



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

TEMA:

“IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA CAPA DE RODADURA DE LA VÍA PELILEO - COTALÓ ABS 8+000 – 12+000 DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”

AUTOR: Wellington Andrés Domínguez Vargas

TUTOR: Ing. Alex Gustavo López Arboleda Mg.

AMBATO – ECUADOR

Marzo – 2023

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA CAPA DE RODADURA DE LA VÍA PELILEO – COTALÓ ABS 8+000 – 12+000”**; elaborado por el Sr. Wellington Andrés Domínguez Vargas, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1803919313, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, marzo 2023



Ing. Mg. Alex Gustavo López Arboleda

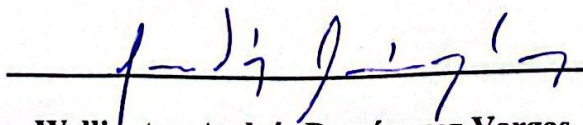
TUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, marzo 2023



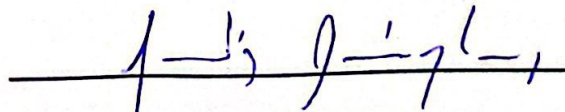
Wellington Andrés Domínguez Vargas
C.I. 1803919313

AUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Wellington Andrés Domínguez Vargas**, con C.I. 1803919313, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA CAPA DE RODADURA DE LA VÍA PELILEO – COTALÓ ABS 8+000 – 12+000”**, así como también los análisis, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



Wellington Andrés Domínguez Vargas
C.I. 1803919313

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Wellington Andrés Domínguez Vargas, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el Tema: **“IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA CAPA DE RODADURA DE LA VÍA PELILEO – COTALÓ ABS 8+000 – 12+000”**.

Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Jorge Javier Guevara Robalino
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente documento va dedicado a mi familia que siempre ha estado a mi lado en los momentos difíciles, siendo imprescindibles para alcanzar mi objetivo.

De manera especial agradezco a mis padres y a mis abuelitos, que fueron mi mayor apoyo durante toda mi vida, enseñándome a ser una persona de bien por sobre todas las cosas.

A mi abuelita, aunque el tiempo no nos alcanzó para que estuviera a mi lado en estos momentos le dedico mis logros ya que es la persona a la que más amé en mi vida.

A mis hermanos y amigos que me acompañaron en muchas situaciones que formaron mi personalidad.

A Jiasi que me demostró amor verdadero y apoyo incondicional.

A mis docentes que me instruyeron en el ámbito profesional y al Ing. Alex López que fue mi guía en la elaboración del presente proyecto.

Andrés Domínguez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y a mis abuelitos por ser apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos y amigos que me acompañaron en muchas situaciones que fueron determinantes para conseguir mi objetivo.

A mis docentes por compartir su conocimiento y ser fundamentales para desarrollar este proyecto, de manera especial a mi tutor el Ing. Alex López quien me ayudó resolviendo inquietudes y me guio durante el proceso necesario para realizar el presente trabajo.

A la Universidad Técnica de Ambato, a la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por permitirme adquirir los conocimientos necesarios para ser un buen profesional.

Andrés Domínguez

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo General	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....	5
2.1 Materiales.....	5
2.2.1 Fase 1.- Levantamiento georreferenciado del área de trabajo	7
2.2.2 Fase 2.- Estudios de movilidad vehicular.....	8
2.2.3 Fase 3.- Determinación de los componentes físicos de la vía	10
2.2.4 Fase 4.- Propuesta del plan de mantenimiento en función del deterioro de la vía	23
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1 Análisis y Discusión de los Resultados.....	24
3.1.1 Ubicación del Proyecto.....	24
3.1.2 Georreferenciación de la vía	24
3.1.3 Análisis de tráfico	25
3.1.3.1 Determinación del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) por medio de la trigésima hora.	26
3.1.3.2 Cálculo del Tráfico promedio diario Anual (TPDA).....	28
3.1.3.3 Cálculo del tráfico atraído.....	29
3.1.3.4 Cálculo del tráfico promedio diario anual total	30

3.1.3.5	Cálculo del tráfico futuro	31
3.1.3.6	Tipo de vía en Función al tráfico Futuro (TPDAf)	32
3.1.3.7.	Cálculo de ejes equivalentes.....	34
3.1.4	Estudio de Suelos.....	36
3.1.4.1	Análisis Granulométrico.....	37
3.1.4.2	Límites de Atterberg.....	37
3.1.4.3	Proctor Modificado Tipo B	38
3.1.4.4	Ensayo de Relación de Soporte California (CBR)	38
3.1.5	Cálculo del índice de Condición del Pavimento (PCI)	39
3.1.5.1	Longitud de la Unidad de Muestreo	40
3.1.5.2	Unidades Mínimas de Muestro.....	40
3.1.5.3	Intervalos para la Muestra.....	40
3.1.5.4	Cálculo de la densidad.....	42
3.1.5.5	Cálculo del valor deducido	43
3.1.5.6	Número máximo de valores deducidos.....	44
3.1.5.7	Determinación del Valor máximo compensado (CDV)	44
3.1.5.8	Cálculo del PCI para la vía Pelileo – Cotaló entre las Abscisas 8+000 a la 12+000	45
3.1.6	Evaluación de deflexiones en la capa de rodadura.....	46
3.1.6.1	Corrección por el brazo con relación 1:2 de la viga Benkelman	47
3.1.6.2	Corrección de las deflexiones por temperatura.....	48
3.1.6.3	Radio de curvatura	50
3.1.6.4	Deflexión Característica	51
3.1.7	Plan de Conservación Vial.....	56
CAPÍTULO IV. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		60
4.1.	Conclusiones.....	60
4.2.	Recomendaciones	62
MATERIALES DE REFERENCIA.....		63
Referencias Bibliográficas		63
ANEXOS		66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Materiales y equipo usados en la georreferenciación	5
Tabla 2: Materiales y equipo para propiedades de la vía.....	5
Tabla 3: Especificaciones de materiales y equipo para propiedades de la vía.....	6
Tabla 4: Formato de conteo vehicular.....	8
Tabla 5: Ensayos y su normativa correspondiente.....	11
Tabla 6: Formato para ensayo de granulometría.....	11
Tabla 7: Dimensiones del equipo usado en el ensayo Proctor modificado	14
Tabla 8: Clasificación de suelos según CBR	15
Tabla 9: Formato de evaluación PCI.....	16
Tabla 10: Rango de calificación del PCI	17
Tabla 11: Nivel de intervención del pavimento	18
Tabla 12: Punto de ensayo desde el borde del pavimento - ensayo viga Benkelman	19
Tabla 13: Hoja de registro de datos Viga Benkelman	20
Tabla 14: Operaciones de mantenimiento según la NEVI.....	23
Tabla 15: Coordenadas del proyecto.....	24
Tabla 16: Georreferenciación de la Vía	25
Tabla 17: Obras complementarias	25
Tabla 18: Coordenadas de la estación de conteo vehicular	26
Tabla 19: Número de vehículos que circulan por día	27
Tabla 20: Conteo Vehicular: Hora pico	28
Tabla 21: TPDA actual de la Vía Pelileo -Cotaló.....	29
Tabla 22: Tráfico atraído de la Vía Pelileo - Cotaló.....	30
Tabla 23: TPDA de la Vía Pelileo - Cotaló	31
Tabla 24: Tasa de crecimiento vehicular Tungurahua	31
Tabla 25: Tráfico futuro en la vía Pelileo - Cotaló	32
Tabla 26: Clasificación de carreteras según el TPDAf.....	33
Tabla 27: Clasificación Funcional de carreteras según el TPDAf.....	33
Tabla 28: Factores de daño según el tipo de vehículo	34
Tabla 29: Factores de distribución direccional (Fd)	35
Tabla 30: Porcentaje de W19 en el carril (DI).....	35
Tabla 31: Ejes equivalentes proyectados a 20 años	36
Tabla 32: Muestras de suelo.....	37

Tabla 33: Resultados Granulometría	37
Tabla 34: Resultados límites de Atterberg	38
Tabla 35: Resultados Proctor Modificado	38
Tabla 36: Resultados CBR.....	39
Tabla 37: Datos para el PCI	39
Tabla 38: Datos de las Unidades de Muestreo	41
Tabla 39: Cálculo del PCI – Segunda unidad de muestreo.....	42
Tabla 40: Determinación del CDV – Segunda unidad de muestreo.	44
Tabla 41: PCI de la vía Pelileo – Cotaló Abs 8+000 – 12+000.....	46
Tabla 42: Deflexiones de la vía Pelileo – Cotaló Abs 8+000 – 12+000.....	47
Tabla 43: Deflexiones corregidas por el brazo con relación 1:2.....	48
Tabla 44: Deflexiones corregidas por temperatura	49
Tabla 45: Factores de corrección por estacionalidad	49
Tabla 46: Deflexiones corregidas estacionalidad.....	50
Tabla 47: Radio de curvatura	51
Tabla 48: Desviación estándar de las deflexiones máximas obtenidas.....	52
Tabla 49: Ecuaciones de deflexiones características	53
Tabla 50: Tipos de deflexiones	54
Tabla 51: Resultados ensayo Viga Benkelman.....	54
Tabla 52: Deflexiones proyectadas	55
Tabla 53: Solución para falla piel de cocodrilo	56
Tabla 54: Solución para falla agrietamiento de bloque.....	57
Tabla 55: Solución para falla grietas longitudinales y transversales	57
Tabla 56: Solución para falla huecos	57
Tabla 57: Solución para falla grieta parabólica	57
Tabla 58: Solución para falla desprendimiento de agregados.....	58
Tabla 59: Resumen del plan de mantenimiento vial	58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1: Vía Pelileo – Cotaló Abs 8+000 – 12+000.....	24
Figura 2: Estación de conteo vehicular	26
Figura 3: Número de vehículos que circulan por día	27
Figura 4: Dimensiones de vía de capacidad media	34
Figura 6: Ábaco para calcular valor deducido de huecos.	43
Figura 7: Ábaco para la obtención del TDV	45
Figura 8: Deflectograma	55
Figura 9: Deflexiones proyectadas	56

RESUMEN

La vía Pelileo – Cotaló sirve como vía alterna hacia la ciudad de Riobamba, por lo mismo sirve de vínculo entre los pueblos aledaños a la misma que basan su economía en el comercio y la agricultura. Un funcionamiento correcto y serviciabilidad alta de la vía facilita el intercambio de productos.

El primer paso del proyecto fue el levantamiento georreferenciado de la vía mediante un dispositivo GPS, obteniendo 448 puntos, con los que se graficó un modelo georreferenciado.

Se estableció un punto de control vehicular, contando vehículos en intervalos de 12 horas durante 7 días consecutivos, valores necesarios para el TPDA y el Tráfico Futuro proyectado a 20 años, obteniendo que la vía de estudio de acuerdo al MOP es un Corredor Arterial Clase I.

Para conocer la capacidad portante del suelo se extrajeron muestras para analizarlas dando como resultado que el suelo pertenece al grupo de arenas finas con un CBR promedio de 13.71 por ciento que indica que el suelo usado para subrasante está dentro del rango “Regular – Buena”.

Utilizando el método PCI, que se realizó en 15 unidades de muestreo, se obtuvo como resultado un valor de 82.6, es decir, que la vía tiene un nivel de satisfactorio. El comportamiento de la estructura del pavimento se evidenció en las deflexiones de tipo I, que nos indican un comportamiento satisfactorio.

