social entre las comunidades y la Compañía Minera, impidió que se realice una toma de datos más precisa.

#### **2.5. Hipótesis**

Las hipótesis para el presente informe de suficiencia profesional se detallan a continuación.

##### ***2.5.1. Hipótesis general***

Al aplicar la propuesta metodológica para los pavimentos flexibles, se conoce la evaluación integral de la Carretera Conococha Yanacancha y se determina la intervención óptima a realizar.

##### ***2.5.2. Hipótesis específica***

Al identificar el valor del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI), se conoce la condición funcional del pavimento.

Al identificar los valores del Índice de Condición del Pavimento (PCI) se conoce la condición situacional del pavimento.

Al identificar el Índice de capacidad estructural se determina la condición estructural de la carretera.

## **2.6. Marco Teórico**

### **2.6.1. Antecedentes**

**2.6.1.1. Antecedentes nacionales.** Según Gutiérrez (2016) establece técnicas para la condición de la evaluación funcional y superficial del pavimento. El método determina el índice de la condición del pavimento (PCI) mediante relevamientos. Para la evaluación estructural se propone los ensayos no destructivos y métodos empíricos matemáticos, donde se propone estrategias de refuerzo correlacionando valores de deflexión admisible, deflexión característica (condición crítica) y el PCI.

El Ente sectorial del MTC a través del Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial (2018) establece los procedimientos, materiales y equipos para la conservación de las vías a nivel Nacional.

Ramos (2021), realiza una evaluación estructural y superficial en su vía de estudio. Utiliza los métodos PCI, relevamiento de campo para su evaluación superficial obteniendo valores irregulares. Para su evaluación estructural se obtuvo valores admisibles. Se resalta que en base a estos dos tipos de condiciones se propone un mantenimiento con refuerzo asfáltico. Esta intervención es una propuesta de diseño general que no posee un sustento técnico mayor.

Para Montoya (2013), realiza una evaluación funcional, agrupando los conceptos del IRI y los márgenes de errores en el control de este parámetro. Se resalta la importancia

del control de la rugosidad, ya que es un parámetro que define la serviciabilidad de los pavimentos flexibles tanto en el proceso constructivo como en estudios para Mantenimientos.

**2.6.1.2. Antecedentes internacionales.** Los parámetros para la evaluación funcional, la obtención del PSI se sustenta en AASHTO (1993). Según el The Highway Design and Maintenance Standards Model (1987). Se realizaron estudios acerca del IRI y PSI, encontrándose una correlación, datos que se usan actualmente para la determinación de la serviciabilidad en las vías.

El centro de Investigaciones de la fuerza Área de los Estados Unidos en 1974, propone el relevamiento como un medio de control a los pavimentos rígidos y flexibles en su dominio. Estas investigaciones fueron estandarizadas por el ASTM D6433-99, siguiendo el proceso de relevamiento y recopilación de medición de fallas.

Para el cálculo de deflexiones en la condición estructural del pavimento la ASTM-D4695-03 y D4694-96 estandariza una guía del uso de ensayos no destructivos, aplicando la medición de deflexiones para pavimentos flexibles y rígidos. Estos ensayos facilitan el procesamiento de datos para conocer los parámetros necesarios para el cálculo de la condición estructural.

Orosco (2016) hizo una recopilación de diversos criterios teóricos de evaluación de pavimentos, al cual lo denomino metodología “SEFACE”, teniendo como problemática principal la falta de inventarios viales con intervención a tramos críticos de carreteras principales en una red Vial. Es conveniente señalar que esta propuesta no fue aplicada o validada en un tramo vial.

## 2.6.2. Bases teóricas sobre la investigación

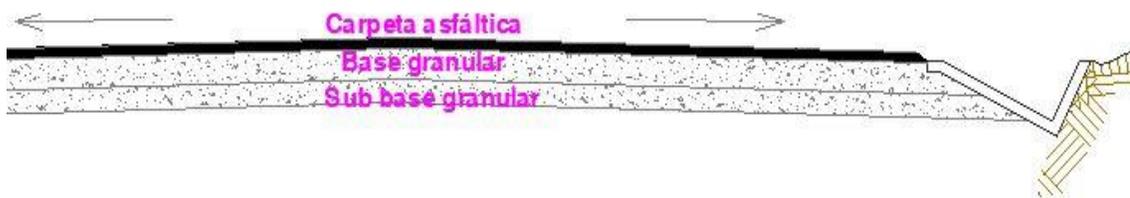
**2.6.2.1. Pavimentos.** Es una composición de capas de superficie estructural que tiene la finalidad de distribuir las cargas transmitidas por el flujo vehicular. Tiene el principal objetivo de brindar seguridad y confort en toda su superficie.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2002), los pavimentos son una estructura construida sobre una subrasante, con la finalidad de distribuir grandes esfuerzos transmitidos por vehículos, que por lo general está conformada por una sub base, base y capa de rodadura. (p.4).

La composición básica de los pavimentos viene dada por dos capas iniciales denominada sub base y base granular, que brindan una mayor resistencia a nuestra composición estructural y sirve de apoyo a la capa final denominada carpeta asfáltica o también concreto hidráulico, como se muestra en la figura 2.

### Figura 2

*Sección transversal del pavimento*



*Nota.* Elaboración propia.

**2.6.2.2. Tipos de Pavimento.** El pavimento posee distintos tipos de composición, que han sido diseñadas con el objetivo de mejorar la transitabilidad. Tradicionalmente, se clasifica en pavimentos flexibles rígidos y un tipo de pavimento denominado semi rígido.

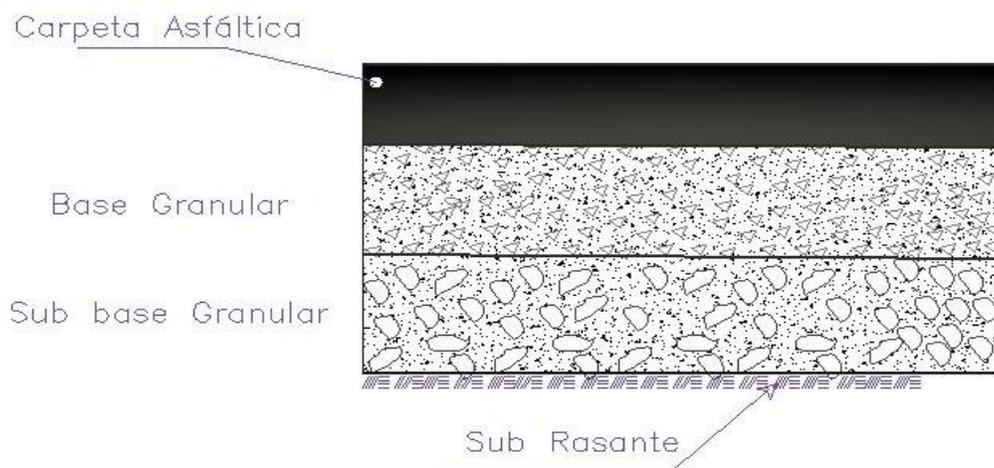
**A. Pavimento flexible.** Denominados también pavimentos asfálticos, son aquellos compuestos por materiales granulares y asfálticos cuya función es soportar y distribuir las cargas dinámicas de tránsito.

Es la alternativa de construcción más utilizada en nuestras vías a nivel nacional por sus bajos costos de construcción. Está diseñado para un periodo de tiempo determinado, que en general, suele ser 10 años.

Los pavimentos flexibles se componen generalmente de sub base granular, base granular y carpeta asfáltica, como muestra la figura 3.

### Figura 3

#### *Estructura de pavimento flexible*



*Nota.* Elaboración propia.

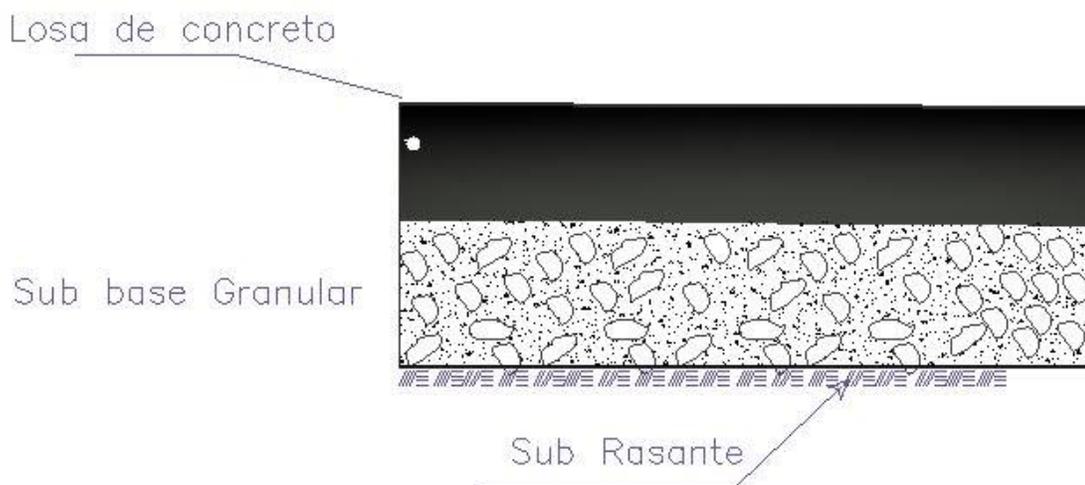
**B. Pavimento Rígido.** Son denominados así por tener losas de concreto. Esta losa absorbe mayormente los esfuerzos producidos por las cargas de tránsito, transmitiendo a las demás capas, menores cargas. Al tener mayores costos en el proceso de análisis, no suele ser considerado como una alternativa de construcción, pero en la etapa de post

inversión los costos de mantenimiento son menores pues el periodo de vida útil generalmente suele variar entre los 20 a 30 años.

Los pavimentos rígidos se componen de una sub base y una losa de concreto, como lo muestra la figura 4.

#### **Figura 4**

##### *Estructura del pavimento rígido*

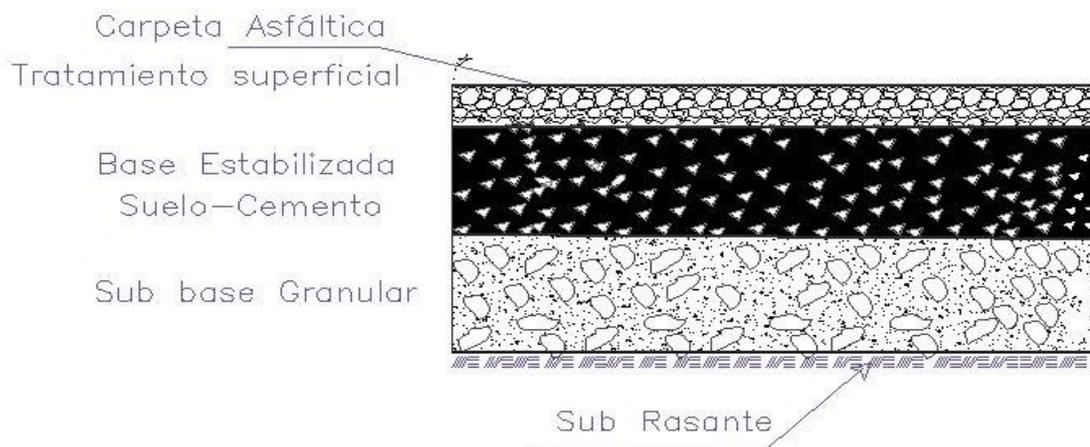


*Nota.* Elaboración propia.

**C. Pavimento semi rígido.** Son aquellos pavimentos mixtos, denominados así por tener una base o sub base modificado con una composición de cemento portland y una capa final de tratamiento superficial o carpeta asfáltica. En la figura 5 se puede apreciar la estructura de los pavimentos semirrígidos, resaltando la alteración de la base, conformándose una nueva base estabilizada, con procesos de asfalto espumado u otra composición.

**Figura 5**

*Estructura del pavimento semi rígido.*



*Nota.* Elaboración Propia.

**2.6.2.3. Evaluación de pavimentos.** Los pavimentos, sean flexibles o rígidos, a lo largo de su vida útil deberá ser evaluado con el principal objetivo de realizar un mantenimiento periódico, o de ser necesario una rehabilitación para recuperar los niveles de servicio necesarios. Para esta labor existen numerosos equipos que se usan a fin de conocer los diagnósticos de acorde al tipo de evaluación que se de en el tramo de una carretera a estudiar.

Es muy importante también, conocer la ubicación y georreferenciación de las zonas de estudio, porque estas permitirán su integración a los artículos complementarios en las obras viales, como son las obras de arte (cunetas, badenes, etc.) y demás elementos de señalización y complementarios de la carretera.

En la evaluación de pavimentos, cabe destacar también, la importancia de las fallas que se presentan en los pavimentos y que son de vital importancia para determinar el estado en que se encuentra una vía. Hay diferentes tipos de fallas según el tipo de pavimento.

Las fallas en los pavimentos rígidos son generalmente fallas en juntas, agrietamientos, depresiones.

Las fallas en los pavimentos flexibles, serán de mayor importancia que los de tipo rígido, porque nuestra metodología se basa precisamente en ella.

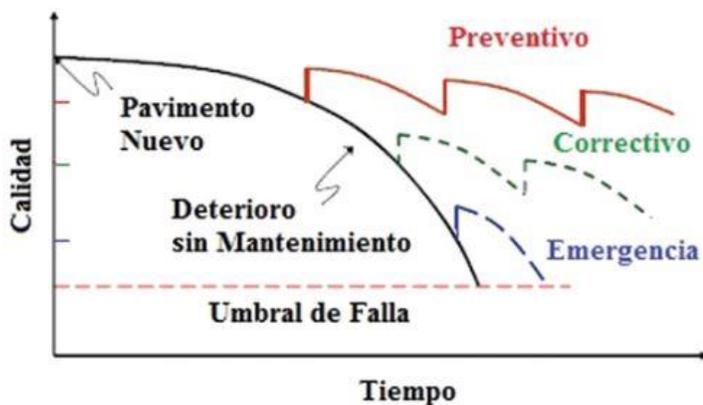
Existen fallas por deformación que “la deformación en la superficie del pavimento se suele manifestar como ahuellamientos, los cuales se localizan en la zona de las huellas de tráfico” (Menéndez, 2016, p.172).