Finalmente, con todos estos estudios preliminares se propuso un plan de mantenimiento vial rutinario para recuperar la serviciabilidad de la carretera y mantenerla en buen estado para años posteriores.

Palabras clave: Georreferenciación, Tráfico futuro, CBR, PCI, Deflexiones, Mantenimiento vial.

ABSTRACT

The Pelileo - Cotaló road serves as an alternative road to the city of Riobamba and moreover, it works as a link between the neighboring towns that base their economy on commerce and agriculture. A correct operation and high serviceability of the road facilitate this communication and exchange of products. For this reason, establishing a maintenance and conservation plan for its structure will allow us to extend its useful life.

The first step of the project was the georeferenced survey of the road using a GPS device, obtaining 448 points, with which a georeferenced model was plotted.

A vehicle control point was established, counting vehicles in 12-hour intervals during 7 consecutive days, values necessary for the TPDA and the Future Traffic projected to 20 years, obtaining that the study road according to the MOP is a Class I Arterial Corridor.

To determine the bearing capacity of the soil, samples were extracted for analysis, resulting in the soil belonging to the fine sand group with an average CBR of 13.71 percent, which indicates that the soil used for subgrade is in the "Fair - Good" range.

Using the PCI method, which was performed in 15 sampling units, a value of 82.6 was obtained, which means that the road has a satisfactory level. The behavior of the pavement structure was evidenced in the type I deflections, which indicate a satisfactory behavior.

Finally, with all these preliminary studies, a routine road maintenance plan was proposed to recover the serviceability of the road and maintain it in good condition for future years.

Keywords: Georeferencing, Future traffic, CBR, PCI, Deflections, Road maintenance.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

El sistema vial existente alrededor del mundo está compuesto de un conjunto de vías y obras complementarias, siendo las primeras el elemento al que se considera como el eje principal de la comunicación y comercio por vía terrestre de un país o región, trayendo beneficio individual y colectivo para los habitantes que tienen acceso a ellas. [1]

Debido a las características de las carreteras descritas anteriormente, en los últimos 30 años el mantenimiento de la infraestructura vial ha adquirido una importancia cada vez mayor. Al estar construidas a la intemperie, las condiciones climáticas adversas y siempre cambiantes influyen directamente en el deterioro de las capas que componen la estructura de un pavimento. [2]

Sin embargo, este factor no es el único que provoca el deterioro de una vía, otras condiciones adversas como la repetición de cargas producida por el tráfico, los movimientos telúricos, el peso propio de las diversas capas que conforman la estructura de la obra, son agentes que inciden directa o indirectamente en el desgaste de la misma provocando diversas fallas que son notorias en la capa de rodadura. [3]

La presencia de estas fallas afecta a la serviciabilidad que ofrece la vía al usuario que se moviliza sobre ella, lo que afecta al desarrollo local y a la competitividad con los demás países, es por esto que los estados invierten cantidades importantes de dinero para su creación y mantenimiento, para lo cual las entidades encargadas de estos procesos deben contar con una estrategia que optimice los programas de construcción y recuperación del sistema vial. Estos programas deben ser periódicos para evitar un daño permanente de la estructura de la vía. [4]

La implementación de cualquier programa de mantenimiento vial debe seguir un orden secuencial, teniendo como primer punto el levantamiento topográfico de la zona que nos permitirá georreferenciar el área de estudio, identificar elementos relevantes presentes en la vía y ubicar los sitios donde se presenta la mayor afectación y deterioro. [5]

Como se mencionó anteriormente, la repetición de cargas aplicadas en la estructura

vial afecta directamente al desgaste de la misma, debido a esto para realizar un plan funcional es necesario conocer el tipo y número de vehículos que transitan por una vía durante un período de tiempo determinado. En base a este dato se pueden establecer características como: niveles de servicio, tipo de carretera, tráfico actual y proyección a futuro. [6]

Cambiando de enfoque, la durabilidad de una vía también dependerá del material con el que fue construido, por ello es necesario realizar ensayos que permitan conocer la calidad del mismo, siendo el análisis CBR un indicador de la capacidad de resistencia de una muestra dependiendo de la capa de la estructura del pavimento a utilizar. [7]

Tanto la metodología PCI, catalogada como la más completa en cuanto a evaluación de un pavimento, que nos permite conocer la condición de una carretera mediante inspección visual y el ensayo de la viga Benkelman que mide la deflexión vertical que experimenta un pavimento al ser aplicada una carga, completan el proceso necesario para un diagnóstico y propuesta de plan de mantenimiento funcional. [8]

En Ecuador, las vías de segundo y tercer orden son fundamentales para el sector agrícola, ya que permiten la movilización de los productos de la zona de producción hasta el lugar donde se comercializan. Es por esto que se debe prestar especial atención al mantenimiento rutinario de las mismas, para garantizar una movilización segura que permita el avance de la comunicación entre el sector rural y el urbano, promoviendo el desarrollo del país. [9]

En el caso de la Provincia de Tungurahua, una provincia ubicada en el centro del país y por donde pasan vías que unen provincias de una región a otra, es decir, que son clave para el comercio de productos que no se podrían encontrar sin el comercio movlizado por vías terrestres, el mantenimiento rutinario debe ser regulado e implementado periódicamente para agilizar esta comunicación. [10]

El cantón Pelileo perteneciente a la provincia de Tungurahua, con aproximadamente 56 573 habitantes, tiene como su principal actividad económica la producción de jeans, pero también cuenta con actividades como el cultivo y comercialización de productos del campo, los mismos que necesitan de una vía en estado óptimo para su distribución hacia los mercados en los que se pondrán a disposición de los consumidores. [11]

La vía Pelileo - Cotaló, es una ruta muy útil y necesaria para el buen funcionamiento de la red vial de Tungurahua ya que, a pesar de que existe una vía Ambato – Riobamba, los días de gran afluencia vehicular, sobre todo los feriados y fines de semana, esta vía se ve saturada debido a que solo consta con un carril de ida y otro de regreso. Con la vía Pelileo - Cotaló, muchos de los vehículos pueden optar por tomar esta opción y evitar el congestionamiento.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Proponer un sistema de gestión de conservación vial en función de las características físicas de la vía Pelileo - Cotaló ABS 8+000 – 12+000 de la provincia de Tungurahua.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Disponer de un levantamiento topográfico georreferenciado de la Pelileo - Cotaló ABS 8+000 – 12+000 de la provincia de Tungurahua.
- Conocer la movilidad vehicular en la vía Pelileo - Cotaló ABS 8+000 – 12+000 de la provincia de Tungurahua.
- Evaluar los componentes físicos de la vía Pelileo - Cotaló ABS 8+000 – 12+000 de la provincia de Tungurahua.
- Proponer un plan de mantenimiento en función del deterioro hallado en la vía Pelileo – Cotaló, Abs 8+000 – 12+000 de la provincia de Tungurahua.



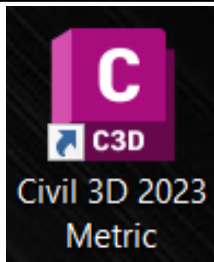
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para realizar cada uno de los procesos, se utilizaron los materiales más adecuados para los mismos, los mismos fueron clasificados de acuerdo a fases secuenciales y se detallan a continuación:

2.1.1 Fase 1.- Georreferenciación

Tabla 1: Materiales y equipo usados en la georreferenciación

Receptor GPS	Software	Software
Marca: Garmin	Excel	Civil 3D 2023
Modelo: 66sr	Desarrollador: Microsoft	Desarrollador: Autodesk
		

Fuente: Autor

Fase 2.- Estudios de movilidad vehicular

Estudios de tráfico:

Para el conteo vehicular se utilizó el formato detallado en la tabla 4, para posteriormente en el estudio de tráfico utilizar el software Excel para facilitar la organización de los datos y la resolución de los cálculos necesarios.

Fase 3.- Determinación de los componentes físicos de la vía

Características de la vía Pelileo – Cotaló de la provincia de Tungurahua

Tabla 2: Materiales y equipo para propiedades de la vía.







Ensayo	Materiales	Equipos
Obtención de muestras alteradas	Costales	Flexómetro, picos, palas.
Granulometría	Muestra de suelo	Balanzas, tamizador, tamices

Límite líquido	Muestra de suelo(que pasa tamiz N° 40), agua	Copa de Casagrande, balanza, acanalador, espátula, recipiente, horno
Límite plástico	Muestra de suelo(que pasa tamiz N° 40), agua	Mortero, placa de vidrio, espátula, recipiente, horno
Proctor modificado	Agua, muestra de suelo	Recipientes, bandejas, moldes cilíndricos de metal, balanza, martillo compactador, horno
CBR	Agua, muestra de suelo	Recipientes, bandejas, moldes cilíndricos de metal, balanza, martillo compactador, máquina multispeed, pesas(ranurada y anular) horno
Deflexiones (viga Benkelman)	Flexómetro, agua, tiza, combo, cinta métrica	Viga Benkelman, termómetro, volqueta

Fuente: Autor

Tabla 3: Especificaciones de materiales y equipo para propiedades de la vía.

Molde cilíndrico	Balanza	Horno
Marca: S/M	Marca: México	Marca: S/M
		
Tamices	Tamizador	Copa de Casagrande
Marca: Controls	Marca: Controls	Marca: S/M
		

Martillo compactador	Máquina multispeed	Recipiente
Marca: Controls	Marca: Controls 34V1174	Marca: S/N
		
Termómetro	Volqueta	Viga Benkelman
Marca: S/M	Marca: Hino	Marca: Controls 80-B018
		

Fuente: Autor

Fase 4.- Plan de mantenimiento en función del deterioro de la vía

Para el plan de mantenimiento vial se utilizó Excel para elaborar la tabla con las cantidades a reparar y el proceso que optimice esta reparación.

2.2. Métodos

Investigación de campo

Los datos de una investigación exploratoria o de campo se obtienen del lugar en el que se lleva a cabo el proyecto, cuya finalidad se basa en identificar las condiciones del sitio, así como obtener la mayor cantidad de información, esta puede ocasionar ciertas dificultades al momento de su ejecución, por factores climáticos o de tiempo. [12]

Esta metodología fue aplicada en el levantamiento georreferenciado de la vía, el conteo vehicular para el cálculo del TPDA y ejes equivalentes, el diagnóstico visual mediante el proceso PCI y el cálculo de las deflexiones mediante la viga Benkelman.

2.2.1 Fase 1.- Levantamiento georreferenciado del área de trabajo

Levantamiento Topográfico

Utilizando un dispositivo GPS, cinta métrica, pintura, libreta de campo y equipo de seguridad se efectuó una toma de puntos alrededor de todo el tramo vial de estudio,

con distancias de 25 metros en rectas y de 10 metros en curvas, adicionalmente se anotaron las obras complementarias existentes en la vía tales como: cunetas, alcantarillado, muros, puentes, intersecciones.

2.2.2 Fase 2.- Estudios de movilidad vehicular

Tasa de flujo vehicular

Es necesario conocer el volumen de tráfico vehicular de la vía ya que en él se basa su clasificación y se puede tener más claro el nivel de interacción entre las dimensiones de la vía y la cantidad de vehículos que circulan por la misma. [13]

Esta información fue recolectada mediante el conteo de los vehículos que circulan por la vía en un intervalo de doce horas durante siete días, el registro se tomó desde puntos clave de la vía previamente establecidos debido a su ubicación estratégica para la toma de datos.

Tabla 4: Formato de conteo vehicular

 		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL CONTEO DE TRÁFICO VEHICULAR										
PROYECTO IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA CAPA DE RODADURA DE LA VÍA PELILEO- COTALÓ ABS 8+000 – 12+000 DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA												
Fecha	27/11/2022	Provincia:	Tungurahua	Dirección tráfico	Clima	Ambos Sentidos	Soleado	Estación N°	1	N° hoja	7	
Día	Domingo	Cantón:	Pelileo	Ubicación	9+300	Responsable	Andrés Domínguez					
HORA	LIVIANOS			BUSES		PESADOS			OTROS		SUMATORIA TOTAL POR HORA	
	Automovil	Camionetas	Motos	Livianos	Pesados	Dos Ejes (C-1)		Tres Ejes (C-2)	>Tres Ejes (C-3)	Sin Ejes		
												
13H00	13H00 - 13H15	65	72	2	8	3	7	-	-	-	-	
	13H15 - 13H30	63	78	3	6	3	8	2	-	-	-	
	13H30 - 13H45	69	77	5	8	2	10	1	-	-	-	
	13H45 - 14H00	73	83	2	9	4	9	-	-	-	-	
SUMATORIA PARCIAL		270	310	12	31	12	34	3	0	0	0	672

Fuente: Autor

Tráfico Promedio Diario Anual

En base a la NEVI, la clasificación funcional de una vía viene dado por el cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), el decir el volumen de vehículos que transitan por promedio en un día. Este valor es un ejemplo de pronóstico de volumen de tránsito a futuro. [14]

TPDA actual

$$TPDA a = \frac{VHP}{k}$$

Donde:

TPDAa: TPDA actual

VHP: Volumen de la hora pico

K: Factor de la relación entre el volumen de la 30va hora y TE. (K = 0.08 para zonas urbanas, 0.12 para zonas rurales secundarias y 0.16 para zonas rurales principales)

$$TPDA = TPDA\ actual + Tat$$

Donde:

TPDA: Tráfico promedio diario anual

TPDA actual: Tráfico promedio diario anual actual

Tat: Tráfico atraído = 10% de TE

Volumen de hora pico

Es el intervalo de una hora en el que la movilidad vehicular ha alcanzado su punto máximo, la misma varía de acuerdo al sector en el que se realiza la toma de datos. [15]

Esta variación se anota en la siguiente ecuación como el factor k, que relaciona el volumen de la 30va hora y el TE.

$$VHP = k * TPDAa$$

Donde:

VHP: Volumen de la hora pico

TPDAa: TPDA actual

K: Factor de la relación entre el volumen de la 30va hora y TE. (K = 0.08 para zonas urbanas, 0.12 para zonas rurales secundarias y 0.16 para zonas rurales principales)

Tráfico futuro

En el mejoramiento de carreteras se utiliza un parámetro de diseño proyectado entre 10 a 30 años, es decir su período de vida útil y aplicando el crecimiento normal, tránsito

de desarrollo y tránsito producido. [16]

Se lo estimó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$T_f = T_a * (1 + i)^n$$

Ecuación 4

Donde:

T_f : Tráfico Futuro

T_a : Tráfico actual o TPDA

i : Tasa de crecimiento del tráfico

n : Número de Años proyectados

Tránsito atraído

Es el tránsito que se traslada de otras vías hacia la vía de estudio cuando el proceso constructivo culmina. [17]

$$T(at) = 10\% * TPDA_a$$

Ecuación 5

Donde:

TPDA_a: Tráfico actual

T(at): Tránsito atraído

2.2.3 Fase 3.- Determinación de los componentes físicos de la vía

Investigación de laboratorio

Los datos de una investigación de laboratorio se obtienen a partir de una hipótesis, que, mediante la experimentación, nos indica la relación entre las variables que se encuentran dentro de esta premisa. [12]

Esta metodología fue aplicada en los ensayos para la determinación de las propiedades del suelo que conforma la subrasante de la vía.

Recolección de Muestra de suelo para ensayos de laboratorio

Se llevo a cabo cuatro calicatas en diferentes puntos a lo largo de todo el tramo de estudio, la extracción de la muestra de suelo se efectuó a una profundidad de 1 a 1.1 metros, de donde se obtuvieron 40 kg, los cuales fueron trasladados a un laboratorio.

Estudios de Suelos

Tabla 5: Ensayos y su normativa correspondiente

Ensayos	Normativa
Obtención de muestra de suelo	NTE INEN 686
Granulometría	ASTM D421-58
Límite Líquido	ASTM D4318 - INEN 691
Límite Plástico	ASTM D4318 - INEN 691
Proctor Modificado	AASHTO T-180 ASTM D1557
CBR	ASTM D 1883
Deflexiones mediante Viga Benkelman	AASHTO T256



Fuente: Autor

Granulometría

Se basa en encontrar la distribución de las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño, lo que nos permite determinar si un suelo es el adecuado para usarlo como subbase o base ya que el porcentaje de composición del suelo incide directamente con la resistencia mecánica y el comportamiento del mismo. [18]

Se lo realizó con una muestra de 1000 gr y empleando los tamices para granulometría fina, es decir, desde el tamiz #4 (4.72 mm de abertura) hasta el tamiz #200 (0.075 mm de abertura), todos estos ordenados de acuerdo a su abertura, del mayor al menor. Se dejó en la máquina vibradora de tamices un tiempo de 15 minutos, después de esto se procedió a pesar la cantidad de suelo retenida en cada tamiz. Utilizando las cantidades de suelo retenidas y el porcentaje de suelo que pasó cada tamiz se obtuvo el porcentaje de material del que estaba compuesto cada muestra.

Tabla 6: Formato para ensayo de granulometría

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ESTUDIO DE SUELOS 						
Proyecto: "Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Pelileo - Cotalo ABS 8+000 - 12+000 de la provincia de Tungurahua"						
ABS: 10+300			Peso de la muestra: 1000 gr			
Norma: ASSTM D-421-58						
Ensayado por: Wellington Andrés Domínguez Vargas						
GRANULOMETRIA						
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESOS RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO (gr)	% QUE PASA	
4	4,76					
8	2,38					
10	2,00					
16	1,19					
30	0,565					
40	0,42					
50	0,297					
60	0,25					
100	0,149					
200	0,074					
FUENTE						
RESULTADOS						
COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA			PORCENTAJE DE MATERIAL			
D10mm			GRAVA (%)	ARENA (%)	LIMO Y ARCILLA (%)	
D30mm						
D60mm						
$C_u = D_{60}/D_{10}$						
$C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} * D_{10})$						

Fuente: Autor

Clasificación del suelo

Su clasificación técnica se centra en las características de estos, cuya clasificación es obtenida mediante ensayos de límites de Atterberg y granulometría, basándonos en la tabla del anexo A1 que se estableció por la AASHTO.

Es importante anotar que el clasificar los suelos de acuerdo a su granulometría no se toma en cuenta muchas propiedades del suelo, por lo que se consideran inadecuados para trabajos de ingeniería. Los sistemas AASHTO y SUCS toman en cuenta ambas características, siendo el primero usado en su mayoría por los organismos estatales y regionales de carreteras y el segundo preferido por los ingenieros geotécnicos. [19]

Límites de Atterberg

- **Límite líquido:** Se entiende como límite líquido al nivel de humedad del suelo en el que, haciendo relación con el peso del suelo en estado seco, lo convierte en suelo líquido. [20]

El ensayo emplea la muestra de suelo que tras ser sometida a un tamizado pasa por el tamiz #40, a este suelo se le agrega agua hasta lograr una consistencia moldeable para que posteriormente se emplee la copa de Casagrande, del cual se obtiene un resultado en función del número de golpes que se dan.

- **Límite plástico:** Se define como límite plástico al porcentaje de humedad, comparado con el peso seco de la muestra, en el que un suelo cohesivo pasa de un estado semisólido a un estado plástico. [21]

El ensayo emplea la muestra de suelo que tras ser sometida a un tamizado pasa por el tamiz #40, a este suelo se le incorpora agua en pequeñas cantidades, hasta lograr una consistencia que no se adhiera al cristal, para posteriormente formar cilindros de 3 a 4 mm de diámetro.

- **Índice de plasticidad:** Su obtención viene dada de la diferencia entre el límite líquido y límite plástico. [22]

Si el índice posee un valor bajo, el suelo posee características plásticas, si es alto, incrementaría el peligro de deterioro de las condiciones físicas.

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 6

Se llevaron a cabo dos ensayos, límite líquido y límite plástico, ambos fueron llevados a cabo con la muestra de suelo que pasa el tamiz #40 en granulometría.

Límite líquido: Se colocaron aproximadamente 300 gr de muestra en un mortero para posteriormente incorporar agua hasta alcanzar una consistencia que nos permita colocarla en la copa de Casagrande para que abarque la superficie destinada para el ensayo. Luego se realiza un canal por la mitad de la muestra con el ranurador, la misma que debe llegar hasta el fondo de la copa. Una vez realizado esto, se enciende la copa de Casagrande hasta registrar el número de golpes en el que el suelo se une, los mismos deben caer dentro de los siguientes intervalos: de 0 a 15, de 15 a 25, de 25 a 35 y de 35 a 45. El proceso se lo realiza tres veces con cada nivel de humedad necesario para que los golpes sean los mismos. Se tomó la muestra de la parte en donde se unieron

los dos lados separados por el canal, se pesaron y se sacó el contenido de humedad de los mismos.

Límite plástico: Se colocaron en el mortero aproximadamente 300 gr de suelo, al que se le añadió agua hasta alcanzar una consistencia moldeable para posteriormente realizar 5 rollos de 3 mm de diámetro los que se pesaron y posteriormente se obtuvo su contenido de humedad.

Ensayo Proctor Modificado

Este ensayo nos permite encontrar el contenido de humedad óptimo, el mismo que se refiere al contenido de humedad en el que el suelo puede ser compactado hasta alcanzar su máxima densidad seca usando un esfuerzo de compactación modificado. [23]

Tabla 7: Dimensiones del equipo usado en el ensayo Proctor modificado

	PROCTOR MODIFICADO
Wmartillo	4,54 [kg]
Longitud	45,72 [cm]
Capas	5
# golpes/capa	56

Fuente: Autor

Se emplearon aproximadamente 24 kg de suelo, el mismo que se encontraba seco y tamizado por el tamiz #4. Posterior a esto, el material fue dividido en cuatro muestras de 6 kg.

El procedimiento para cada una de las muestras fue el mismo y se detalla a continuación:

Se mezcló la muestra con el porcentaje de agua necesario para el primer punto, una vez homogenizado se dividió en 5 porciones, las mismas que fueron añadidas una a la vez en el molde con su respectivo collarín, en cada capa se compactó el suelo con el martillo Proctor con 56 golpes, al finalizar se enrazó al material sin el collarín y se lo pesó, finalmente se tomaron muestras para obtener el contenido de humedad. Este proceso se repitió con cada muestra, pero el porcentaje de agua se fue incrementando para así obtener la curva de humedad vs densidad seca.