También están las fallas más comunes, las fallas de tipo agrietamiento (piel de cocodrilo, fisuras, etc.). Fallas de tipo superficial (parches, baches, desprendimiento).

Las causas de estas fallas superficiales pueden ser porque la vía llegó a un punto de servicio máximo (tráfico elevado), factores climáticos (temporadas de lluvias); para ello rescato la importancia de las evaluaciones superficiales que, en la actualidad, se realiza para el análisis del Mantenimiento de nuestras vías.

En la figura 6, se puede observar la vida útil de un pavimento. De no realizarse una intervención preventiva la línea de vida caerá en un umbral de falla, disminuyendo la vida útil o duración. La importancia de los mantenimientos en su etapa óptima, hace que el costo de estos sea menor y se prolongue el tiempo de vida útil. Siguiendo este análisis los pavimentos pueden durar 5 años o incluso más, depende del tipo de intervención que se realiza, prolongados y manteniendo los niveles óptimos de transitabilidad y confort de los pavimentos.

Para el empleo de nuestra metodología de estudio debemos conocer tres evaluaciones de pavimentos, siendo en la actualidad, los más usados en los análisis de los Estudios definitivos para el correcto Mantenimiento en nuestras vías a nivel nacional

**Figura 6***Ciclo de vida de un pavimento*

*Nota.* Tomado de Flintsch, G. (2015). *Comparación de los costos del ciclo de vida de tres alternativas de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos*. Recuperado de <https://revistavial.com/comparacion-de-los-costos-del-ciclo-de-vida-de-tres-alternativas-de-mantenimiento-y-rehabilitacion-de-pavimentos/>.

**A. Evaluación Funcional.** Para la evaluación funcional del pavimento de los pavimentos flexibles es importante asociar a este tipo de evaluación a la rugosidad, en pocas palabras al IRI (índice de rugosidad internacional), término que se asocia al estado funcional de una vía mediante sus diferentes métodos de valor. El IRI fue un experimento realizado en Brasil en los años de 1982 bajo supervisión de un programa del Banco Mundial.

Sabemos que una vía tiene como función mantener sus servicios de confort y seguridad a lo largo de todo su trayecto, pero esta condición a medida que la vida útil de una carretera avanza, también aumenta los niveles de irregularidad en la rodadura de la

carpeta asfáltica. Para medir estas irregularidades en la carretera es importante conocer el significado propio del IRI.

Según Menéndez (2016) el IRI es un promedio de la pendiente, calculado con datos estadísticos según las elevaciones del perfil absoluto medidos a lo largo del tramo de estudio en la carretera. Sus unidades están expresadas en m/km o en mm/m reportándose al décimo de unidad.

Entonces podemos definir al IRI como el grado de confort, como una medida de la serviciabilidad de una carretera.

Los valores del IRI en una vía recién construida tienden a aumentar sus niveles iniciales al estar en servicio, debido a factores como el alto tránsito de la vía o falta de intervenciones. Todo eso hará que se eleve el IRI, esto quiere decir que a mayor tiempo en la vida útil de una carretera aumentarán su IRI, que da como resultado mayores irregularidades a lo largo de una vía.

El IRI se mide a través de equipos convencionales como el rugosímetro de Merlín, equipos avanzados como el perfilómetro láser y otros. La medición más exacta para efectos de estudios es mediante los perfilómetros láser, porque al tener vías de kilómetros de estudios resulta un mayor rendimiento realizar estas mediciones a través de un vehículo, que a su vez lleva montado en la parte delantera, generalmente, unos sensores que miden el desplazamiento vertical entre el vehículo y la superficie de rodadura (pavimento), aumentando el rendimiento, a diferencia del uso de un rugosímetro de Merlín. En la figura 7, se aprecia la puesta en marcha del equipo mencionado, tomando las medidas del IRI a lo largo del tramo de la carretera. La clasificación del IRI es el resultado de este tipo de evaluaciones, que se reflejan en la tabla 1.

**Tabla 1***Calificación del IRI*

<b>IRI</b>	<b>ESTADO</b>
<3	Bueno
3-4	Regular
4-6	Malo
6-10	Pésimo

*Nota.* Adaptada de “AASHTO, 1993, Design of Pavement Structures

Otro término importante a mencionar es la serviciabilidad, que se define como la capacidad de uso que se tiene la vía al tránsito de todo tipo de vehículos.

**Figura 7***Perfilómetro Laser*

*Nota.* Tomado del Estudio de Suelos y Pavimentos (p.35), por la empresa EPCM CONSULTING S.A.C., 2020, Estudio Definitivo del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha Yanacancha.

Históricamente este concepto fue empleado por la A.A.S.H.O. Road Test,

Según el Banco Mundial (1986) la determinación analítica del factor de serviciabilidad “es una expresión que guarda relación con el IRI, de acuerdo a los experimentos de rugosidad internacional realizados en Brasil el año de 1982” (p.159).

Según estos estudios realizados el PSI (Present Serviceability Index), denominado también El índice de serviciabilidad del Pavimento, que es de vital importancia para nuestra metodología de estudio, guarda una relación con el IRI, y se tiene la siguiente expresión:

$$PSI = \frac{5}{e^{\frac{IRI}{5.5}}} \quad (1)$$

Donde, el parámetro PSI representa el valor del Pavement Serviceability Index y el IRI representa el valor del Índice de Rugosidad Internacional.

La valoración del PSI está representada con un valor máximo de 5, que indica niveles excelentes a nivel de serviciabilidad. El 1 significa que una carretera posee una condición funcional mala, que por lo general no suele llegar a ese número, ya que las intervenciones suelen reflejar un PSI de un valor mínimo de 2.

La tabla 2 nos resume los índices de serviciabilidad y su respectiva calificación, según la relación IRI-PSI descrita en la ecuación 1.

Cabe resaltar que la relación de los parámetros IRI y PSI Adaptado de The International Road Roughness Experiment WBTP 45.

**Tabla 2***Valores del PSI y calificación*

<b>Índice de Serviciabilidad (PSI)</b>	<b>Calificación</b>
5-4	Muy Buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Mala
1-0	Muy mala

Nota. Elaboración propia.

**B. Evaluación Superficial.** Para la evaluación Superficial de pavimentos se realiza un inventario de fallas mediante recorridos a lo largo de todo el tramo de la carretera a estudiar. El Índice de Condición del Pavimento (Pavement Condition Index), es el método de evaluación superficial más utilizado por ser la más completa, fácil de aplicar y no requiere herramientas avanzadas como equipos de medición o algún tipo de sistema especializado.

Esta metodología nace como un análisis de Ingeniería para el mantenimiento de los pavimentos flexibles y rígidos por el ejército de los Estados Unidos de América, específicamente el centro de Ingeniería de su Fuerza Área, implementada en los años de 1974 a 1976, aproximadamente.

El método PCI, posteriormente fue estandarizado por el ASTM D6433-99, siendo el método más usado en nuestro país para el estudio de mantenimiento de nuestras vías.

El método consiste en realizar un recorrido visual, donde se apuntará todo tipo de fallas a lo largo de un tramo de carretera, aproximadamente estas áreas de análisis oscilan entre los 140 m<sup>2</sup> a 325 m<sup>2</sup>, pero generalmente suele utilizarse un área promedio de 231 +- 93.0 m<sup>2</sup>, esto dependerá del ancho de la carretera. Por ejemplo, en un ancho de 5 m de calzada puede utilizarse 50 m de longitud de muestreo, siendo 250 m<sup>2</sup> de área a estudiar, que, según nuestro rango promedio, es válido.

Para esta evaluación, el método PCI sugiere realizar el 100% de todo el tramo de la carretera de estudio con un determinado lote de muestreo, que se determina con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2} \quad ( 2 )$$

Donde “N” es el número total de unidades de muestra. El valor “e” es el error permisible en determinación del PCI, y por último “σ” es la desviación estándar del valor PCI (Se recomienda usar σ=10, inicialmente).

La recopilación de datos del relevamiento se anota en el formato según la figura 8.

**Figura 8***Formato de recolección de datos*

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433 (2003)												
SECCION			PROGRESIVA INICIAL			UNIDAD DE MUESTREO						
CARRIL			PROGRESIVA FINAL			AREA DE MUESTREO						
INSPECCIONADO POR						FECHA						
DAÑOS												
1. Piel de cocodrilo				7. Grieta de borde				13. Huecos				
2. Exudación				8. Grieta de reflexión de juntas				14. Cruce de vía ferrea				
3. Agrietamiento en bloque				9. Desnivel carril / berma				15. Ahuellamiento				
4. Abultamientos y hundimientos				10. Grietas longitudinales y transversales				16. Desplazamiento				
5. Corrugación				11. Parqueo				17. Grieta parabólica (slippage)				
6. Depresión				12. Pulimento de agregados				18. Hinchamiento				
								19. Desprendimiento de agregados				
DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDAD								TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO

*Nota.* Donde los tres niveles de severidad son el de tipo low (L), médium (M) y high (H).

El tipo de fallas descrito en la hoja de registro son descritos en la tabla 03.

**Tabla 3***Tipo de fallas y unidad de medida*

Tipo de falla	Unidad
Piel de cocodrilo	m <sup>2</sup>
Exudación	m <sup>2</sup>
Fisuras de bloque	m <sup>2</sup>
Abultamientos y hundimientos	m
Corrugación	m <sup>2</sup>
Depresión	m <sup>2</sup>
Fisura de borde	m
Fisura de reflexión de junta	m
Desnivel de carril	m

Fisuras longitudinales y transversales	m
Parches y parches de cortes utilitarios	m <sup>2</sup>
Agregado pulido	m <sup>2</sup>
Baches	u
Ahuellamiento	m <sup>2</sup>
Fisura parabólica o por deslizamiento	m <sup>2</sup>
Peladura por Intemperismo y desprendimiento de agregados	m <sup>2</sup>

*Nota.* Diferentes tipos de falla y su unidad, según ASTM D 6433-03.

Una vez recopilada toda la información de campo, se procede a calcular el PCI.

Para determinar el número máximo admisible de valores deducidos (m) se utiliza la ecuación 3, para el cálculo de valores admisibles.

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right)X(100 - HDV) \leq 10 \quad (3)$$

*Nota.* Se considera a “m” como número máximo admisible de valores deducidos incluyendo fracciones (debe ser menor o igual a diez); y HDV como mayor valor deducido individual para la unidad de muestra.

Una vez determinado los valores admisibles se procede a rellenar los datos siguientes según el formato como lo muestra la figura 9.

### Figura 9

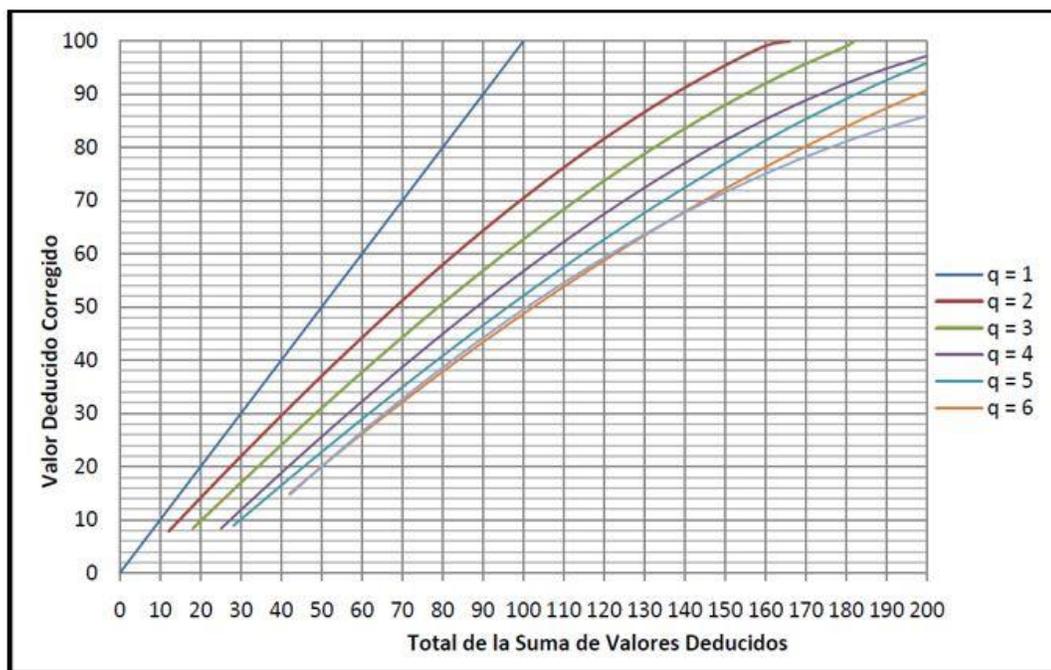
Formato de cálculo de CDV

PAVEMENT CONDITION INDEX												
FORMATO PARA LA OBTENCIÓN DEL MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO												
No.	Valores Deducidos									Total	q	CDV
1												
2												
3												
4												

El CDV se determinará de acuerdo al valor de “q”, el valor de CDV será la intersección entre la suma total de valores deducidos y el valor de “q”; según la figura 10.

### Figura 10

Tabla de corrección de CDV



Nota. Los valores se intersecan, dando como resultado los valores deducidos corregidos.

Este método de cálculo de PCI para evaluaciones superficiales resulta ser sencillo y práctico.

Finalmente se puede asociar los valores de PCI, promediándose de acuerdo a la sectorización realiza. De acuerdo a los valores obtenidos se obtiene los resultados como lo indica la figura 11.

### Figura 11

*Tabla de calificación de PCI*

Rango PCI %	Color	Estado
0 - 10		Falla
11 - 25		Muy Malo
26 - 40		Malo
41 - 55		Regular
56 - 70		Bueno
71 - 85		Muy Bueno
86 - 100		Excelente

*Nota.* Elaboración propia. Los colores están asociados al grado de estado según los valores de PCI resultantes, siendo gris un estado de falla y verde un estado óptimo.