Ensayo CBR (Relación de Soporte de California)

El ensayo de CBR nos permite analizar la calidad del suelo de acuerdo a varias de sus propiedades tales como: la resistencia al corte, humedad, nivel de compactación y densidad. [24]

Se emplea este ensayo en proyectos viales para analizar la subrasante, subbase y base, Se lo lleva a cabo en conjunto a los ensayos Proctor y facilita datos reales de la resistencia al corte, densidad y humedad, cuya finalidad se centra en determinar la humedad óptima, así como los niveles de compactación del material ensayado. [25]

El cálculo del valor de CBR viene dado por la siguiente fórmula.

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga unitaria de ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100$$

Ecuación 7

De acuerdo al porcentaje de CBR obtenido se puede clasificar el suelo de acuerdo al uso que se le va a dar, siendo estos: subrasante, subbase y base. [26]

Tabla 8: Clasificación de suelos según CBR

CBR	Clasificación General	Usos
2-5	Muy mala	Subrasante
5-8	Mala	Subrasante
8-20	Regular - Buena	Subrasante
20-30	Excelente	Subrasante
30-60	Buena	Subbase
60-80	Buena	Base
80-100	Excelente	Base

Fuente: Norma AASHTO-93

Para el ensayo se necesitó una muestra de aproximadamente 18 kg de suelo, los mismos que habían sido secados y tamizados por el tamiz #4. Se prepararon tres moldes, uno para cada porción de la muestra de 6kg. Una vez calculada la humedad óptima con el ensayo de Proctor modificado se añadió el porcentaje de agua necesario

para que el suelo alcance esta. Una vez pesado el molde y las retortas se coloca un papel filtro para evitar que el suelo se pegue a esta, se compactaron las muestras en sus respectivos moldes con 56, 25 y 10 golpes por capa, al final se enrazó y se tomaron muestras para determinar el contenido de humedad. Posteriormente se giró el molde, se retiró la retorta y se colocó otro papel filtro, sobre este se colocó el molde invertido, se colocaron los anillos con las pesas y los diales, tomando la lectura antes de sumergirlos hasta que alcancen su saturación.

Se sumergió el molde durante cuatro días para que se sature, se pesó y para finalizar fue sometido al ensayo de penetración con la máquina multispeed. Posterior a esto se tomaron dos muestras para calcular el contenido de humedad.

Método PCI

El método visual PCI basa su metodología en la evaluación de la calidad del pavimento mediante el conteo y medición de las distintas fallas presentes en la capa de rodadura de la misma, siendo un PCI alto equivalente a mejor calidad de vía.

De acuerdo a la normativa ASTM D6433 – 11 se tiene un formato para el análisis en pavimento flexible y otro para pavimento rígido, para realizar el ensayo de inspección visual en nuestra vía se utilizó el de pavimento flexible, de acuerdo a la tabla 9:

Tabla 9: Formato de evaluación PCI

		PCI FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - PCI					
Proyecto:	IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA CAPA DE RODADURA DE LA VÍA PELILEO- COTALÓ ABS 8+000 – 12+000 DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA					Esquema 	
Abscisa Inicial:	8+000	Ancho del Carril:	6,9 m	#Unidad de Muestreo:	1		
Abscisa Final:	8+027	Fecha de Evaluación:	27/12/2022	Área de Muestreo:	186,3 m		
Realizado por:	Andrés Domínguez	Revisado por:	Ing. Mg Alex Lopez				
1.- Piel de Cocodrilo	6.- Depresión	11.- Parcheo	16.- Desplazamiento				
2.- Exudación	7.- Grietas de borde	12.- Pulimento de agregados	17.- Grietas Parabólicas				
3.- Agrietamiento de bloque	8.- Grieta de reflexión de juntas	13.- Huecos	18.- Hinchamiento				
4.- Abultamientos y hundimientos	9.- Desnivel del carril /Berma	14.- Cruce de vía férrea	19.- Desprendimiento de agregados				
5.- Corrugación	10.- Grietas longitudinales y transversales	15.- Ahuellamiento					
CÓDIGO	SEVERIDAD	CANTIDAD			TOTAL	DENSIDAD %	VALOR DEDUCIDO

Fuente: Autor

En el cuadro siguiente se encuentran especificados los rangos de clasificación empleados en el método.

Tabla 10: Rango de calificación del PCI

Rango	Clasificación
100 - 85	Bueno
85 - 70	Satisfactorio
70 - 55	Aceptable
55 - 40	Deficiente
40 - 25	Muy deficiente
25- 10	Grave
10- 0	Fallado

Fuente: ASTM D6433-11, 2011

Unidades de Muestreo

Se refiere a una sección de la vía en la que se va a realizar la medición de las fallas, de su severidad y del tipo de las mismas mediante técnicas visuales para después obtener valores deducidos que nos ayuden en el cálculo del PCI. [27]

Longitud de Unidades de muestreo (L)

$$L = \frac{A}{Av}$$

Ecuación 8

Donde:

L: Longitud de la unidad de muestreo

A: Área de muestreo

Av: Ancho promedio de la vía

Unidades de muestreo totales (N)

$$N = \frac{Lt}{L}$$

Ecuación 9

Donde:

N: Número de Unidades de muestreo

Lt: Longitud del Tramo de Vía

L: Longitud de la unidad de muestreo

Unidades mínimas de muestreo (n)

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

Ecuación 10

Donde:

e: Error admisible PCI (e=5%)

N: Número total de unidades de muestreo

σ : Desviación estándar PCI (Se asume $\sigma = 10$ en pavimentos flexibles)

Intervalo de muestreo (i)

$$i = \frac{N}{n}$$

Ecuación 11

Donde:

i: Intervalo de muestreo

N: Unidades de muestreo

n: Número mínimo de unidades de muestreo

Tabla 11: Nivel de intervención del pavimento

Rango	Clasificación	Intervención
100 - 71	Bueno	Mantenimiento
31 - 70	Regular	Rehabilitación
0 - 30	Malo	Construcción

Fuente: ASTM D6433-07,2007

Clasificación de daños en pavimentos asfálticos

Los daños existentes en la capa de rodadura de un pavimento asfáltico se organizan de acuerdo a su tipo y severidad, en la tabla del anexo A2 se detallan los 19 tipos de fallas que pueden presentarse en el pavimento flexible.

Ensayo de deflexiones mediante el método de la Viga Benkelman

El método de medición de deflexiones mediante el uso de la viga Benkelman nos permite conocer la capacidad estructural de un pavimento de acuerdo a la relación existente entre la deflexión producida en un pavimento y la carga que la produce, es decir que la deflexión y la capacidad de resistencia a una carga de un pavimento son inversamente proporcionales. [28]

La viga Benkelman es un dispositivo simple con el que se determinó, en un punto de contacto directo de la misma con el pavimento, las deformaciones elásticas de la carpeta asfáltica. La viga Benkelman está compuesta por una parte fija que a su vez consta de tres apoyos que descansan sobre el pavimento y una parte móvil que está unida a la fija a través de un pivote de giro, la misma que sirve de brazo de medida. Se utiliza una volqueta previamente pesada con 18000 libras y sus llantas calibradas. [29]

Para realizar el ensayo se realizaron los siguientes pasos:

- Se abscisó el tramo cada 200 m, en los mismos se colocaron líneas guía a 0.25, 0.50, 1, 5 y 8 metros, con una separación desde el borde del pavimento de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 12: Punto de ensayo desde el borde del pavimento - ensayo viga Benkelman



Ancho del carril	Distancia desde el borde del pavimento hasta el punto de ensayo
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o más	0,90 m

Fuente: AASHTO T256

- El punto seleccionado para el ensayo debe coincidir con el eje de carga, por lo que se necesita de una guía que facilite la ubicación de la misma entre las dos llantas de la rueda doble de la volqueta. [30]
- Se coloca la llanta sobre el punto, buscando que esta coincida con el eje de centro de gravedad del neumático. [30]
- El extremo del brazo móvil de la viga se colocará sobre el punto cuando el vehículo no se encuentre en movimiento. [30]
- Para la toma de datos de las demás deflexiones se la hará en las líneas guías mencionadas en el primer paso, se recomienda tomar la lectura en al menos 3 ocasiones para su verificación. [30]
- Se verifica que la viga esté correctamente instalada, para esto se debe comprobar que se encuentre alineada con la dirección en la que avanza el camión, longitudinalmente. Posterior a eso, se encera el dial, se activa el vibrador y se realiza la toma de lecturas. [30]
- Se toma la temperatura del pavimento realizando un orificio de 4 cm de profundidad y del diámetro del termómetro. Este orificio estará ubicado sobre la línea paralela al eje de la vía y debe llenarse con aceite 10 minutos antes del ensayo siendo el intervalo válido desde 5°C hasta 35°C. [30]

Este ensayo se realizó en el sitio de estudio con el apoyo de una hoja de campo para el registro de datos:

Tabla 13: Hoja de registro de datos Viga Benkelman

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - VIGA BENKELMAN									
Proyecto: "Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Pelileo - Cotalo ABS 8+000 - 12+000 de la provincia de Tungurahua"									
Realizado por: Wellington Andrés Domínguez					Revisado por: Ing. Mg. Alex Lopez				
Estación	Abscisa	Lectura del Deflectómetro (X10e-2 mm)						Temperatura (°C)	Espesor (cm)
		D0	D25	D50	D100	D500	D800		

Fuente: Autor

Después de haber realizado la lectura de campo se emplean las siguientes fórmulas para calcular la capacidad estructural del pavimento:

Corrección por brazo de la viga Benkelman

$$D = RB * (Df - Do)$$

Ecuación 12

Donde:

D: Deflexiones

Df: Deflexión final

Do: Deflexion Inicial

RB: Relación del brazo de la viga

Corrección de deflexiones por cambio de temperatura

$$D_{20^{\circ}C} = \frac{Dt}{(1 \times 10^{-3} * h * (t - 20^{\circ}C) + 1)}$$

Ecuación 13

Donde:

$D_{20^{\circ}C}$: Deflexión con corrección de temperatura

Dt : Deflexión recuperable

t: temperatura del pavimento en el sitio

h: Espesor de la carpeta asfáltica

k: Constante para capas granulares, 1×10^{-3} (1/cm x °C)

Corrección por estacionalidad

$$D = 1.2 * D_{20^{\circ}C}$$

Ecuación 14

Donde:

D: Deflexión con corrección por estacionalidad

$D_{20^{\circ}C}$: Deflexión con corrección por temperatura

Radio de Curvatura

$$Rc = \frac{10 * 25^2}{2 * (D_0 - D_{25})}$$

Ecuación 15

Donde:

Rc: Radio de Curvatura (m)

D₀: Deflexión en 0 metros

D₂₅: Deflexión en 0.25 metros

Deflexión característica

$$D_c = \bar{D} + t * \sigma$$

Ecuación 16

Donde:

D_c: Deflexión característica

\bar{D} : Deflexión promedio

t: Coeficiente de probabilidad de presentar deflexiones superiores a D_c

σ : Desviación estándar

Deflexión admisible

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{w_{18}}\right)^{\frac{1}{4}} * 100$$

Ecuación 17

Donde:

D_{adm}: Deflexión admisible en millones

W18: Número de ejes equivalentes en millones

Deflexión crítica

$$D_{cr} = \left(\frac{1.9}{W18} \right)^{\frac{1}{5.3}} * 100$$

Ecuación 18

Donde:

D_{cr} : Deflexión crítica en millones

W18: Número de ejes equivalentes

2.2.4 Fase 4.- Propuesta del plan de mantenimiento en función del deterioro de la vía

Con los resultados de los ensayos se procedió a realizar la propuesta para el plan de mantenimiento vial, el mismo que basado en el nivel de PCI y las deflexiones obtenidas mediante la viga Benkelman, tendrá como objetivo el mantenimiento o rehabilitación de las secciones de la vía estudiada de acuerdo a su nivel de daño.