**C. Evaluación Estructural.** Por último, para la evaluación estructural es necesario saber, que la capacidad del pavimento es de soportar las grandes cargas producidas por el tránsito. A medida que el tiempo transcurre la capacidad estructural de un pavimento disminuye, por lo cual los mantenimientos futuros, en el proceso de diseño, trabajara con una capacidad estructural requerida a un futuro, denominándose este coeficiente como valor estructural efectivo (SNef).

La condición estructural del pavimento para efectos de nuestros estudios dependerá de un coeficiente denominado Índice de Condición Estructural, que resulta de la división

entre el coeficiente estructural efectivo entre el coeficiente estructural requerido. El ICE esta expresado en porcentaje.

Entonces para determinar el coeficiente estructural efectivo (SNef), existen diversos métodos de cálculo, como, por ejemplo, el AASHTO, 1993. Emplear el método AASHTO tiene una desventaja, pues para el cálculo es necesario conocer el espesor de la base, lo que sería posible mediante un ensayo destructivo,

En la actualidad, para la medición en este tipo de evaluaciones existen métodos no destructivos que ofrecen una mejor recolección de datos, porque se apoya en nuevas metodologías y uso de herramientas más precisas como programas digitales. Entre los diferentes tipos de ensayos esta la utilización del deflectómetro de impacto o FWD, que proviene de las siglas en inglés Falling Weight Deflectometer.

Para el uso deflectómetro de impacto FWD se coloca este equipo en un vehículo o también puede ser conectado y remolcado. Este equipo posee diez sensores, denominados geófonos, colocados en la parte central y distanciadas del plato desde el centro del recipiente o plato de carga. Entonces, al iniciar el recorrido en la superficie los geófonos detectan las deflexiones a lo largo del tramo al aplicar la carga dinámica.

En la figura 12 se observa el equipo utilizado para la medición de las deflexiones. Se aprecia que el equipo es auto transportado.

## Figura 12

### *Deflectómetro de impacto FWD*



*Nota.* Básicamente, lo que haremos es encontrar el módulo resiliente y el número estructural efectivo aplicando el método YONOPAVE.

Según Del Águila (2022) la metodología se basa en interpretar la forma del cuenco de deflexiones tomando la capacidad portante del pavimento.

Para conocer el S<sub>Nef</sub>, aplicamos la siguiente fórmula de acorde al método descrito.

$$S_{Nef} = 0.0182 * l_0 \sqrt[3]{M_{rr}} \quad (4)$$

La longitud característica es  $l_0$  y  $M_{rr}$  es el módulo resiliente.

Ahora determinaremos el valor del AREA, que es el área del cuenco expresado en pulgadas, mediante la siguiente ecuación.

$$AREA = 6 \left[ 1 + 2 \frac{D_{30}}{D_0} + 2 \frac{D_{60}}{D_0} + \frac{D_{90}}{D_0} \right] \quad (5)$$

Donde  $D_0, D_{30}, D_{60}$  y  $D_{90}$ , son las deflexiones expresadas en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), equivalentes a 0.001 mm; a distancia del centro del plato de 0, 30, 60 y 90 cm.

Después hallaremos el valor de  $l_0$ .

Según Guzmán (2009) la metodología YONOPAVE expresa la longitud característica y el área del cuenco de deflexión. En la siguiente fórmula se aprecia el cálculo correspondiente.

$$l_0 = Ae^{B.AREA} \quad (6)$$

Los valores para los términos “B” y “A”, se detalla en la tabla 04. Luego, una vez hallado la longitud característica calculamos ahora el Módulo resiliente, que se expresa en la fórmula 7.

$$M_{rr} = m * \frac{P}{D_0} \quad (7)$$

El valor de P es la carga sometida.

**Tabla 4**

Coeficientes de ajuste de curva para determinar la longitud efectiva

Rango de valores de área (pulgadas)	h/l <sub>0</sub>	A	B	m	n
Mayor o igual a 23	5	3.275	0.1039	926.9	-0.8595
Mayor o igual a 21 y menor que 23	10	3.691	0.0948	1152.1	-0.8782
Mayor o igual a 19 y menor que 21	20	2.800	0.1044	1277.6	-0.8867
Menor que 19	40	2.371	0.1096	1344.2	-0.8945

*Nota.* Para el cálculo del Coeficiente estructural requerido a futuro (SNreq), se usa la siguiente fórmula según la ecuación 8.

Según el método AASHTO 93, mediante la ecuación número 8, se calcula el número estructural requerido, o también denominado número estructural a futuro.

$$\text{Log } N = Z_R \times S_o + 9,36 \times \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log \times \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log M_R - 8,07 \quad (8)$$

Para la determinación del número estructural requerido o a futuro, usaremos la fórmula AASHTO 93, que está sujeto a los siguientes parámetros.

La confiabilidad (R%), será calculada según la tabla 5.

### Tabla 5

*Tabla de Confiabilidad según tipo de vía*

<b>Tipos de camino</b>	<b>Zonas Urbanas</b>	<b>Zonas Rurales</b>
Interestatales y vías rápidas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectores	80-95	75-95
Caminos vecinales	50-80	50-80

*Nota.* Elaboración propia. Tomado de Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

El siguiente parámetro, la desviación estándar, se calculó según la tabla 6.

**Tabla 6***Tabla de confiabilidad Desviación Estándar*

<b>Confiabilidad</b>	<b>Desviación estándar (Zr)</b>
50	0
60	-0.253
70	-0.524
80	-0.841
90	-1.282

*Nota.* Tomado de Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

El tráfico se calcula en apoyo del estudio de tráfico, que por lo general el diseño varía entre los 5 y 10 años. Para calcular la variación de serviciabilidad generalmente se considera un valor de serviciabilidad inicial de 4 y un nivel de serviciabilidad final de 2, considerando una variación de 2.

**2.6.2.4. Intervenciones a los pavimentos.** Son actividades necesarias aplicado en tramos parciales o totales en el pavimento, para mantener, o recuperar los niveles de servicio y transitabilidad en una vía.

**A. Recapeo.** La actividad consiste en colocar una mezcla asfáltica en caliente o frío, con un espesor superior a los 5 cm sobre la capa de rodadura existente.

**B. Reciclado.** Es una técnica de mantenimiento de pavimentos, consiste en reutilizar la rodadura existente, triturándola y combinándola con una composición de cemento y asfalto para generar una nueva base estabilizada. Es una alternativa económica

y amigable con el medio ambiente porque convierte al pavimento existente en un elemento reutilizable.

**C. *Tratamientos superficiales.*** Los tratamientos superficiales sirven de protección a una base o sub base estabilizada. Suelen ser de una monocapa (una capa de agregado), bicapa (dos capas de agregado) o tricapa (tres capas de agregado).

**D. *Fresado.*** Consiste en retirar la capa desgastada del pavimento existente. Después se coloca una nueva capa de rodadura siguiendo los procesos de su diseño.

**2.6.2.5. Propuesta Metodológica para la evaluación de pavimentos flexibles.** El SEFACE proviene de la abreviatura derivada de tres palabras claves para esta metodología. La Serviciabilidad (SE) que está sujeta la evaluación funcional del pavimento, expresada en valor numérico a través del PSI (Present Serviceability Index), que a su vez lo determinamos con el cálculo del IRI.

La evaluación superficial, a lo largo de un tramo de estudio, determinará toda la condición falla (FA), que está expresada en valores del PCI (Pavement Condition Index), descrito y clasificado anteriormente.

Por último, la evaluación estructural determinará la condición estructural (CE), expresado en valor mediante el código ICE (Índice de Condición Estructural) que proviene de la división del coeficiente estructural efectivo, entre el requerido.

**Tabla 7***Medición de la propuesta metodológica SEFACE*

<b>MÉTODO SEFACE</b>		
<b>Tipo de evaluación</b>	<b>Condición</b>	<b>Parámetro de medición</b>
Evaluación Funcional	Serviciabilidad	PSI
Evaluación Superficial	Falla	PCI
Evaluación Estructural	Condición Estructural	ICE (%)

*Nota.* Elaboración propia.

La metodología SEFACE entonces se define como un método para evaluar los pavimentos flexibles integrando los tres tipos de evaluación descritas líneas arriba. Todas las fórmulas y cálculo que hemos presentado, en los distintos tipos de evaluaciones para la aplicación del método, ayudaran a la integración de un parámetro, un índice único y global, o también, la podemos denominar como una codificación, que de acuerdo a ello se podrá establecer la intervención necesaria a realizar en los trabajos de mantenimiento o rehabilitación en los diferentes tramos de una vía a de estudio.

Luego procedemos a determinar el IMDA (Índice Medio Diario Anual). Nos apoyamos en los estudios de Trafico realizados. El IMDA es un factor expresado en vehículos por día, que nos ayuda a tener un dato exacto del tránsito vehicular existente en la zona.

Para determinar la codificación debemos realizar las tres evaluaciones indicadas. Al obtener los valores generales o por tramos procedemos a ubicar dichos parámetros según la figura 13.

La codificación 1, mostrada en color rojo, hace referencia a una condición de estado grave. La codificación 2, en amarillo, simboliza un estado medio de condición o regulares;

donde detalla falencias en el estado estructural, superficial o condicional de una vía de estudio, que requerirán una intervención específica a fin de no disminuir los niveles de servicio y confort de la vía. Por último, la codificación 3 en color verde, significa un estado bueno que requerirá menores intervenciones, detallado en la figura 13.

**Figura 13**

Determinación de la *codificación de valores SEFACE*

	VALORES DE SEFACE SEGÚN NIVELES DEL IMDA								
	IMDA < 5000			5000<IMDA <15000			IMDA>15000		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
SE: PSI (Escala 0-5)	<2.5	2.5-3.8	>3.8	<2.8	2.8-4.0	>4.0	<3.0	3.0-4.2	>4.2
FA: PCI (%)	<40	40-60	>60	<45	45-65	>65	<50	50-75	>75
CE: ICE (%)	<80	80-100	>100	<85	85-100	>100	<90	90-100	>100

*Nota.* Elaboración propia.

Finalmente, tendríamos nuestra codificación. Este código integra las condiciones funcionales, superficiales y estructurales que nos permite ahora traducirlos a una intervención necesaria según los tramos de análisis aplicados en las vías de cualquier tipo, sea una Red Nacional, departamental o vecinal; indicadas en la figura 14.

**Figura 14**

*Actividades a realizar en los Mantenimientos de carreteras según SEFACE*

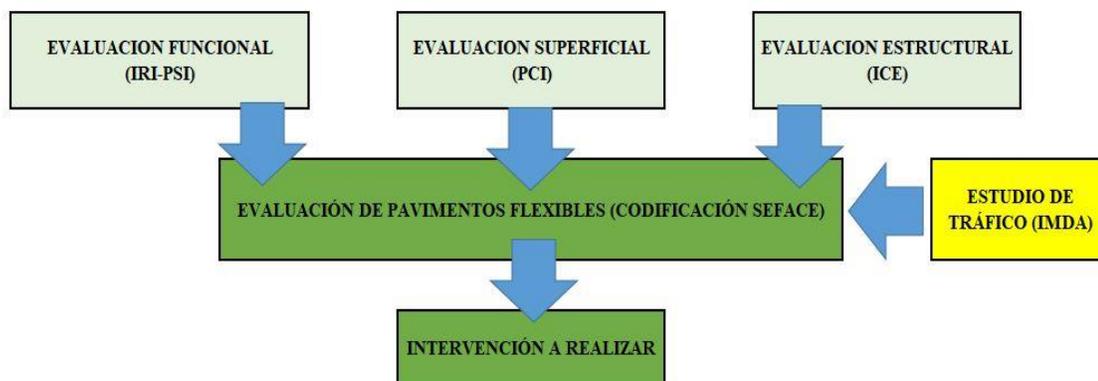
SE	FA	CE	Tipo de intervención
1	1	1	Reciclado Profundo + Recapeo
1	1	2	Fresado + Recapeo
1	1	3	Fresado + Recapeo
1	2	1	Reciclado Profundo + Recapeo
1	2	2	Fresado + Recapeo
1	2	3	Fresado + Recapeo
1	3	1	Reciclado Profundo + Recapeo
1	3	2	Recapeo
1	3	3	Recapeo
2	1	1	Reciclado Profundo + Recapeo
2	1	2	Fresado + Recapeo
2	1	3	Fresado + Recapeo
2	2	1	Fresado + Recapeo
2	2	2	Fresado + Recapeo
2	2	3	Reciclado Profundo + Recapeo
2	3	1	Fresado + Recapeo
2	3	2	Fresado + Recapeo
2	3	3	Reciclado en Caliente + Recapeo
3	1	1	Fresado + Recapeo
3	1	2	Fresado + Recapeo
3	1	3	Reciclado en Caliente + Recapeo
3	2	1	Fresado + Recapeo
3	2	2	Fresado + Recapeo
3	2	3	Tratamiento Superficial
3	3	1	Recapeo
3	3	2	Recapeo
3	3	3	No requiere intervenir

*Nota.* Elaboración propia.

En resumen, nuestra metodología propuesta para evaluación de pavimentos puede estar mejor esquematizada en la figura 15.

**Figura 15**

*Esquematzación de la metodología SEFACE*



*Nota.* Elaboración propia.

## 2.7. Método

### 2.7.1. Tipo de investigación

El método de investigación es de tipo cuantitativo porque se maneja variables medibles. Además, el tipo de estudio es descriptivo, porque se mide datos de forma independiente.

### 2.7.2. *Ámbito espacial y temporal*

El presente informe de suficiencia profesional basa sus trabajos de evaluaciones del pavimento flexible en el proyecto del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha Yanacancha, ubicado a una altitud promedio de 4200 m.s.n.m. Es parte de la red Vial Nacional PE-3N. Tiene una longitud total de 120 kilómetros. Ubicada en los distritos de San Marcos, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash, como lo indica la figura 16.

**Figura 16**

*Ubicación de la Carretera Conococho-Yanacancha*



*Nota.* Elaboración propia.

### 2.7.3. Variables

#### 2.7.3.1. Variable independiente

- Índice de la Serviciabilidad del Pavimento (PSI)
- Índice de la Condición del Pavimento (PCI)
- Índice de la condición Estructural del Pavimento (ICE)

#### 2.7.3.2. Variable dependiente

- Codificación SEFACE.
- Intervención de pavimentos.

#### 2.7.4. Población y muestra

**2.7.4.1. Población.** La población de estudio será el pavimento flexible de la Carretera Conococha-Yanacancha, desde el tramo inicial en Conococha- Dv. Huallanca hasta el tramo final Dv. Huallanca-Yanacancha.

**2.7.4.2. Muestra.** Las evaluaciones al pavimento flexible de la carretera Conococha-Yanacancha se sectorizan de acuerdo a la siguiente tabla.

**Tabla 8**

*Sectorización de la carretera*

<b>SECTOR</b>		
<b>TRAMO</b>	<b>INICIO (KM)</b>	<b>FINAL (KM)</b>
Tramo I	0+000	47+000
Tramo II	47+000	94+000
Tramo III	94+000	109+000
Tramo IV	109+000	117+500

*Nota.* Elaboración propia.

#### 2.7.5. Instrumentos

La instrumentación para la evaluación al pavimento flexible será mediante equipos de medición digital, para las evaluaciones funcionales y estructurales y apuntes con materiales para la recolección de datos mediante relevamientos, para la evaluación superficial.

##### 2.7.5.1. Técnicas y fuentes de recolección

**A. Evaluación superficial.** Se realizará mediante un relevamiento cada 50 metros, a lo largo de la carretera y se utilizará fichas técnicas de registro de campo para la recolección y medición de fallas.

**B. Evaluación funcional.** Se empleará el uso de un equipo especializado que tomará las rugosidades cada 100 m en ambos lados de cada carril.

**C. La evaluación estructural.** Se realizará mediante un equipo especializado que hará mediciones de curva de deflexión o deformaciones del pavimento.

#### **2.7.5.2. Instrumentos y equipos de Ingeniería**

**A. Fichas de campo y odómetro manual.** Para la medición de fallas.

**B. Perfilómetro láser.** Para la medición de la rugosidad, se usará el perfilómetro Dynatest modelo RSP 5051 Marck IV.

**C. Deflectómetro de impacto.** Para el cálculo de la capacidad estructural se usará un deflectómetro de impacto, Falling Weight Deflectometer.

#### **2.7.5.3. Validación de instrumentos**

Los equipos de ingeniería utilizados se encuentran calibrados, bajo las normativas ASTM, AASHTO y Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial.

#### **2.7.6. Procedimientos**

**2.7.6.1. Desarrollo de la condición superficial.** Siguiendo los conceptos de la metodología ASTM 6433, se realiza una inspección de campo en un intervalo de 50 metros, en ambos carriles en todo el tramo de la carretera.

**A. Paso 1.** Se registra los tipos de fallas según el grado de severidad.

**B. Paso 2.** Se realizan las mediciones con un odómetro manual.

**C. Paso 3.** la recopilación de datos del relevamiento

**D. Paso 4.** Se realiza un recorrido de acuerdo a la longitud de muestreo.

**E. Paso 5.** Con la ayuda de un odómetro, un equipo de medición de longitud, se registra el tamaño de muestra.

**F. Paso 6.** Dentro del muestreo, se recolecta información mediante la inspección visual de todo tipo de fallas, teniendo en cuenta el grado de severidad.

La medición se realiza según lo detallado en la descripción de cada falla.

**G. Paso 7.** Una vez recopilado toda la información de campo, se procede a calcular el PCI de la siguiente forma.

- Sumar la cantidad de todos los tipos de fallas, registrar la información.
- Se divide la suma total de cada tipo de fallas, de acuerdo al nivel de severidad, entre el área total de muestreo. Luego se multiplica por 100. Así tendremos la densidad.
- Se determina el valor deducido o factor VD.

**H. Paso 8.** Luego procedemos a calcular el máximo valor deducido corregido o CDV. Estos valores se calculan mediante tablas de calibración, de acuerdo al tipo de falla.

**I. Paso 9.** Si uno o ningún valor deducido individual es mayor a 2, se tomará el valor deducido total y deben seguirse los pasos 14 y 15.

**J. Paso 10.** Crear un listado de valores deducidos de forma descendente.

**K. Paso 11.** Determinar el número máximo admisible de valores deducidos (m).

**L. Paso 12.** El número de valores deducidos individuales se reduce al máximo admisible de valores “m”, incluyendo fracciones. Si tendríamos un valor de  $m = 7.2$ , se considera a 7 como el valor de m, y la diferencia 0.2 se multiplica al último valor deducido.

**M. Paso 13.** Después se deberá realizar iteraciones, según el modelo mostrado en la figura 9, con la finalidad de encontrar el máximo valor deducido corregido (CDV).

*N.* **Paso 14.** Hallamos el total sumando todos los valores deducidos en las filas.

*O.* **Paso 15.** Hallamos “q” y este valor es igual al número total de valores deducidos en fila mayores a 2.

*P.* **Paso 16.** El CDV se determinará de acuerdo al valor de “q”, el valor de CDV será la intersección entre la suma total de valores deducidos y el valor de “q”; según la figura 10.

*Q.* **Paso 17.** Copiamos los valores deducidos a la siguiente fila de iteración, colocando el valor de 2 al último valor deducido.

*R.* **Paso 18.** Repetimos los pasos 14,15,16 y 17 hasta cubrir todas las filas según el valor de “m” en el paso h.

*S.* **Paso 19.** El máximo valor de CDV será para nosotros el valor tomado.

*T.* **Paso 20.** Finalmente, el valor de PCI se obtiene de la diferencia de 100 y el máximo CDV.

**2.7.6.2. Desarrollo de la condición funcional.** Se calibra y monta el perfilómetro laser en una camioneta tipo pick up, exactamente alrededor del parachoques.

*A.* **Paso 1.** Se adapta a una altura de 30 centímetros sobre el nivel del pavimento.

*B.* **Paso 2.** El equipo realiza lecturas cada 100 metros, haciéndose estas mediciones en ambos lados o huellas del carril izquierdo y derecho de la vía.

*C.* **Paso 3.** Se procesa la información cada 1 km, realizando el promedio de rugosidades en cada huella, promediando los valores y obteniendo un valor de rugosidad (IRI) para cada carril.

**D. Paso 4.** Finalmente se procesa la información por tramos y se aplica la ecuación de relación IRI-PSI, para obtener los valores de serviciabilidad.

#### **2.7.6.3. Desarrollo de la condición estructural.**

**A. Paso 1.** Se procede a colocar el deflectómetro de impacto en un tráiler, donde estará sujeta en el recorrido.

**B. Paso 2.** El equipo aplica una carga dinámica al pavimento, que será captado por los sensores o geófonos, teniendo como resultado la capacidad estructural del pavimento.

**C. Paso 3.** Una vez determinadas las deflexiones en la vía mediante el deflectómetro, procedemos a calcular el Módulo resiliente. Mediante la aplicación de cálculos matemáticos, como el método YONOPAVE, se calcula el número estructural efectivo.

**D. Paso 4.** Con apoyo de la fórmula descrita en la figura 18, se procede a calcular el número estructural requerido (a futuro).

**E. Paso 5.** Finalmente, el Índice de condición estructural es la división entre el número estructural efectivo y requerido, expresado en porcentaje.

#### **2.7.6.4. Evaluación de pavimento flexible con la propuesta metodológica SEFACE.**

**A. Paso 1.** Calcular el Índice Medio Diario Anual, datos tomados de un Estudio de Tráfico.

**B. Paso 2.** Agrupar los resultados de las evaluaciones efectuadas, según la sectorización; y colocar sus respectivos parámetros según la figura 13, para obtener la codificación SEFACE.

**C. Paso 3.** Con ayuda de la figura 14, podremos determinar el tipo de intervención a realizar, de acuerdo a la sectorización trazada la carretera.

## 2.8. Resultados

Al aplicar las evaluaciones a la carretera, se obtuvieron los siguientes resultados.

### 2.8.1. Evaluación funcional y cálculo del IRI-PSI

Se realizó la evaluación funcional mediante la medición de la rugosidad. Con ayuda del perfilómetro láser Dynatest modelo RSP 5051 Marck IV. Se obtuvo los siguientes resultados como se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Valores promedio del IRI de la Carretera Conococha Yanacancha*

Progresiva inicial	Progresiva final	IRI (Promedio Carril Derecho)	IRI (Promedio Carril Izquierdo)	IRI (Promedio)
0+000	5+000	2.69	3.01	2.85
5+000	10+000	2.75	3.10	2.92
10+000	15+000	3.34	3.32	3.33
15+000	20+000	3.45	3.91	3.68
20+000	25+000	3.14	3.39	3.26
25+000	30+000	3.11	3.65	3.38
30+000	35+000	2.68	2.75	2.72
35+000	40+000	2.98	3.31	3.14
40+000	45+000	3.25	3.84	3.54
45+000	47+000	3.16	3.78	3.47
47+000	50+000	3.39	3.51	3.45
50+000	55+000	3.68	4.34	4.07
55+000	60+000	3.71	4.03	3.87

60+000	65+000	3.34	3.39	3.36
65+000	70+000	3.44	3.44	3.44
70+000	75+000	2.55	2.64	2.60
75+000	80+000	2.33	2.59	2.46
80+000	85+000	2.54	2.80	2.67
85+000	90+000	2.41	2.33	2.37
90+000	94+000	2.98	3.20	3.09
94+000	95+000	2.71	2.84	2.78
95+000	100+000	2.72	2.80	2.76
100+000	105+000	3.21	2.65	2.93
105+000	109+000	3.00	2.98	2.99
109+000	110+000	2.79	2.48	2.63
110+000	115+000	3.10	3.07	3.08
115+000	117+500	3.62	3.68	3.65

*Nota.* Los valores del IRI, para los carriles izquierdo y derecho fueron promediados cada 5 kilómetros para resumir los tramos de análisis. Tomado y adaptado del Estudio de Suelos y Pavimentos (p.146), por la empresa EPCM CONSULTING S.A.C., 2020, Estudio Definitivo del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha Yanacancha.

Luego, sectorizamos el tramo de la carretera según los datos de la tabla 09, y obtenemos el IRI promedio sectorizado como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Valores del IRI por sector*

Tramo	Inicio (km)	Final (km)	IRI
Tramo I	0+000	47+000	3.23
Tramo II	47+000	94+000	3.13
Tramo III	94+000	109+000	2.87
Tramo IV	109+000	117+500	3.12

*Nota.* Elaboración propia. Los valores del IRI son los promedios de ambos carriles y según el tramo.

Al aplicar la fórmula 1 para el cálculo del PSI tenemos los resultados mostrados en la tabla.

**Tabla 11**

*Cuadro de calores del PSI por tramos*

<b>Tramo</b>	<b>Inicio (km)</b>	<b>Final (km)</b>	<b>PSI</b>	<b>Calificación</b>
Tramo I	0+000	47+000	2.78	Regular
Tramo II	47+000	94+000	2.83	Regular
Tramo III	94+000	109+000	2.97	Regular
Tramo IV	109+000	117+500	2.83	Regular

*Nota.* Elaboración propia. Las calificaciones se usaron según la tabla 2.

### **2.8.2. Evaluación Superficial y determinación del PCI**

Se realizó relevamientos en campo sobre la totalidad de la superficie de la carretera.

Se realizó relevamientos directos como se muestra en la figura 17.

**Figura 17**

*Relevamiento en el carril izquierdo km 0+244*



*Nota.* Elaboración propia.

El relevamiento se hizo cada 50 m de longitud de calzada. El formato utilizado es tal como se indica en la figura 18.

Terminado con todo el trabajo de relevamiento de fallas, en gabinete, se procesa los datos y se siguen los pasos explicados siguiendo los pasos descritos en el procedimiento para esta evaluación.

**Figura 18***Formato de relevamiento*

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D.6433 (2003)														
SECCION CONOCOCHA - YANACANCHA			PROGRESIVA INICIAL km 00+200			UNIDAD DE MUESTREO 4			5L			4L		
CARRIL CARRIL IZQUIERDO			PROGRESIVA FINAL km 00+250			AREA DE MUESTREO 180 m <sup>2</sup>								
INSPECCIONADO POR MAX APAZA						FECHA Junio 2022								
DAÑOS														
1. Piel de cocodrilo			7. Grieta de borde			13. Huecos								
2. Exudación			8. Grieta de reflexión de juntas			14. Cruce de vía ferrea								
3. Agrietamiento en bloque			9. Desnivel carril / berma			15. Ahuellamiento								
4. Abultamientos y hundimientos			10. Grietas longitudinales y transversales			16. Desplazamiento								
5. Corrugación			11. Parcheo			17. Grieta parabólica (slippage)								
6. Depresión			12. Pulimento de agregados			18. Hinchamiento								
						19. Desprendimiento de agregados								
DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDAD										TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
11	L	0.6										0.6	0.3	
4	L	1.5										1.5	0.8	1.0
5	L	2.7										2.7	1.5	2.0

*Nota.* Elaboración propia. Tomado y adaptado del Estudio de Suelos y Pavimentos (p.355), por la empresa EPCM CONSULTING S.A.C., 2020, Estudio Definitivo del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococho Yanacancha.

Siguiendo los procedimientos para el cálculo del PCI, obtenemos el valor de  $m = 3.3$ .

Después aplicamos los siguientes pasos del procedimiento, siguiendo el formato de la figura 19, para el cálculo iterativo del valor máximo deducido.

**Figura 19***Valores deducidos máximos*

Nº	Valores Deducidos			TOTAL	q	CDV
1	25	14	2.1	41.1	3	26
2	25	14	2	41	2	31
3	25	2	2	29	1	28

MAX	31	
PCI	69	BUENO

*Nota.* Elaboración propia.