Los diferentes trabajos de mantenimiento son procesos que se denominan operaciones, son necesarios para un óptimo funcionamiento de la carretera y se encuentran divididos de acuerdo a la frecuencia con la que se realizan como indica la siguiente tabla:

Tabla 14: Operaciones de mantenimiento según la NEVI

Operaciones rutinarias	Operaciones periódicas
-Sellado de grietas -Bacheo superficial -Bacheo profundo -Nivelación de Bermas granulares no revestidas -Reperfilado de bermas en caminos con pavimento asfáltico	-Sellos bituminosos -Imprimación reforzada -Reposición de capa de rodadura en concreto asfáltico -Nivelación de Bermas granulares revestidas

Fuente: NEVI Volumen N°6

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y Discusión de los Resultados

3.1.1 Ubicación del Proyecto

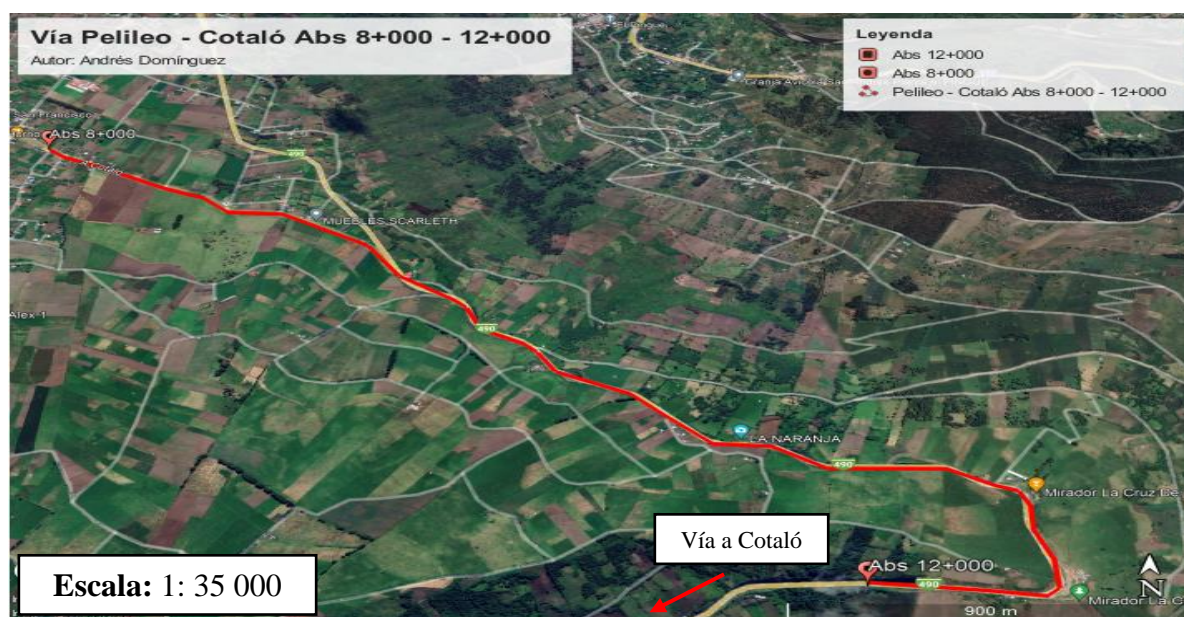
El proyecto se encuentra en la provincia de Tungurahua, en el cantón Pelileo, la misma sirve de conexión entre las ciudades de Pelileo y Cotaló, siendo el intervalo a analizar desde la abscisa 8+000 hasta la abscisa 12+000, siendo la extensión del tramo a estudiar de 4 kilómetros de longitud.

Tabla 15: Coordenadas del proyecto

ABSCISA	NORTE	ESTE
8+000	9846218.25	776519.13
12+000	9844387.27	778686.53

Fuente: Autor

Figura 1: Vía Pelileo – Cotaló Abs 8+000 – 12+000



Fuente: Google Earth Pro

3.1.2 Georreferenciación de la vía

Se realizó el proceso de georreferenciación siguiendo secuencialmente estos pasos:

- Se configuró el programa Civil 3D en sistema WGS84 zona 17 sur, logrando con esto activar la geolocalización, con el archivo anteriormente mencionado se creó un grupo de puntos que nos sirvieron para graficar la vía.
- Se graficó la vía detallando las abscisas, la estación de conteo de tránsito, las secciones de estudio PCI, las zonas de aplicación del ensayo de la viga Benkelman y la ubicación de las calicatas de las que se sacaron las muestras de suelo.

El resultado de este proceso se evidencia en el anexo F.

Tabla 16: Georreferenciación de la Vía

Ancho promedio de la calzada	Número de Carriles	Número de puntos levantados
8.7 m	2	408

Fuente: Autor

En la siguiente tabla se muestran las obras complementarias de la vía:

Tabla 17: Obras complementarias

Descripción	Abscisas	Valor	Unidad
Cunetas lado izquierdo	8+000 - 9+280	1280	m
Cunetas ambos lados	9+280 - 12+000	2720	m
Señalética Vertical	8+000 - 12+000	Buena	-
Señalética Horizontal	8+000 - 12+000	Buena	-
Intersección en Y	9+280	-	-

Fuente: Autor

3.1.3 Análisis de tráfico

El conteo vehicular se ejecutó de manera manual, recolectando el número y el tipo de vehículos que transitan por la vía en estudio. Para la realización del mismo se ubicó una estación de conteo vehicular en el km 9+300 y se realizó durante 7 días

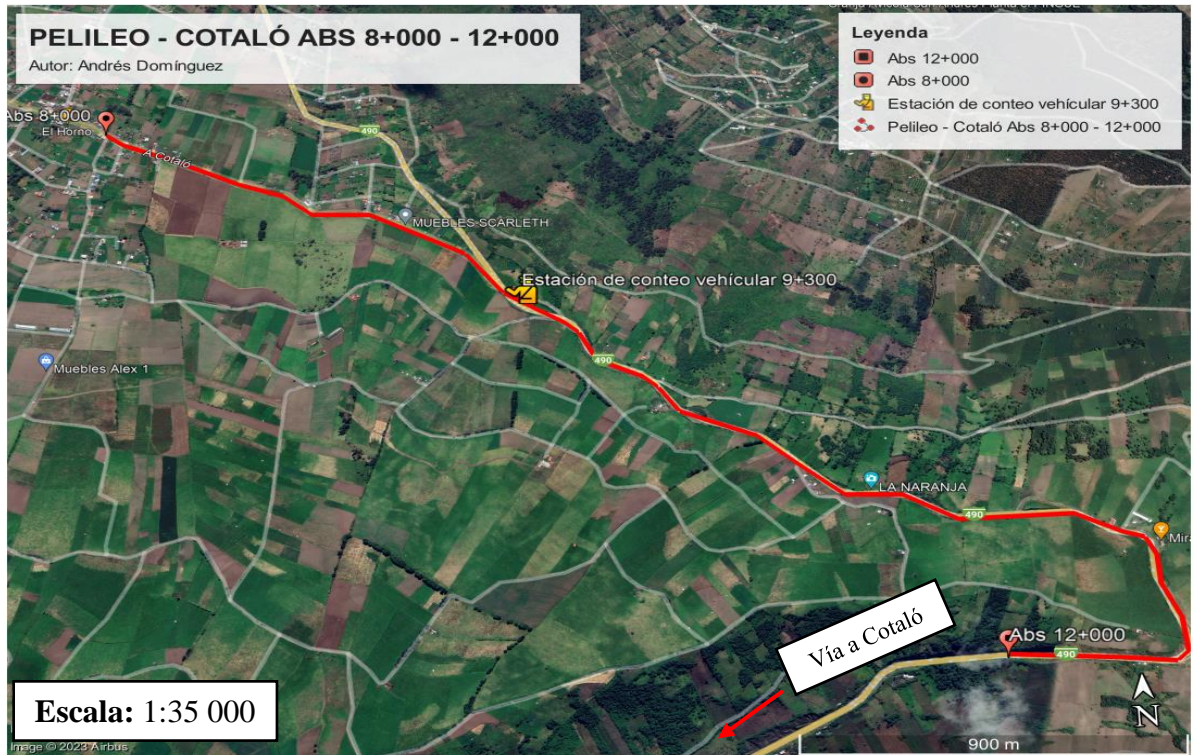
consecutivos por un lapso de 12 horas, es decir desde las 07:00 hasta las 19:00 los días 21,22,23,24,25,26 y 27 de noviembre del 2022 tomando en cuenta el tráfico de ambos carriles. El formato de las hojas de campo utilizadas para este procedimiento es el presentado en el gráfico 4 y los resultados se evidencian en el anexo B.

Tabla 18: Coordenadas de la estación de conteo vehicular

ABSCISA	NORTE	ESTE
9+300	9845536.45	777643.15

Fuente: Autor

Figura 2: Estación de conteo vehicular



Fuente: Google Earth Pro

3.1.3.1 Determinación del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) por medio de la trigésima hora.

Después de haber terminado el conteo vehicular de la vía Pelileo - Cotaló en la abscisa 9+300 se calculó el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), para esto se toma en cuenta que el domingo 27/11/2022 fue el día con mayor número de vehículos

circulando sobre el tramo de estudio con un total de 6838 vehículos, en la siguiente tabla se encuentran expresados de manera resumida el número de vehículos por día.

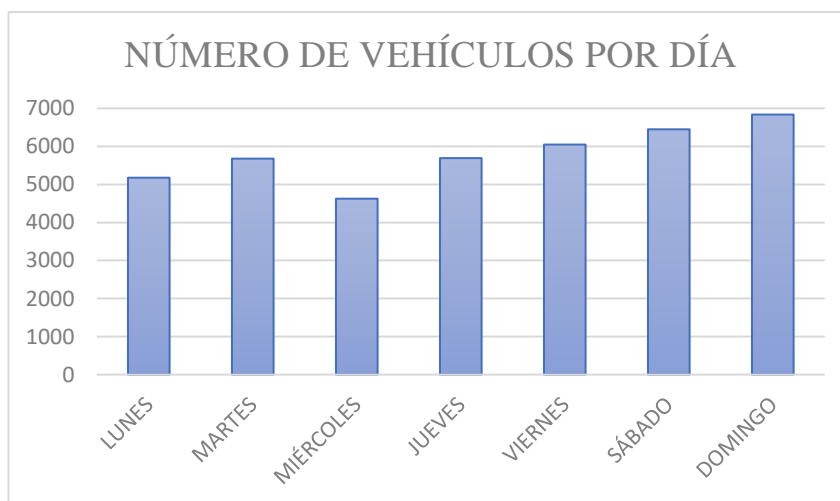
Tabla 19: Número de vehículos que circulan por día

DÍA	NÚMERO DE VEHÍCULOS
LUNES	5178
MARTES	5679
MIÉRCOLES	4626
JUEVES	5693
VIERNES	6049
SÁBADO	6450
DOMINGO	6838

Fuente: Autor

En la siguiente figura se representa el número de vehículos que circulan por día, en donde se evidencian los días de mayor tráfico.