Finalmente, el valor del PCI para ese tramo será el valor 100 descontando el valor máximo deducido o CDC, según la figura 25, nos da un valor de 69, que interpretando los resultados tendríamos una lectura de tramo de calificación “bueno”.

Finalmente, el resumen de todas las fallas en el tramo de la carretera de estudio está definido como se muestra en la figura 20.

## Figura 20

### *Resumen de fallas de la Carretera Conococha Yanacancha*

Falla	Cantidad medida			
	Unidad	Leve	Moderado	Severo
1. Piel de Cocodrilo	m2	1676.2	439.5	154.2
2. Exudación	m2	260.1	0.4	0
3. Agrietamiento en Bloque	m2	279.7	21.1	0
4. Abultamientos y hundimientos	m2	1004.3	93.7	9.8
5. Corrugación	m2	2046.2	403	18
6. Depresión	m2	225.3	85.4	0
7. Fisura de borde	ml	573.3	371.8	175.1
8. Fisura de reflexión de junta	ml	0	0	0
9. Desnivel carril-berma	ml	217.8	0	0
10. Fisuras longitudinales y transversales	ml	577	594.6	42.4
11. Parches y parches de cortes utilitarios	m2	4702.6	393.8	8.3
12. Agregado pulido	m2	0	0	0
13. Huecos	m2	0.3	6.3	6
14. Cruce de Vía Ferrea	m2	0	0	0
15. Ahuellamiento	m2	2521.7	641	0
16. Desplazamiento	m2	60.1	60.7	52.5
17. Fisura parabólica o por deslizamiento	m2	2	4.3	0
18. Hinchamiento	m2	0	0	0
19. Desprendimiento de agregados	m2	1580.8	762.4	205.4

*Nota.* Tomado y adaptado del Estudio de Suelos y Pavimentos (p.28), por la empresa EPCM CONSULTING S.A.C., 2020, Estudio Definitivo del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha Yanacancha.

**Tabla 12***Valores Promedio de PCI*

Progresiva inicial	Progresiva final	PCI (Promedio Carril Derecho)	PCI (Promedio Carril Izquierdo)	PCI (Promedio)
0+000	5+000	88	99	93.5
5+000	10+000	97	100	98.5
10+000	15+000	95	97	96
15+000	20+000	93	98	95.5
20+000	25+000	87	94	90.5
25+000	30+000	91	96	93.5
30+000	35+000	91	100	95.5
35+000	40+000	93	97	95
40+000	45+000	90	98	94
45+000	47+000	93	97	95
47+000	50+000	94	94	94
50+000	55+000	92	96	94
55+000	60+000	89	94	91.5
60+000	65+000	94	93	96.5
65+000	70+000	95	96	95.5
70+000	75+000	95	98	96.5
75+000	80+000	100	99	99.5
80+000	85+000	99	99	99
85+000	90+000	99	99	99
90+000	94+000	85	96	90.5
94+000	95+000	99	90	94.5
95+000	100+000	95	97	96
100+000	105+000	89	97	93
105+000	110+000	95	95	95

110+000	115+000	90	93	91.5
115+000	117+500	97	94	95.5

*Nota.* Los valores de PCI fueron promediados cada 5 km para un mejor manejo de los datos según su sectorización. Tomado y adaptado del Estudio de Suelos y Pavimentos (p.355), por la empresa EPCM CONSULTING S.A.C., 2020, Estudio Definitivo del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha Yanacancha.

De acuerdo a nuestra sectorización procedemos a calcular el PCI promedio, según la tabla 13.

**Tabla 13**

Valores promedio de PCI

<b>Tramo</b>	<b>Inicio (km)</b>	<b>Final (km)</b>	<b>PCI</b>	<b>Estado</b>
Tramo I	0+000	47+000	94.7	Excelente
Tramo II	47+000	94+000	95.3	Excelente
Tramo III	94+000	109+000	94.6	Excelente
Tramo IV	109+000	117+500	94.2	Excelente

*Nota.* Elaboración propia. Los valores del PCI para los tramos de estudio revelan un nivel de la carretera excelente a nivel superficial, encontrándose pocas fallas en los relevamientos.

### **2.8.3. Evaluación Estructural y Cálculo del ICE**

#### **2.8.3.1. Cálculo del número estructural efectivo**

El número estructural efectivo para nuestro informe de suficiencia profesional será procesado y promediado de acuerdo a la sectorización ya establecida. Con ayuda del

ensayo de deflectometría se halló los respectivos módulos resilientes, y aplicando procesos matemáticos correspondientes obtendremos el número estructural.

Empleando el equipo, deflectómetro de impacto FWD, obtenemos las siguientes mediciones.

**Tabla 14**

*Lectura de los valores de los geófonos*

<b>Progresiva</b>	<b>Radio del plato (mm)</b>	<b>D0</b>	<b>D30</b>	<b>D60</b>	<b>D90</b>
0+000	150	304	122	41	25
0+050	150	413	131	49	26
0+100	150	346	110	34	20
0+150	150	487	188	85	56
0+200	150	351	129	44	30
0+250	150	96	154	53	30
0+300	150	100	105	22	12

*Nota.* Elaboración propia. Los valores D0, D30, D60 y D90 son valores en micras.

Tomado y adaptado del Estudio de Suelos y Pavimentos (p.355), por la empresa EPCM CONSULTING S.A.C., 2020, Estudio Definitivo del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha Yanacancha.

Al aplicar la fórmula 5, obtendremos los valores del Área como lo muestra la tabla

**Tabla 15***Valores de Área*

<b>Progresiva</b>	<b>Radio del plato (mm)</b>	<b>AREA (pulgadas)</b>
0+000	150	13.4
0+050	150	11.6
0+100	150	11.3
0+150	150	13.4
0+200	150	12.4
0+250	150	12.1
0+300	150	11.1

*Nota.* Elaboración propia.

Con ayuda de la tabla 4, encontramos los valores de “A”, “B”; posteriormente, aplicando la fórmula 6 procedemos a encontrar los valores de la longitud efectiva. Al efectuar la operación matemática, los valores son como se detalle en la tabla 16.

**Tabla 16***Cuadro de parámetros y longitud efectiva*

<b>Progresiva</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>Lo</b>	<b>m</b>	<b>n</b>
0+000	2.371	0.1096	10.3	1344.2	-0.8945
0+050	2.371	0.1096	8.5	1344.2	-0.8945
0+100	2.371	0.1096	8.2	1344.2	-0.8945
0+150	2.371	0.1096	10.3	1344.2	-0.8945

0+200	2.371	0.1096	9.3	1344.2	-0.8945
0+250	2.371	0.1096	8.9	1344.2	-0.8945
0+300	2.371	0.1096	8.0	1344.2	-0.8945

*Nota.* Elaboración propia. Los valores de “m” y “n” son parámetros que depende del Área, en base al método Yonopave para encontrar el modelo resiliente.

Aplicamos la fórmula 7 y obtenemos el módulo Resiliente. Con el módulo resiliente, aplicamos la formula “Y”, obteniendo el valor del Numero estructural efectivo, como lo muestra la tabla 17.

**Tabla 17**

*Valores de Numero Estructural Efectivo*

Progresiva	Módulo Resiliente (MPa)	Sneff
0+000	310	2.0
0+050	273	1.5
0+100	334	1.6
0+150	194	1.7
0+200	296	1.7
0+250	245	1.5
0+300	377	1.6

*Nota.* Elaboración propia. Los valores del número estructural efectivo están corregidos, y corresponden a un cálculo matemático según el método Yonopave.

Ahora procesamos todas las lecturas y promediamos los valores del número estructural efectivo, teniendo como resultado como se muestra en la tabla 18.

**Tabla 18***Valores promedio del Número Estructural*

<b>Progresiva Inicial</b>	<b>Progresiva Final</b>	<b>Mrr (MPa)</b>	<b>S<sub>Nef</sub></b>
<b>(km)</b>	<b>(km)</b>		
0+000	5+000	248.5	1.8
5+000	10+000	203.6	1.8
10+000	15+000	230.0	1.6
15+000	20+000	255.2	1.6
20+000	25+000	245.4	1.6
25+000	30+000	227.1	1.7
30+000	35+000	254.9	1.8
35+000	40+000	238.2	1.8
40+000	45+000	240.3	1.7
45+000	47+000	231.9	1.6
47+000	50+000	356.5	1.8
50+000	55+000	321.0	1.8
55+000	60+000	337.3	1.9
60+000	65+000	328.3	1.8
65+000	70+000	316.1	1.9
70+000	75+000	355.3	1.9
75+000	80+000	333.1	1.6
80+000	85+000	400.9	1.8
85+000	90+000	334.5	1.8
90+000	94+000	324.1	1.9
94+000	95+000	287.1	1.9
95+000	100+000	305.3	1.7
100+000	105+000	320.0	1.5
105+000	109+000	258.0	1.8
109+000	110+000	316.9	1.6
110+000	115+000	304.2	1.9

115+000	117+500	383.8	2.3
---------	---------	-------	-----

*Nota.* Elaboración propia. Los valores fueron promediados cada 5 km para un mejor manejo de los datos según su sectorización. Tomado y adaptado del Estudio de Suelos y Pavimentos (p.192), por la empresa EPCM CONSULTING S.A.C., 2020, Estudio Definitivo del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha Yanacancha.

Finalmente, los resultados según la sectorización se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19**

*Valores de Modulo Resiliente y Coeficiente Estructural Efectivo por sectores*

<b>Tramo</b>	<b>Inicio (Km)</b>	<b>Final (Km)</b>	<b>Mrr (MPa)</b>	<b>S<sub>Nef</sub></b>
Tramo I	0+000	47+000	237.8	1.7
Tramo II	47+000	94+000	340.7	1.8
Tramo III	94+000	109+000	296.4	1.7
Tramo IV	109+000	117+500	312.3	1.9

*Nota.* Elaboración propia.

**2.8.3.2. Cálculo del número estructural requerido.** Hallaremos el numero estructural mediante el método AASHTO 1993.

**2.8.3.3. Los parámetros que involucra son los siguientes:**

**A. Confiabilidad.** Según la tabla 5, usaremos un nivel de confiabilidad promedio de 90.

**B. Desviación Estándar.** Según la tabla 6, el valor de la desviación estándar es -1.282.

**C. Varianza.** Apoyándonos en el estudio de tráfico, se adopta un valor de  $S_o=0.45$ , para los pavimentos flexibles.

**D. Trafico.** Según la tabla x, obtenemos los siguientes valores de tráfico proyectado.

**Tabla 20**

*Tráfico proyectado EAL*

<b>Tramo</b>	<b>Inicio (Km)</b>	<b>Final (Km)</b>	<b>Periodo de diseño</b>	<b>Tráfico proyectado (W18)</b>
Tramo I	0+000	47+000	W18 a 10 años	2.21E +06
Tramo II	47+000	94+000	W18 a 10 años	2.21E+ 06
Tramo III	94+000	109+000	W18 a 10 años	1.62E + 06
Tramo IV	109+000	117+500	W18 a 10 años	1.62E + 06

*Nota.* Elaboración propia. Los valores fueron promediados cada 5 km para un mejor manejo de los datos según su sectorización. Tomado y adaptado del Estudio de Suelos y Pavimentos (p.192), por la empresa EPCM CONSULTING S.A.C., 2020, Estudio Definitivo del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha Yanacancha.

Serviciabilidad. Se adoptó una variación de serviciabilidad igual a Recopilamos todos los datos según la tabla 21,

**Tabla 21**

*Parámetros AASHTO 93*

<b>Tramo</b>	<b>Progresivas (Km)</b>	<b>Mrr (MPa)</b>	<b>R(%)</b>	<b>So</b>	<b>ΔPSI</b>
Tramo I	0+000-47+000	237.8	90	0.45	2
Tramo II	47+000-94+000	340.7	90	0.45	2
Tramo III	94+000-109+000	296.4	90	0.45	2
Tramo IV	109+000-117+500	312.3	90	0.45	2

*Nota.* Elaboración propia. Los valores fueron sectorizados para un mejor manejo de los datos. Tomado y adaptado del Estudio de Suelos y Pavimentos (p.192), por la empresa EPCM CONSULTING S.A.C., 2020, Estudio Definitivo del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha Yanacancha.

Finalmente aplicamos la fórmula de AASHTO 93, y obtenemos el número estructural requerido.

Ahora calculamos el índice de la condición estructural, dividiendo el número estructural requerido y el efectivo, como lo muestra la tabla 22.

**Tabla 22**

*Índice de la Condición Estructural*

<b>Tramo</b>	<b>Inicio (km)</b>	<b>Final (km)</b>	<b>S<sub>Nef</sub></b>	<b>S<sub>nReq</sub></b>	<b>ICE (%)</b>
Tramo I	0+000	47+000	1.7	2.19	78
Tramo II	47+000	94+000	1.8	1.91	94
Tramo III	94+000	109+000	1.7	1.92	89
Tramo IV	109+000	117+500	1.9	1.87	102

*Nota.* Elaboración propia.

**2.8.4. Evaluación de pavimentos flexibles**

**2.8.4.1. Cálculo del código SEFACE.** Primero obtendremos el Índice

Medio Diario Anual, del estudio de tráfico, que nos muestra la tabla 23.

**Tabla 23***Tráfico Vehicular Carretera Conococha-Yanacancha*

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>FC</b>	<b>IMDs</b>	<b>IMDa</b>	<b>Distribución %</b>
Autos	0.95688	111	106	18.69
S.Wagon	0.95688	49	47	8.29
Pick Up	0.95688	109	105	18.52
Panel	0.95688	3	3	0.53
C.Rural	0.95688	60	57	10.05
Micro M3	0.95668	30	28	4.94
Ómnibus B2	0.94247	19	18	3.17
Ómnibus B3	0.94247	31	29	5.11
Ómnibus B4	0.94247	0	0	0.00
Camión C2	0.94247	52	49	8.64
Camión C3	0.94247	25	24	4.23
Camión C4	0.94247	3	3	0.53
Camión 8x4	0.94247	1	1	0.18
Semitrayles	0.94247	104	97	17.11
Trayler	0.94247	0	0	0.00
<b>Total</b>		<b>596</b>	<b>567</b>	<b>100.00</b>

*Nota.* Tomado y adaptado del Estudio Tráfico (p.84), por la empresa EPCM CONSULTING S.A.C., 2020, Estudio Definitivo del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha Yanacancha.