Figura 3: Número de vehículos que circulan por día



Fuente: Autor

El día domingo 27 de noviembre del 2022 se registró el mayor número de vehículos transitando por el tramo de estudio, siendo el intervalo entre 13h00 y 14h00 la hora pico (trigésima) en la que se registraron 672 vehículos circulando por la vía.

Tabla 20: Conteo Vehicular: Hora pico

HORA		LIVIANOS			BUSES		PESADOS		SUMA TOTAL POR HORA
		Automóvil	Camionetas	Motos	Livianos	Pesados	Dos Ejes (C-1)		
							Livianos	Pesados	
12H00	12H00 - 12H15	65	72	2	8	3	7	-	672
	12H15 - 12H30	63	78	3	6	3	8	2	
	12H30 - 12H45	69	77	5	8	2	10	1	
	12H45 - 13H00	73	83	2	9	4	9	-	
SUMA PARCIAL		270	310	12	31	12	34	3	
SUMA TIPO DE VEH.		592			43		37		

Fuente: Autor

3.1.3.2 Cálculo del Tráfico promedio diario Anual (TPDA)

Para calcular este valor se utilizó la ecuación 1 y los valores presentados en la tabla anterior correspondiente al conteo vehicular en su hora de máximo volumen:

- **TPDA actual para vehículos Livianos**

$$TPDA_{actual} = \frac{592 \text{ Veh}}{0.15}$$

$$TPDA_{actual} = 3947 \frac{\text{Veh}}{\text{día}}$$

- **TPDA actual para vehículos Buses**

$$TPDA_{actual} = \frac{43 \text{ Veh}}{0.15}$$

$$TPDA_{actual} = 287 \frac{\text{Veh}}{\text{día}}$$

- **TPDA actual para vehículos Pesados**

$$TPDA_{actual} = \frac{37 \text{ Veh}}{0.15}$$

$$TPDA_{actual} = 247 \frac{\text{Veh}}{\text{día}}$$

En la siguiente tabla se anota el número de vehículos que transitan durante la hora pico dependiendo del tipo de los mismos, el tpda actual que representa cada uno de estos valores y el tpda total de la vía.

Tabla 21: TPDA actual de la Vía Pelileo -Cotaló

TIPO DE VEHÍCULO	VEHÍCULOS EN LA HORA PICO (veh)	TPDA ACTUAL (veh/día)
Livianos	592	3947
Buses	43	287
Pesados	37	247
TOTAL TPDA actual:		4480

Fuente: Autor

El valor del TPDA actual es igual a 4480 veh/día, de los cuales 3947 veh/día corresponden al tipo de vehículo livianos.

3.1.3.3 Cálculo del tráfico atraído

Para calcular este valor empleamos la ecuación 5:

- **Tráfico atraído para vehículos Livianos**

$$T_{at} = 10\% * 3947$$

$$T_{at} = 395 \frac{Veh}{día}$$

- **Tráfico atraído para vehículos Buses**

$$T_{at} = 10\% * 287$$

$$T_{at} = 5 \frac{Veh}{día}$$

- **Tráfico atraído para vehículos Pesados**

$$T_{at} = 10\% * 247$$

$$T_{at} = 4 \frac{Veh}{día}$$

A continuación, se muestran los valores obtenidos del tráfico atraído para cada tipo de vehículo:

Tabla 22: Tráfico atraído de la Vía Pelileo - Cotaló

TIPO DE VEHÍCULO	TPDA ACTUAL (veh/día)	TRÁFICO ATRAÍDO (veh/día)
Livianos	3947	395
Buses	287	29
Pesados	247	25
TOTAL T at:		449

Fuente: Autor

El tránsito atraído total es igual a 449 veh/día.

3.1.3.4 Cálculo del tráfico promedio diario anual total

Para realizar este cálculo se hace uso de la ecuación 2.

- **TPDA para vehículos Livianos**

$$TPDA = TPDA \text{ actual} + Tat$$

$$TPDA = 3947 \frac{Veh}{día} + 395 \frac{Veh}{día}$$

$$TPDA = 4342 \frac{Veh}{día}$$

- **TPDA para vehículos Buses**

$$TPDA = 287 \frac{Veh}{día} + 29 \frac{Veh}{día}$$

$$TPDA = 316 \frac{Veh}{día}$$

- **TPDA para vehículos Pesados**

$$TPDA = 247 \frac{Veh}{día} + 25 \frac{Veh}{día} = 272 \frac{Veh}{día}$$

A continuación, se muestran los resultados del Tráfico promedio diario anual (TPDA) y el porcentaje que representa cada tipo de vehículo comparado al valor total:

Tabla 23: TPDA de la Vía Pelileo - Cotaló:

TIPO DE VEHÍCULO	TPDA ACTUAL (veh/día)	TRÁFICO ATRAÍDO (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (%)
Livianos	3947	395	4342	88.07
Buses	287	29	316	6.41
Pesados	247	25	272	5.52
TOTAL			4930	100

Fuente: Autor

El valor del TPDA es igual a 4930 veh/día, en donde se nota que el 88.07% corresponden a vehículos livianos.

3.1.3.5 Cálculo del tráfico futuro

Para calcular el valor del tráfico futuro se toma en cuenta un período de 20 años. Para su cálculo usamos el valor correspondiente de la siguiente tabla:

Tabla 24: Tasa de crecimiento vehicular Tungurahua

PERÍODO	TASA DE CRECIMIENTO %
2021-2026	0,81
2026-2031	0,66
2031-2036	0,55
2036-2041	0,47
2041-2046	0,42

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. [11]

Con estos valores de tasa de crecimiento se realizó el cálculo del TPDAf para los años posteriores hasta llegar al año 2042 cuando se cumple el intervalo propuesto de 20 años.

El cálculo del tráfico futuro nos permite determinar si las condiciones de diseño actuales son suficientes para abastecer las necesidades que tendrá al final del intervalo propuesto o si va a ser necesario el realizar algún procedimiento de ampliación o mejoramiento de la carretera.

Tabla 25: Tráfico futuro en la vía Pelileo - Cotaló

AÑO	TASA DE CRECIMIENTO (%)	TRÁFICO FUTURO (veh/día)			TPDAf (veh/día)
		LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	
2022	0,81	4342	316	272	4930
2023	0,81	4377	319	274	4970
2024	0,81	4413	321	276	5010
2025	0,81	4448	324	279	5051
2026	0,81	4484	326	281	5092
2027	0,66	4521	329	283	5133
2028	0,66	4551	332	285	5168
2029	0,66	4581	334	288	5203
2030	0,66	4611	337	290	5238
2031	0,66	4641	340	292	5274
2032	0,55	4672	343	295	5309
2033	0,55	4698	345	297	5340
2034	0,55	4723	348	300	5371
2035	0,55	4749	351	302	5402
2036	0,55	4776	354	305	5434
2037	0,47	4802	357	307	5465
2038	0,47	4824	360	309	5493
2039	0,47	4847	362	312	5521
2040	0,47	4870	365	315	5550
2041	0,47	4893	368	317	5578
2042	0,42	4916	371	320	5607

Fuente: Autor

3.1.3.6 Tipo de vía en Función al tráfico Futuro (TPDAf)

El valor calculado del tráfico futuro para el presente proyecto, tomando como final de diseño 20 años, es igual a 5607 vehículos por día, por lo que esta carretera se clasifica como un Corredor Arterial I según la Norma MOP 2003.

Tabla 26: Clasificación de carreteras según el TPDAf

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA (MOP)	TPDAf (AÑO FINAL DE DISEÑO)
Corredor Arterial	RI - RII (2)	>8000
	I	3000-8000
Colectora	II	1000-3000
	III	300-1000
Vecinal	IV	100-300
	V	300

Fuente: MOP, Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003.

Tomando en cuenta el valor de tráfico futuro obtenido, se clasificó a la carretera como una carretera de 2 carriles con una clasificación funcional C1 de acuerdo a la NEVI.

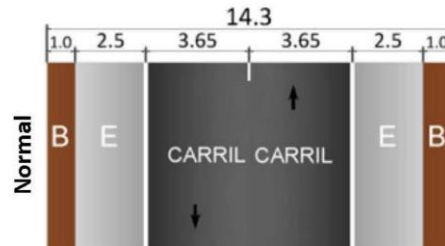
Tabla 27: Clasificación Funcional de carreteras según el TPDAf

DESCRIPCIÓN	CLASE DE CARRETERA (MOP)	TPDAf	
		Límite inferior	Límite superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Fuente: Norma NEVI Volumen 2, 2012.

Como indica la tabla anterior, la vía de estudio es clasificada como una vía de capacidad media o carretera de 2 carriles de clase C1, las dimensiones normadas de la misma se muestran en la siguiente figura:

Figura 4: Dimensiones de vía de capacidad media



Fuente: Norma NEVI Volumen 2, 2012.

El ancho promedio de la vía es de 8.69 m, por lo que cumple con las dimensiones establecidas en la norma NEVI para carreteras de tipo C1 de dos carriles, el cual tiene el valor de 7.30 m.

3.1.3.7. Cálculo de ejes equivalentes

Para calcular este valor se basó en los factores de daño presentados en la metodología AASHTO 93, la cual simplifica el cálculo debido a que solo considera vehículos pesados con ejes equivalentes sencillos de 8.2 ton. Para realizar el cálculo fue necesario utilizar el factor de daño presente en esa normativa, el cual se presenta a continuación:

Tabla 28: Factores de daño según el tipo de vehículo.

FACTORES DE DAÑO SEGÚN EL TIPO DE VEHÍCULO									
Tipo	Simple		Simple Doble		Tándem		Trídem		Factor de daño
	Ton	$(P/6,6)^4$	Ton	$(P/8,2)^4$	Ton	$(P/15)^4$	Ton	$(P/23)^4$	
Bus	4	0,13	8	0,91					1,04
C-2P	3	0,04							1,31
	7	1,27							
C-2G	7	1,27	11	3,24					4,5
C-3	7	1,27			20	3,16			4,43
C>3	7	1,27			20	3,16	24	1,19	5,61

Fuente: AASHTO -93, Diseño de pavimentos. [31]

Para continuar con el cálculo de ejes equivalentes, es necesario utilizar también el dato de factores de distribución direccional presentado en la siguiente tabla:

Tabla 29: Factores de distribución direccional (Fd)

Número de carriles	Porcentaje de vehículos por carril
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: AASHTO -93, Diseño de pavimentos [31]

Se tomó el dato correspondiente al porcentaje de W18 en un carril de la siguiente tabla:

Tabla 30: Porcentaje de W18 en el carril (DI)

Número de carriles en una dirección	Porcentaje de W18 en un carril (%)
1	100
2	80-100
3	60-80

Fuente: AASHTO -93, Diseño de pavimentos [31]

De acuerdo a las características de la vía de estudio y los datos de las tablas anteriores, consideramos que al tener 2 carriles el porcentaje de vehículos por carril será del 50% y tendrá un porcentaje de W18 de 100% debido a que existe un carril en cada dirección. El cálculo de ejes equivalentes es necesario debido a que en el tramo de estudio circulan vehículos pesados, para esto nos basamos en la siguiente ecuación:

$$W18 = \left(\left(\sum_{i=1}^{i=m} FD * TPDA \right) * 365 \right) * Fd * D1$$

Ecuación 19

Donde:

W18: número de ejes equivalentes (establecido para un periodo de diseño 20 años).