Se procede a calcular el código SEFACE, para ellos según la tabla 24, tenemos todos los parámetros necesarios para aplicar la metodología.

**Tabla 24***Tabla resumen de parámetros*

<b>Tramo</b>	<b>Inicio (km)</b>	<b>Final (km)</b>	<b>PSI</b>	<b>PCI</b>	<b>ICE (%)</b>
Tramo I	0+000	47+000	2.78	94.7	78
Tramo II	47+000	94+000	2.83	95.3	94
Tramo III	94+000	109+000	2.97	94.6	89
Tramo IV	109+000	117+500	2.83	94.2	102

*Nota.* Los parámetros PSI, PCI e ICE, son índices de medición de las evaluaciones funcionales, superficiales y estructurales; respectivamente, de una carretera.

Después, con ayuda de la figura 19, según nuestro estudio de tráfico tenemos un IMDA menor a 5000. La codificación SEFACE se muestra en la tabla 25.

**Tabla 25***Código SEFACE*

<b>Tramo</b>	<b>Inicio (km)</b>	<b>Final (km)</b>	<b>SEFACE</b>
Tramo I	0+000	47+000	2 3 1
Tramo II	47+000	94+000	2 3 2
Tramo III	94+000	109+000	2 3 2
Tramo IV	109+000	117+500	2 3 3

*Nota.* Elaboración propia.

**2.8.4.2. Intervención a realizar.** Ahora con la codificación SEFACE aplicamos obtenemos la intervención óptima según los umbrales de la figura 20. Los datos sectores y sus intervenciones se detallan en la tabla 26.

**Tabla 26***Intervenciones óptimas según sectores*

<b>Tramo</b>	<b>Inicio (km)</b>	<b>Final (km)</b>	<b>SEFACE</b>	<b>Intervención</b>
Tramo I	0+000	47+000	2 3 1	Fresado + Recapeo
Tramo II	47+000	94+000	2 3 2	Fresado + Recapeo
Tramo III	94+000	109+000	2 3 2	Fresado + Recapeo
Tramo IV	109+000	117+500	2 3 3	Reciclado en caliente + Recapeo

*Nota.* Elaboración propia.

## **2.9. Discusión de resultados**

Los resultados al largo de todo el tramo de la Carretera Conococha Yanacancha, fue sectorizado para un mejor manejo de la información.

De acuerdo a la tabla 24, muestra los datos del PSI, PCI e ICE, que corresponden a los parámetros de las evaluaciones funcionales, superficiales y estructurales respectivamente.

A un nivel funcional, la carretera obtuvo niveles regulares de aceptación, pero con irregularidades. A un nivel superficial, según la figura 26, las fallas en todo el tramo en su mayoría son leves, lo que da como resultado en su procesamiento obtener una valoración de excelente. Por último, a nivel estructural el primer sector arroja valores críticos. Los sectores II y III detallan valores regulares en su condición estructural, y el último sector tiene una valoración aceptable. La figura 21 nos detalla a buena vista el nivel superficial en óptimas condiciones.

## Figura 21

### *Estado de la carretera Conococha Yanacancha*



*Nota.* Elaboración propia.

La codificación SEFACE, según la tabla 26, nos detalla que en todos los sectores de análisis los niveles de serviciabilidad son regulares, los niveles de falla casi no se encuentran y la condición estructural es crítica y moderada en los tramos finales. Integrando todos estos valores, según la tabla 26, en los tres sectores, que corresponde 109 km de longitud de carretera se realizaría un recapeo y fresado como intervención óptima para el Mantenimiento de la Carretera. La intervención para el último sector de nuestra carretera de estudio resulta ser un reciclado en caliente y recapeo. Al efectuar la propuesta metodológica ya tendríamos una intervención óptima que podrá ser evaluada a nivel de evaluación económica, comparándola con una alternativa homogénea en todo el tramo de fresado y recapeo o reciclado en caliente

### **III. APORTES MAS DESTACADOS A LA EMPRESA**

Durante el periodo que llevo laborando en EPCM CONSULTING he participado en varios proyectos de expedientes técnicos y supervisión de obras, en las cuales pude ser partícipe de la implementación de mejoras en la elaboración de expedientes técnicos. y supervisión de obras, dentro de los cuales pude aportar lo siguiente.

#### **3.1. Aportes significativos en la formulación expedientes técnicos**

Implementación de metodologías para el control de estudios básicos.

Elaboración de especificaciones técnicas, metrados y presupuestos de distintos proyectos de infraestructura vial, a nivel de expediente, según los términos de referencia.

#### **3.2. Aportes significativos en supervisión**

Implementación de un plan de supervisión para el control de seguridad, calidad y proceso constructivo.

Asistencia en la supervisión, control y verificación de los procesos constructivos de carreteras, según especificaciones técnicas.

#### **3.3. Aporte personal**

Con el informe de suficiencia profesional, se plantea una metodología técnica viable que permite una integración de las evaluaciones de pavimentos y una intervención optima a realizar. Al implementar esta propuesta metodológica facilitará el sustento de cualquier alternativa de solución que se plantee para el Mantenimiento de una vía.

## **IV. CONCLUSIONES**

### **4.1. Primera conclusión**

En el presente informe de suficiencia profesional, se concluye que la evaluación de pavimentos flexibles mediante la propuesta metodológica SEFACE nos da como resultado una intervención óptima para mantener los niveles de serviciabilidad y transitabilidad en nuestra carretera de estudio a nivel de Mantenimiento periódico. Los trabajos a realizar según los umbrales de intervención será un recapeo y fresado a lo largo del tramo de la carretera.

### **4.2. Segunda conclusión**

Se concluye que la carretera Conococha Yanacancha, tiene niveles de serviciabilidad regulares.

### **4.3. Tercera conclusión**

Se concluye que la carretera de estudio tiene niveles de fallas mínimos según su evaluación superficial.

### **4.4. Cuarto conclusión**

Se concluye, que, a nivel estructural, la carretera posee niveles críticos y regulares según la evaluación estructural efectuada.

## **V. RECOMENDACIONES**

### **5.1. Primera recomendación**

Los umbrales de intervenciones según la propuesta metodológica, está sujeta a mejora. En base a la experiencia de un consultor o entidad, que maneja una data en experiencia a nivel de ejecución y expedientes, se podrá definir mejor los resultados e inclusive se podrá integrar nuevas intervenciones que cumplan con satisfacer los niveles de serviciabilidad, falla y condición estructural necesarios para el mantenimiento de una carretera a nivel de pavimento flexible.

### **5.2. Segunda recomendación**

Se recomienda tener los valores de los parámetros de medición de las evaluaciones funcionales, superficiales y estructurales promediados por kilómetro para un mejor manejo de datos de sectorización.

### **5.3. Tercera recomendación**

Para la evaluación superficial, para procesar los datos de los relevamientos en gabinete, se recomienda el uso de software para un mejor manejo de la información y cálculos directos. Así obtener resultados en menores tiempos.

### **5.4. Cuarta recomendación**

Se recomienda utilizar la propuesta metodológica SEFACE solo para pavimentos flexibles. Para los pavimentos rígidos se requiere un mayor monitoreo y más investigación para establecer umbrales mínimos para definir las intervenciones.

### **5.5. Quinta recomendación**

Si al aplicar el método SEFACE en un tramo de carretera se obtiene un parámetro (3,3,3), según la imagen 20, no requerirá intervención. Es recomendable entonces realizar

un trabajo menor como una limpieza de calzada con el objetivo de mantener el tramo libre de materiales que puedan ocasionar un daño a la vía en el futuro.

## VI. REFERENCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*.  
[https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=1HRB12tBQNMC&oi=fnd&pg=PR7&dq=AASHTO,+1993&ots=RtxrKvdTBh&sig=zJ3alBEWLKONDjQAk94qp4\\_tbFo#v=onepage&q=AASHTO%2C%201993&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=1HRB12tBQNMC&oi=fnd&pg=PR7&dq=AASHTO,+1993&ots=RtxrKvdTBh&sig=zJ3alBEWLKONDjQAk94qp4_tbFo#v=onepage&q=AASHTO%2C%201993&f=false).
- Avila, E. (2015). Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso. *Revista Científica Maskana*, 6, 149-157. <https://doi.org/10.18537/mskn.06.01.11>.
- Canal ENCAP CAPACITACIONES. (20 de julio de 2021). *Gestión de Mantenimiento o Conservación Vial*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=iv5vbPfZ4-M&t=3029s>.
- Del Águila, P. (2022, 8 de Setiembre). Rehabilitación de pavimentos mediante la Estabilización de materiales reciclados y empleos de Asfaltos Modificados con Polímeros SBS. [Conferencia]. Rehabilitación de pavimentos mediante estabilización de materiales reciclados, Lima, Perú. <https://fb.watch/i6AaN7WezN/>.
- EPCM CONSULTING S.A.C. (2020). *Estudio Definitivo de la Carretera Conococha Yanacancha*. EPCM.
- Gutiérrez, W. (2016). *Mecánica de suelos aplicada a vías de transporte*. Macro.
- Guzmán, S. (2009). *Evaluación estructural de pavimentos flexibles a partir de información tomada con el deflectómetro de impacto* [Conferencia]. XVII Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos, Medellín, Colombia. [https://www.facebook.com/SimposioIngenieriaPavimentos?locale=es\\_LA](https://www.facebook.com/SimposioIngenieriaPavimentos?locale=es_LA).
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Interamericana Editores. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.

Flintsch, G. (2015). *Comparación de los costos del ciclo de vida de tres alternativas de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos*. Revista Vial.

<https://revistavial.com/comparacion-de-los-costos-del-ciclo-de-vida-de-tres-alternativas-de-mantenimiento-y-rehabilitacion-de-pavimentos/>.

Menendez, J. (2016). *Ingeniería de Pavimentos*. Instituto de la Construcción y Gerencia.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial*. MTC.

Montoya, J. (2013). *Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú*. [Tesis de magister, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional PIRHUA. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1967>.

Orosco, P. (2016). *Metodología Seface para la evaluación de pavimentos flexibles*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/341620218/2016-09-14-Metodo-Seface>.

Quispe, R. (2018). *Evaluación superficial del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) en la vía: Palca – Laimina – Huancavelica*. [Tesis de pre grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio UNH. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2822>.

Ramos, R. (2021). *Evaluación Estructural y Superficial del pavimento de la Av. Lambramani con fines de diagnóstico y rehabilitación*. [Tesis de pre grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/12707>.

Vivar, G. (1994). *Diseño y Construcción de Pavimentos*. Colegio de Ingenieros del Perú.

World Bank. (1987). *The Highway Design and Maintenance Standards Model*. The International Bank for Reconstruction and Development.

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/129721468326428758/pdf/multi-page.pdf>