FD: factor de daño.

Fd: factor de distribución direccional.

D1: porcentaje de W18 en el carril D1.

Tabla 31: Ejes equivalentes proyectados a 20 años

AÑO	LIVIANOS	BUSES	TOTAL CAMIONES	W18 POR CARRIL	W18 ACUMULADO
2022	4342	316	272	123872	247743
2023	4377	319	274	124875	249750
2024	4413	321	276	125886	251773
2025	4448	324	279	126906	253812
2026	4484	326	281	127934	255868
2027	4521	329	283	128970	257940
2028	4551	332	285	130015	260030
2029	4581	334	288	131068	262136
2030	4611	337	290	132130	264259
2031	4641	340	292	133200	266400
2032	4672	343	295	134279	268558
2033	4698	345	297	135366	270733
2034	4723	348	300	136463	272926
2035	4749	351	302	137568	275137
2036	4776	354	305	138683	277365
2037	4802	357	307	139806	279612
2038	4824	360	309	140938	281877
2039	4847	362	312	142080	284160
2040	4870	365	315	143231	286462
2041	4893	368	317	144391	288782
2042	4916	371	320	145561	291121

Fuente: Autor

3.1.4 Estudio de Suelos

El estudio de suelos realizado permite conocer las propiedades físicas de la subrasante existente en la vía en estudio, para lo cual se extrajeron muestras de suelo en las siguientes ubicaciones y profundidades:

Tabla 32: Muestras de suelo

# Muestra	Abscisa	Profundidad
1	8+250	1,1
2	9+400	1,1
3	10+300	1,1
4	11+500	1,1

Fuente: Autor

3.1.4.1 Análisis Granulométrico

Después de realizar el ensayo granulométrico de acuerdo a lo establecido en la normativa AASHTO M 145/ ASSTM D-421-58 se clasificaron las muestras de suelo de acuerdo a la clasificación AASHTO. Los resultados parciales y su gráfica se muestran en el anexo C.

Tabla 33: Resultados Granulometría

	CALICATA	GRAVA	ARENA	LIMOS	Cu	Cc	CLASIFICACIÓN
							AASHTO
1	8+250	4%	90%	6%	4,7	1,08	A- 3 Arena Fina
2	9+400	14%	76%	10%	12,5	0,92	A- 3 Arena Fina
3	10+300	16%	81%	3%	10,0	0,65	A-1-b
4	11+500	3%	95%	2%	6,2	0,4	A - 3 Arena fina

Fuente: Autor

3.1.4.2 Límites de Atterberg

Utilizando la porción de suelo que pasó el tamiz #40 al realizar el ensayo anterior, se realizaron los ensayos de límite plástico y límite líquido de acuerdo a lo enunciado en la norma AASHTO T-90-70 obteniendo como resultado los valores presentados en el anexo C.

Después de realizar los ensayos se determinó que el suelo sacado de la calicata #2 es de carácter no plástico, por lo que los ensayos de límite líquido y plástico no se pudieron realizar por sus propiedades. A continuación, se muestra una tabla con el resumen de los resultados.

Tabla 34: Resultados límites de Atterberg

MUESTRA	LÍMITE	LÍMITE	ÍNDICE DE
	LÍQUIDO	PLÁSTICO	PLASTICIDAD
	%	%	%
1	17,87	14,93	2,95
2 (NO PLÁSTICO)	-	-	-
3	20,27	19,44	0,84
4	36,96	31,49	5,47

Fuente: Autor

3.1.4.3 Proctor Modificado Tipo B

Como paso previo a realizar el ensayo de CBR realizamos el ensayo de Proctor modificado tipo B, el mismo que se encuentra descrito en la normativa AAASHTO T-180 y que nos permitió conocer los datos de humedad óptima y densidad seca máxima de la muestra. Los resultados y gráficas detallados se encuentran expuestos en el anexo C.

Tabla 35: Resultados Proctor Modificado

MUESTRA	DENSIDAD SECA	HUMEDAD ÓPTIMA
	[gr/cm ³]	%
1	1,748	12.35
2	1,894	10,15
3	1,681	10,60
4	1,700	16.80

Fuente: Autor

3.1.4.4 Ensayo de Relación de Soporte California (CBR)

Se realiza el ensayo CBR para obtener la capacidad portante del suelo de la vía en estudio, siguiendo el procedimiento detallado en el apartado de metodología se han obtenido los siguientes resultados, clasificando el suelo de acuerdo a su uso y % de CBR, los mismos se presentan en la tabla 36:

Tabla 36: Resultados CBR

Calicata N°	%CBR	Clasificación del suelo según %CBR - AASHTO		Usos
1	12.29	8-20	REGULAR- BUENA	Subrasante
2	14.00	8-20	REGULAR- BUENA	Subrasante
3	9.47	8-20	REGULAR- BUENA	Subrasante
4	19.08	8-20	REGULAR- BUENA	Subrasante

Fuente: Autor

Utilizando un promedio de los resultados obtenidos, el suelo empleado en el ensayo se clasifica como una Subrasante Regular – Buena con un CBR igual a 13.71 %.

Los resultados a detalle se muestran en el anexo C.

3.1.5 Cálculo del índice de Condición del Pavimento (PCI)

Se utilizó el método de evaluación visual PCI para determinar el estado en que se encuentra la capa de rodadura de la carretera Pelileo – Cotaló entre las abscisas 8+000 hasta 12+000, clasificando las fallas presentes en la capa de rodadura de acuerdo a la frecuencia y severidad con la que se presentan. Los datos a considerar se los presenta en la siguiente tabla:

Tabla 37: Datos para el PCI

Datos para obtener unidades de muestreo PCI	Valores	
Ancho promedio de la vía (An)	8,69	[m]
Longitud del tramo (Lt)	4000	[m]
Área del tramo (A)	225 ± 90	[m ²]
Error admisible estimado para el PCI (e)	5	[%]
Desviación estándar del PCI (s)	10	

Fuente: Autor

3.1.5.1 Longitud de la Unidad de Muestreo

La longitud de cada unidad de muestreo se la calcula aplicando la ecuación 8:

$$L = \frac{225 \text{ m}^2 \pm 90 \text{ m}^2}{8.69 \text{ m}}$$

$$L = \frac{225 \text{ m}^2 + 90 \text{ m}^2}{8.69 \text{ m}}$$

$$L = 36.25 \text{ m}$$

$$L = \frac{225 \text{ m}^2 - 90 \text{ m}^2}{8.69 \text{ m}}$$

$$L = 15.54 \text{ m}$$

Luego de utilizar las ecuaciones se nos indica que la longitud de muestreo debe estar en el intervalo de 15.54 m hasta 36.25 m, por lo cual se utilizó una longitud promedio de muestreo de 27 m.

Unidad Totales de Muestreo

El número total de unidades de muestreo viene dado al aplicar la ecuación 9:

$$N = \frac{4000 \text{ m}}{27 \text{ m}}$$

$$N = 148 \text{ Unidades}$$

3.1.5.2 Unidades Mínimas de Muestro

Para realizar el cálculo del número mínimo de unidades de muestreo se hace uso de la Ecuación 10.

$$n = \frac{N * s^2}{\frac{e^2}{4} * (1 + n) + s^2}$$

$$n = \frac{148 * 10^2}{\frac{5^2}{4} * (148 - 1) + 10^2}$$

$$n = 14.53 \approx 15 \text{ Unidades de muestreo}$$

3.1.5.3 Intervalos para la Muestra

Para realizar el cálculo de los intervalos para la muestra se hace uso de la Ecuación 11.

$$i = \frac{148}{15}$$

$$i = 9.86 \approx 10 \text{ Unidades de muestreo}$$

Calculado este valor se anota que va a realizarse una unidad de muestreo cada 270 m, es decir el valor i multiplicado por el valor de la longitud promedio de muestreo como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 38: Datos de las Unidades de Muestreo



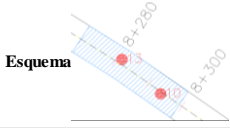
Unidad	Abscisas [m]		Ancho promedio	Área
	Inicial	Final	[m]	[m ²]
1	8+000	8+027	6,9	186,3
2	8+270	8+297	7,1	191,7
3	8+540	8+567	7,2	194,4
4	8+810	8+837	7,1	191,7
5	9+080	9+107	7,6	205,2
6	9+350	9+377	8,5	229,5
7	9+620	9+647	8,3	224,1
8	9+890	9+917	9,6	259,2
9	10+160	10+187	9,3	251,1
10	10+430	10+457	10,1	272,7
11	10+700	10+727	9,9	267,3
12	10+970	10+997	9,8	264,6
13	11+240	11+267	9,6	259,2
14	11+510	11+537	9,6	259,2
15	11+780	11+807	9,3	251,1

Fuente: Autor

Calculados los intervalos de muestreo se procede a la inspección visual del estado de la vía mediante visitas de campo en las cuales se recolectan los valores a utilizar en el cálculo de la condición de la misma por medio del método PCI.

A continuación, se tiene como ejemplo el procedimiento para el cálculo del PCI de la segunda unidad de muestreo que va desde la abscisa km 8+270 hasta km 8+297, con un ancho de carril promedio de 7.1 metros y un área total de muestreo de 191.7 metros cuadrados:

Tabla 39: Cálculo de la densidad – Segunda unidad de muestreo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - PCI					
											
Proyecto:	IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA CAPA DE RODADURA DE LA VÍA PELILEO- COTALÓ ABS 8+000 – 12+000 DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA										
Abscisa Inicial:	8+270	Ancho del Carril:	7,1 m	#Unidad de Muestreo:	2						
Abscisa Final:	8+297	Fecha de Evaluación:	27/12/2022	Área de Muestreo:	191,7 m						
Realizado por:	Andrés Domínguez		Revisado por:	Ing. Mg Alex Lopez							
1.- Piel de Cocodrilo	6.- Depresión		11.- Parcheo		16.- Desplazamiento						
2.- Exudación	7.- Grietas de borde		12.- Pulimiento de agregados		17.- Grietas Parabólicas						
3.- Agrietamiento de bloque	8.- Grieta de reflexión de juntas		13.- Huecos		18.- Hinchamiento						
4.- Abultamientos y hundimientos	9.- Desnivel del carril /Berma		14.- Cruce de vía férrea		19.- Desprendimiento de agregados						
5.- Corrugación	10.- Grietas longitudinales y transversales		15.- Ahuellamiento								
CÓDIGO	SEVERIDAD	CANTIDAD							TOTAL	DENSIDAD %	VALOR DEDUCIDO
10	L	21,00							21,00	10,95	9
13	M	1,00	1,00	1,00					3,00	1,56	23

Fuente: Autor

Las fallas se anotaron en una hoja de cálculo siguiendo el formato establecido en la norma ASTM D6433 – 11, calculando la densidad como se indica en el siguiente punto.