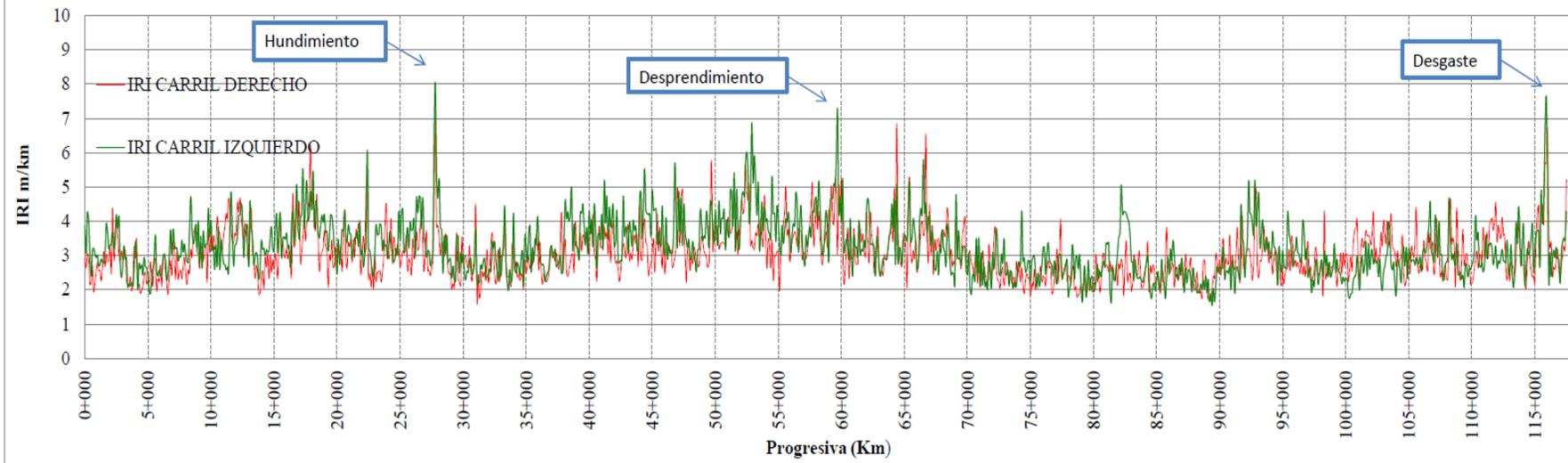
## **VII. ANEXOS**

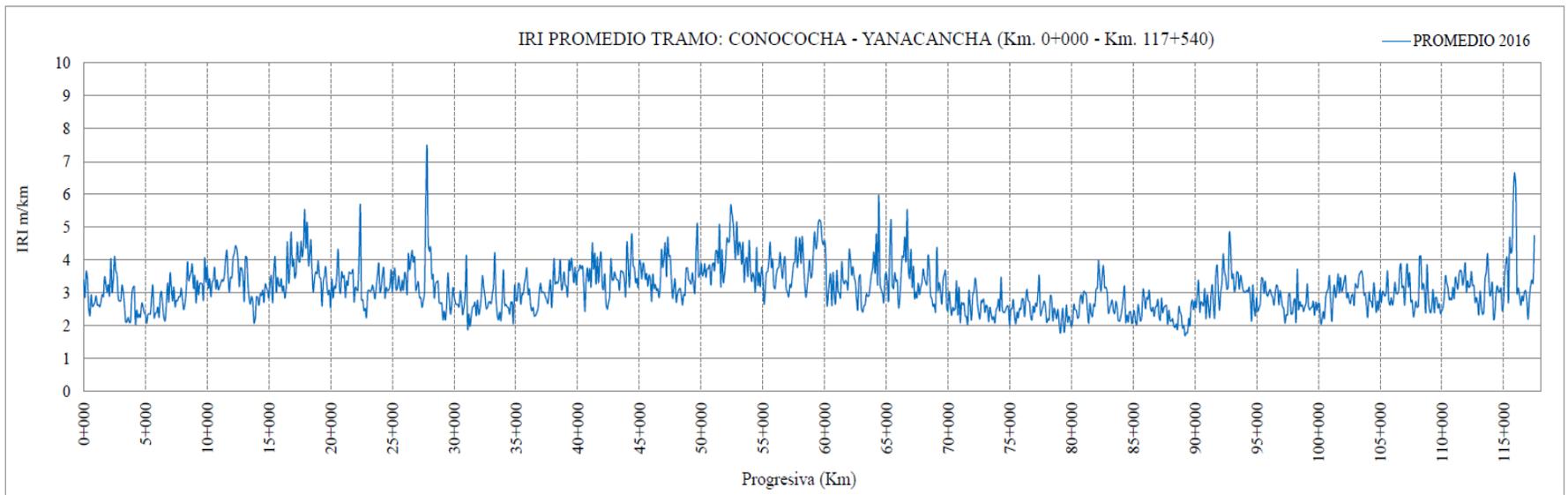
### **ANEXO A**

#### **VALORES DEL IRI EN LA CARRETERA CONOCOCHA YANACANCHA**

ESTUDIO PARA EL MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA  
CARRETERA CONOCOCHA - YANACANCHA,  
Tramo: Km. 0+000 - Km. 117+540

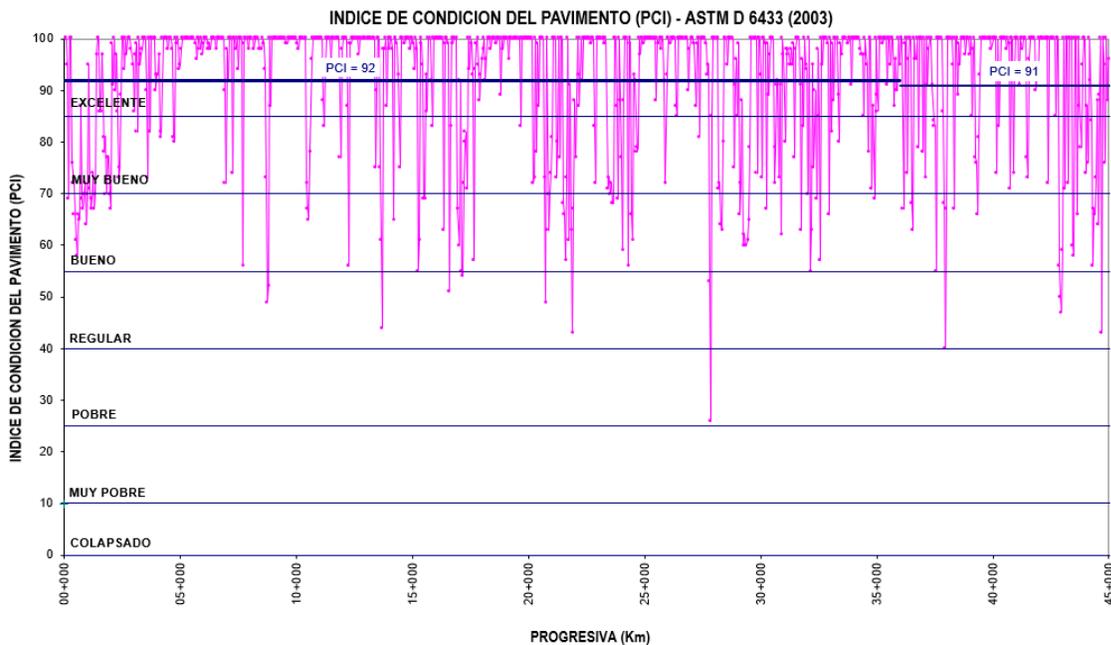
DISTRIBUCIÓN DEL IRI TRAMO: CONOCOCHA - YANACANCHA (Km. 0+000 - Km. 117+540)



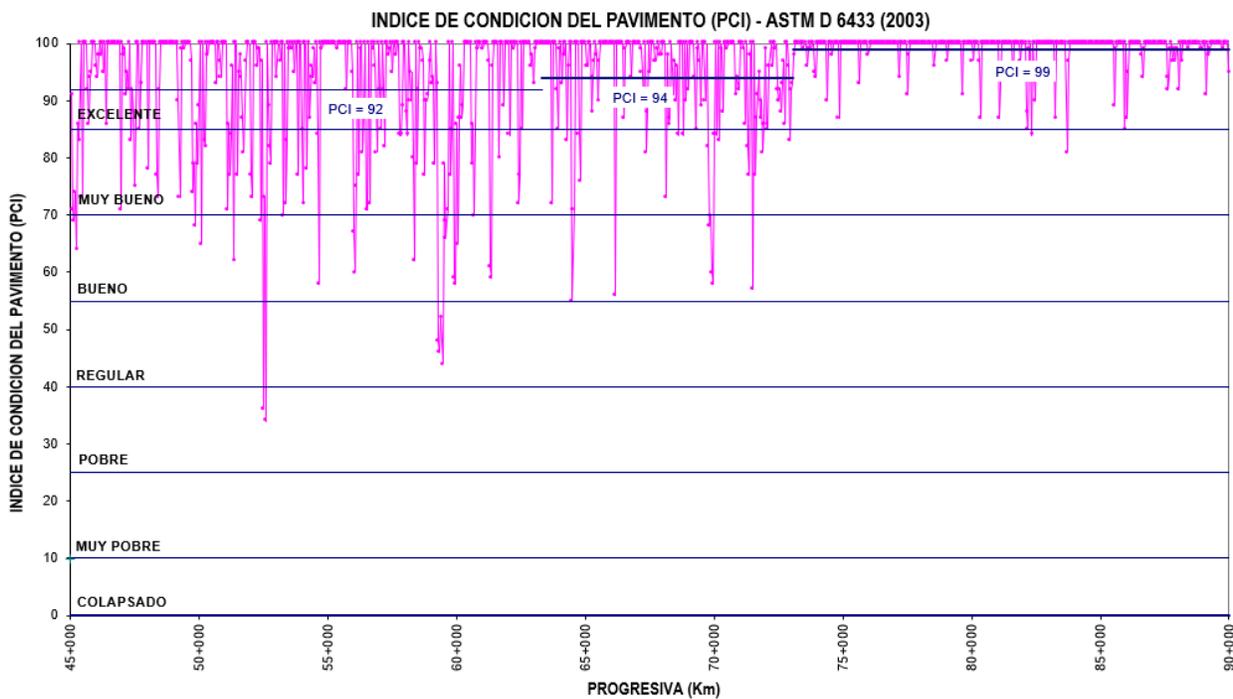


ANEXO B  
VALORES DEL PCI CARRIL DERECHO EN LA CARRETERA CONOCOCHA  
YANACANCHA

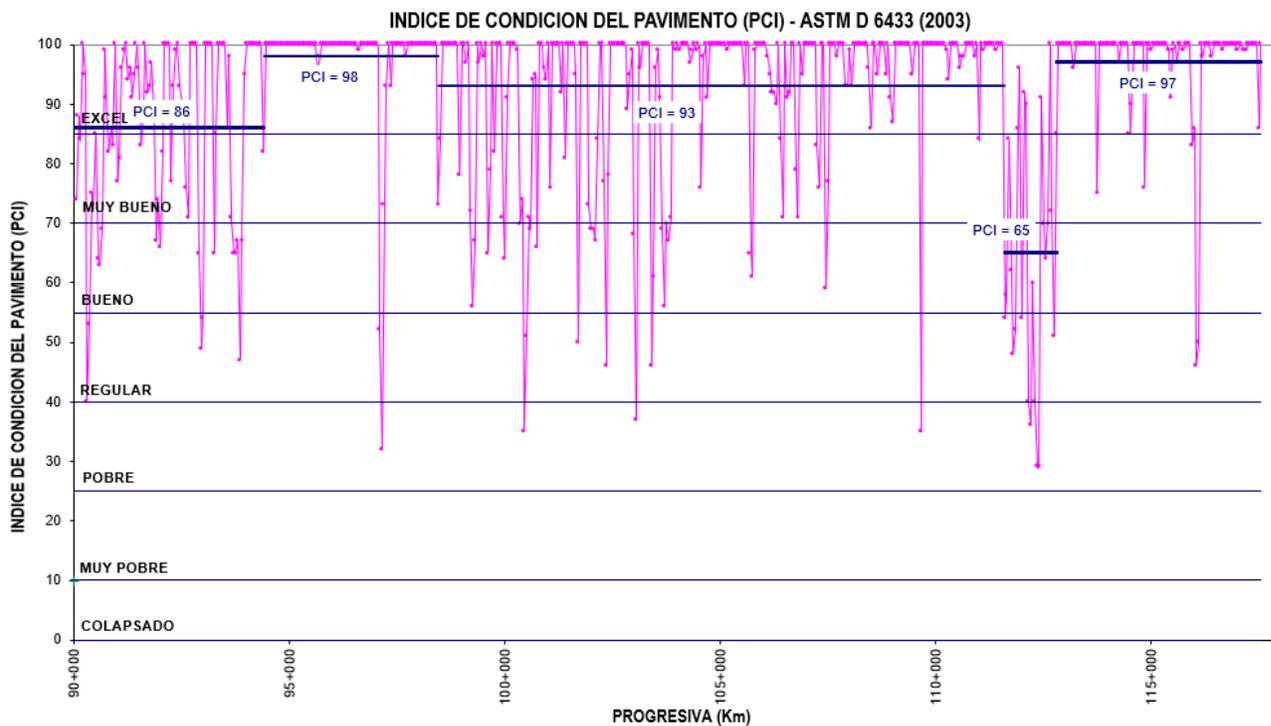
1ª EVALUACION EX POST  
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL - PROVIAS NACIONAL  
 UNIDAD GERENCIAL DE ESTUDIOS - UGE, TRAMO: Km 0+000 - Km 45+000



PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL - PROVIAS NACIONAL  
 UNIDAD GERENCIAL DE ESTUDIOS - UGE, TRAMO: Km 45+000 - Km 90+000

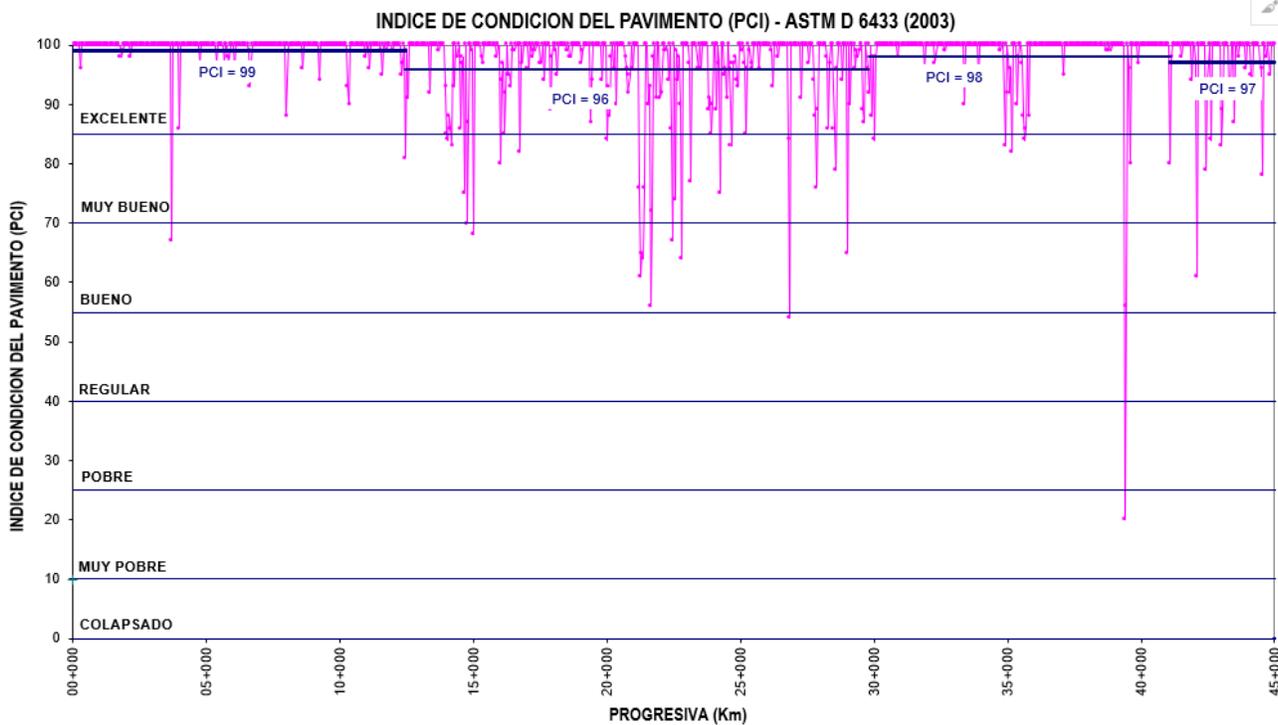


1ª EVALUACION EX POST  
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL - PROVIAS NACIONAL  
UNIDAD GERENCIAL DE ESTUDIOS - UGE, TRAMO: Km 90+000 - Km 117+540

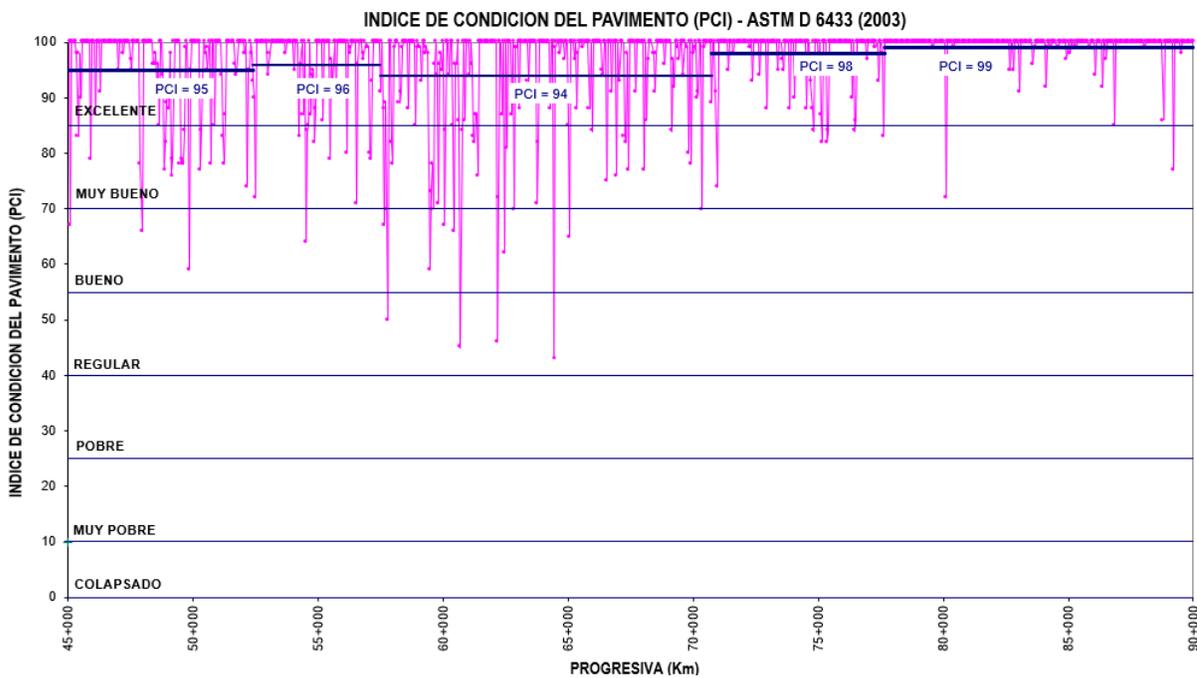


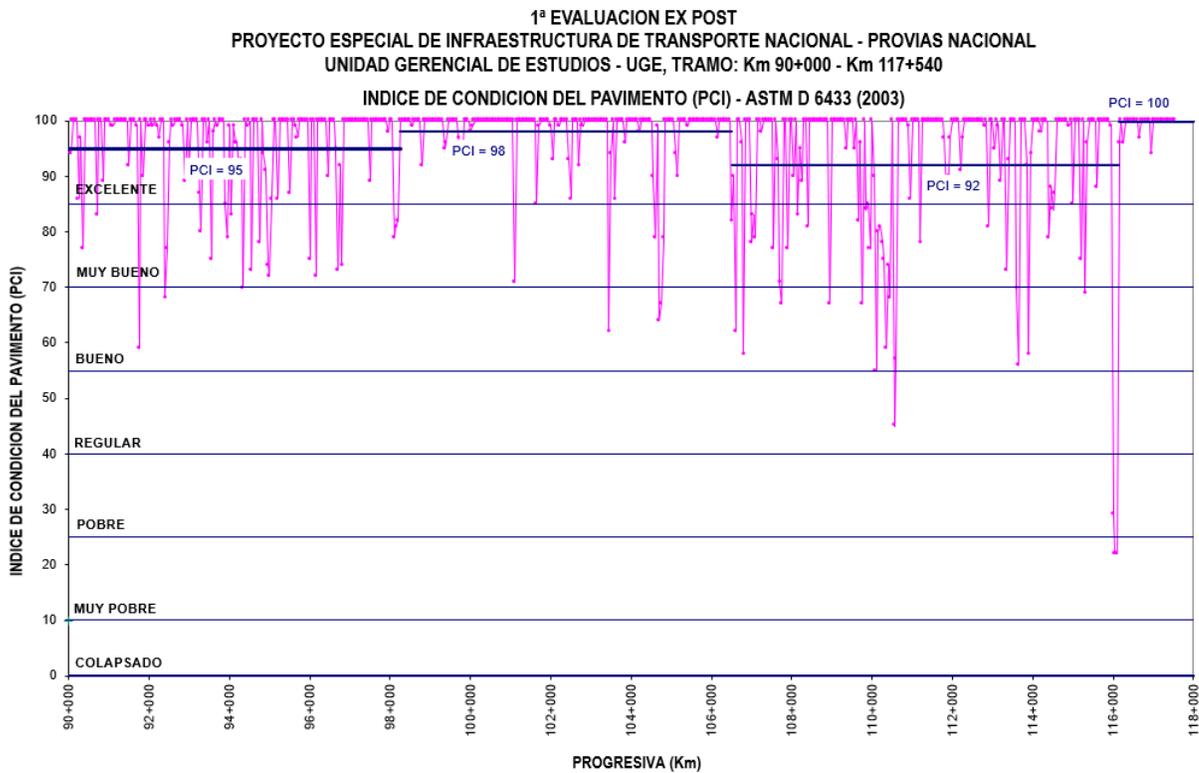
ANEXO C  
VALORES DEL PCI CARRIL IZQUIERDO EN LA CARRETERA CONOCOCHA  
YANACANCHA

1ª EVALUACION EX POST  
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL - PROVIAS NACIONAL  
UNIDAD GERENCIAL DE ESTUDIOS - UGE, TRAMO: Km 0+000 - Km 45+000

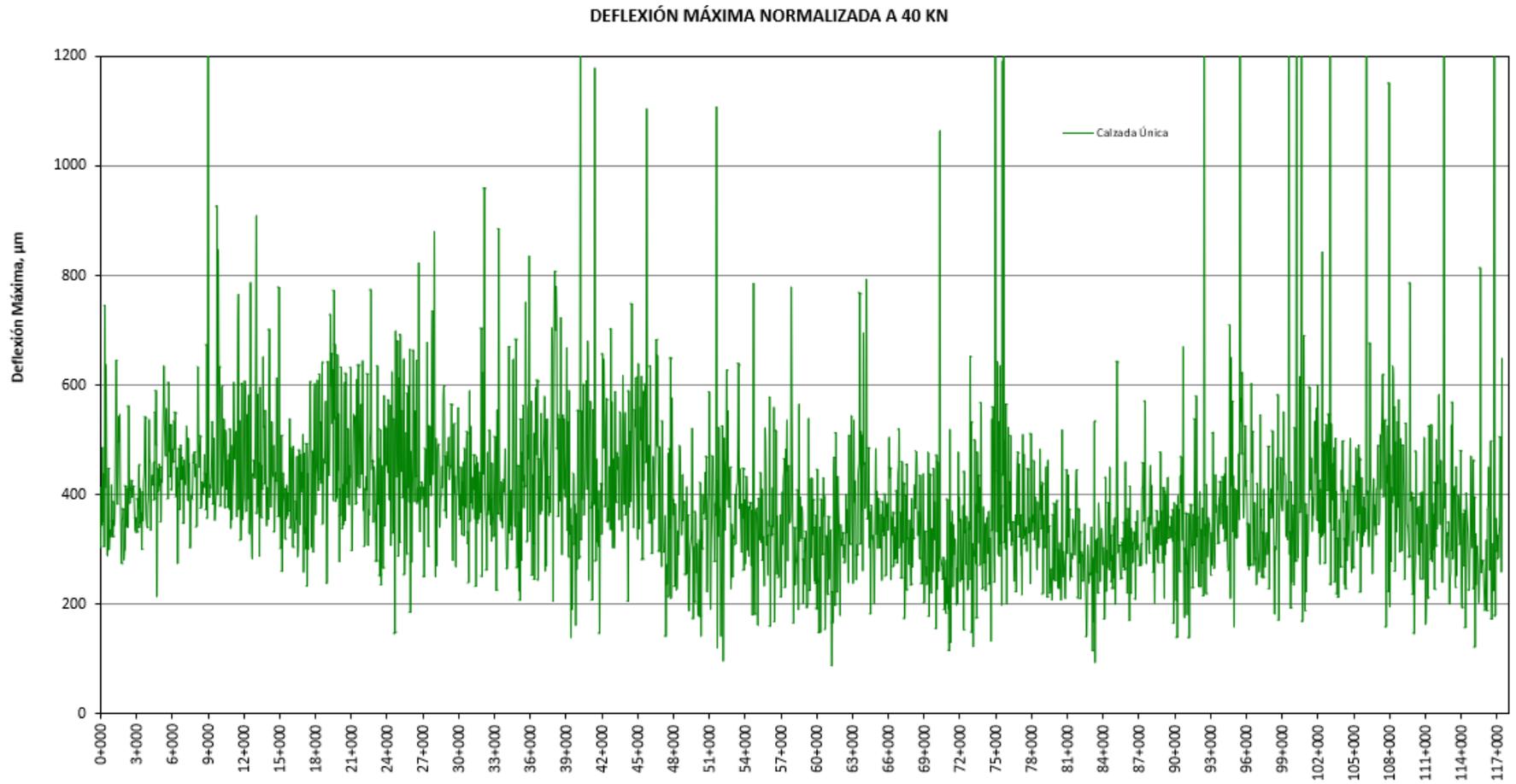


1ª EVALUACION EX POST  
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL - PROVIAS NACIONAL  
UNIDAD GERENCIAL DE ESTUDIOS - UGE, TRAMO: Km 45+000 - Km 90+000

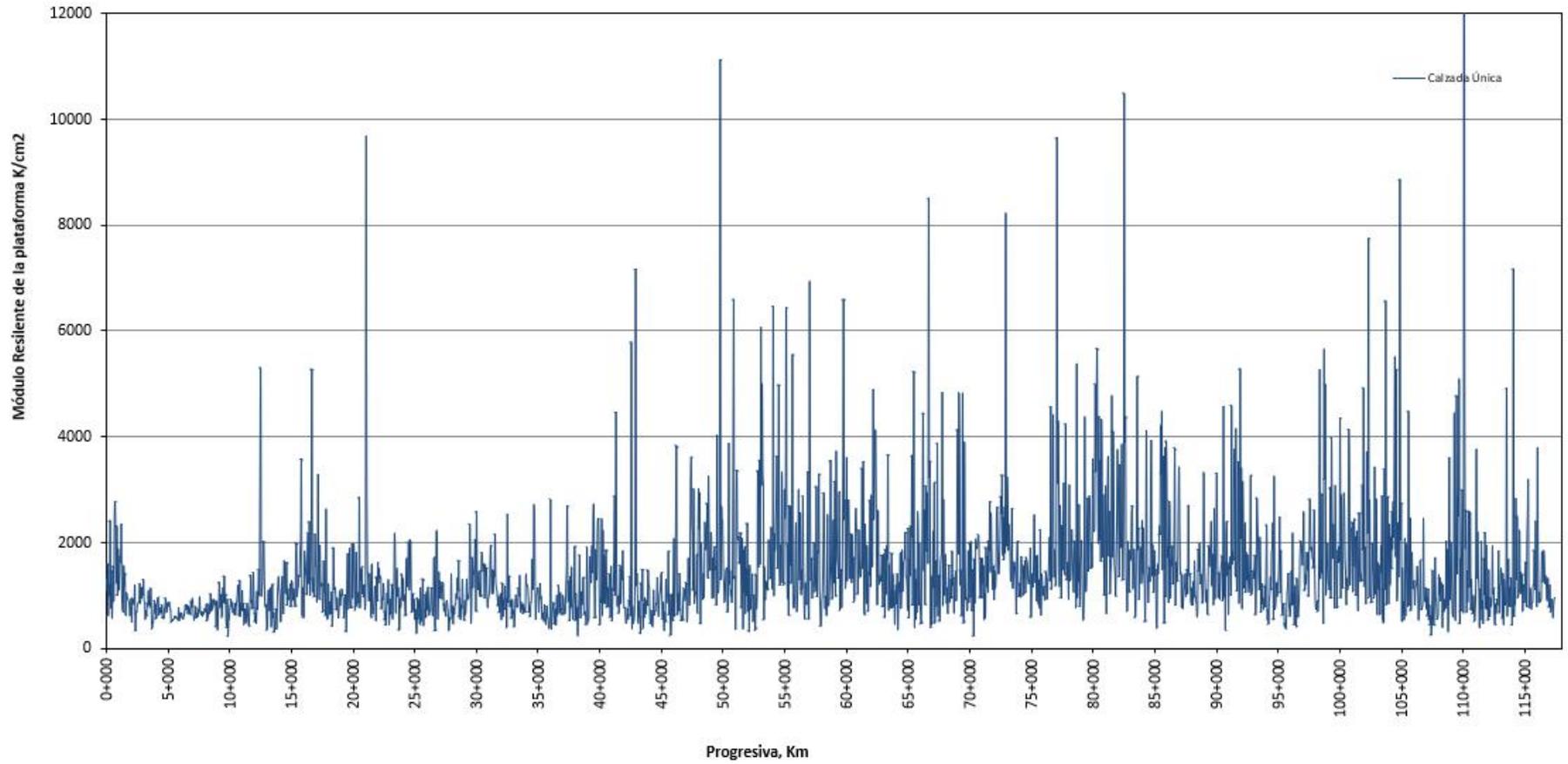




ANEXO D  
VALORES DE LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL EN LA CARRETERA CONOCOCHA  
YANACANCHA



### MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE



### MÓDULO EQUIVALENTE DEL PAVIMENTO