3.1.5.4 Cálculo de la densidad

Este valor es calculado usando la siguiente ecuación:

$$Densidad \% = \frac{\text{Área total de la falla}}{\text{Área de la unidad de muestreo}} * 100$$

Ecuación 20

Falla: Grietas Longitudinales y transversales. (10) severidad: L.

$$Densidad \% = \frac{21}{191,7} * 100$$

$$Densidad \% = 10,95 \%$$

Falla: Huecos. (13) severidad: M.

$$Densidad \% = \frac{3}{191,7} * 100$$

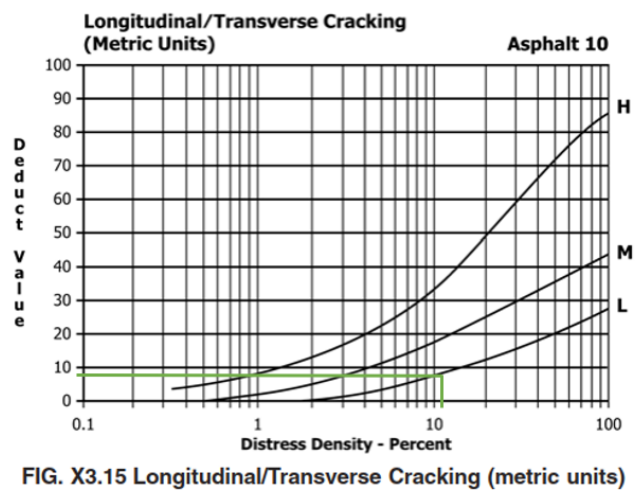
$$Densidad \% = 1,56 \%$$

3.1.5.5 Cálculo del valor deducido

Se determina mediante el uso de nomogramas ya establecidos y normados por el manual del PCI para carreteras, con los datos de la densidad de cada falla y su severidad se pueden calcular valores deducidos como se muestra a continuación:

Falla: Grietas Longitudinales y transversales. (10) severidad: L. Densidad: 10.95 %

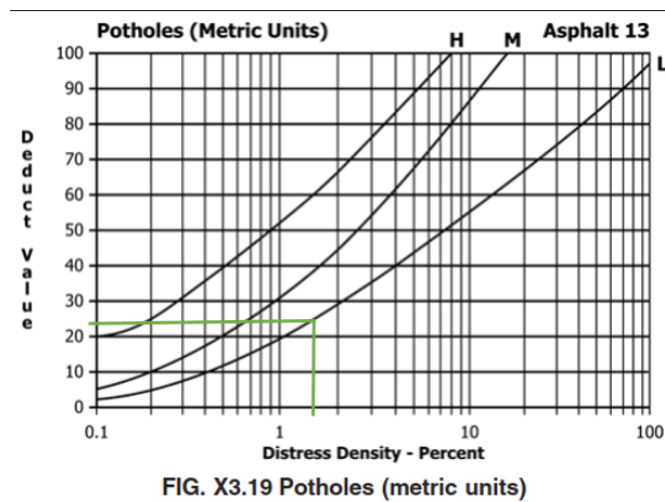
Figura 5: Ábaco para calcular valor deducido de grietas longitudinales y transversales.



Fuente: ASTM D6433 – 11. [32]

Falla: Huecos. (13) severidad: M. Densidad: 1.56%

Figura 6: Ábaco para calcular valor deducido de huecos.



Fuente: ASTM D6433 – 11. [32]

3.1.5.6 Número máximo de valores deducidos

El cálculo de este valor nos permite definir la cantidad de valores deducidos a emplear, tomando en cuenta el mayor valor deducido que en nuestro ejemplo es MaxDV: 23 y aplicando la siguiente fórmula:

$$m = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - MaxDV)$$

Ecuación 21

$$m = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - 23)$$

$$m = 8.1$$

El número máximo de valores deducidos a utilizar será de 8.1, pero al existir solo 2 valores ocupamos todos.

3.1.5.7 Determinación del Valor máximo compensado (CDV)

Se definen los valores de q para encontrar el valor de CDV, para el que se coloca el máximo valor deducido en la primera columna completa, después colocando los demás valores en orden descendente y completando con 2 hasta completar las demás columnas, estos valores se comparan con el ábaco de las curvas “q” que permitió encontrar el CDV total.

Tabla 40: Determinación del CDV – Segunda unidad de muestreo.

NÚM.	VALOR DEDUCIDO			TOTAL	q	CDV
1	23	9		32	2	23
2	23	2		25	1	26
Máx (CDV) =						26
Cálculo del PCI = (100 - CDV) =						74
Condición del Pavimento					Satisfactorio	

Fuente: Autor

Con cada valor de CDV calculado, se colocó ese valor en el eje x del ábaco de la Fig. X3.27 de la ASTM D6433 – 11 y sacar una línea perpendicular hacia la curva “q” correspondiente, para así obtener el valor deducido corregido como se muestra en la siguiente figura:

Figura 7: Ábaco para la obtención del TDV

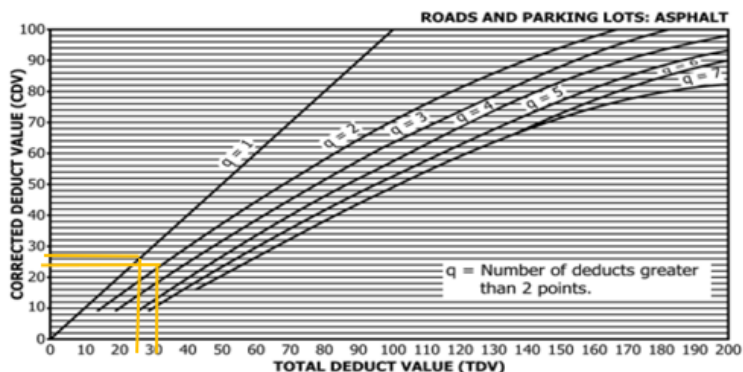


FIG. X3.27 Total Deduct Value

Fuente: ASTM D6433 – 11. [32]

3.1.5.8 Cálculo del PCI para la vía Pelileo – Cotaló entre las Abscisas 8+000 a la 12+000

El valor del PCI para cada unidad de muestreo se obtiene empleando la ecuación mostrada a continuación.

$$PCI = 100 - VDT$$

Ecuación 22

Donde:

PCI: Paviment Condition Index

VDT: Valor deducido total

Para el ejemplo del segundo tramo tenemos que:

$$PCI = 100 - 26$$

$$PCI = 74$$

Por lo que se deduce que la condición del segundo tramo de estudio es satisfactoria.

Una vez realizados los cálculos pertinentes para la obtención del valor del PCI para cada unidad de muestreo, se los ordena de acuerdo a la unidad en la que se encuentran, detallando su área, el valor de PCI, la calidad del pavimento determinada por el valor anterior así como su intervención para su rehabilitación, mantenimiento o reconstrucción dependiendo de los valores anteriormente calculados.

Tabla 41: PCI de la vía Pelileo – Cotaló Abs 8+000 – 12+000

Unidad	Área [m2]	PCI	Calidad del pavimento	Intervención	Color identificación
1	186,3	58	BUENO	REHABILITACIÓN	
2	191,7	74	SATISFACTORIO	MANTENIMIENTO	
3	194,4	57	BUENO	REHABILITACIÓN	
4	191,7	84	SATISFACTORIO	MANTENIMIENTO	
5	205,2	90	EXCELENTE	MANTENIMIENTO	
6	229,5	97	EXCELENTE	MANTENIMIENTO	
7	224,1	90	EXCELENTE	MANTENIMIENTO	
8	259,2	93	EXCELENTE	MANTENIMIENTO	
9	251,1	81	SATISFACTORIO	MANTENIMIENTO	
10	272,7	88	EXCELENTE	MANTENIMIENTO	
11	267,3	78	SATISFACTORIO	MANTENIMIENTO	
12	264,6	86	EXCELENTE	MANTENIMIENTO	
13	259,2	88	EXCELENTE	MANTENIMIENTO	
14	259,2	88	EXCELENTE	MANTENIMIENTO	
15	251,1	87	EXCELENTE	MANTENIMIENTO	
Promedio:		82,6			



Fuente: Autor

Después de aplicar el método PCI de manera secuencial se obtiene un resultado promedio de PCI igual a 82.6 que al tener en cuenta las 15 unidades de muestreo se determina que el estado de la vía estudiada es satisfactorio, es decir se encuentra en muy buen estado.

3.1.6 Evaluación de deflexiones en la capa de rodadura

Se colocó la viga Benkelman a una distancia de 0.9 m desde el borde de la vía hacia el eje de la misma, esto de acuerdo al ancho promedio del tramo que es de 8.69 m. Considerando la normativa, las lecturas se realizan al inicio, a 25 cm, 50 cm, 100 cm, 500 cm y 800 cm respectivamente. Es importante anotar que la medida a 25 cm es utilizada para calcular el valor del radio de curvatura. En las siguientes tablas se muestran los valores de las deflexiones que se obtuvieron usando la viga Benkelman.

Tabla 42: Deflexiones de la vía Pelileo – Cotaló Abs 8+000 – 12+000

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - VIGA BENKELMAN							
 									
Proyecto: "Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Pelileo - Cotaló ABS 8+000 - 12+000 de la provincia de Tungurahua"									
Realizado por: Wellington Andrés Domínguez					Revisado por: Ing. Mg. Alex Lopez				
Estación	Abscisa	Lectura del Deflectómetro (X10e-2 mm)						Temperatura (°C)	Espesor (cm)
		D0	D25	D50	D100	D500	D800		
1	8+000	0	17	36	47	54	54	22	5
2	8+200	0	13	31	40	48	48	23	5
3	8+400	0	11	35	46	52	52	21	5
4	8+600	0	9	28	40	44	44	22	5
5	8+800	0	11	33	42	47	47	22	5
6	9+000	0	15	34	46	51	51	23	5
7	9+200	0	7	22	31	42	42	21	5
8	9+400	0	5	18	29	35	35	21	5
9	9+600	0	3	20	32	37	37	22	5
10	9+800	0	3	24	35	39	39	21	5
11	10+000	0	2	23	35	39	39	23	5
12	10+200	0	4	19	29	37	37	23	5
13	10+400	0	3	22	33	38	38	23	5
14	10+600	0	6	21	35	41	41	22	5
15	10+800	0	2	16	27	32	32	20	5
16	11+000	0	3	18	29	37	37	21	5
17	11+200	0	2	15	27	33	33	22	5
18	11+400	0	3	19	29	36	36	20	5
19	11+600	0	4	22	33	38	38	22	5
20	11+800	0	2	17	28	32	32	20	5

Fuente: Autor

Se tienen que realizar correcciones a estos valores de campo para obtener los valores reales, para esto se siguieron los siguientes procedimientos:

3.1.6.1 Corrección por el brazo con relación 1:2 de la viga Benkelman



Se realiza este cálculo aplicando la ecuación 12, como ejemplo práctico se desarrolló el cálculo para el valor de la primera estación:

$$D = 2 * (54 \times 10^{-2} - 0)$$

$$D = 108 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las deflexiones corregidas empleando el proceso mostrado:

Tabla 43: Deflexiones corregidas por el brazo con relación 1:2

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - VIGA BENKELMAN 									
Proyecto: "Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Pelileo - Cotalo ABS 8+000 - 12+000 de la provincia de Tungurahua"									
Realizado por: Wellington Andrés Domínguez					Revisado por: Ing. Mg. Alex Lopez				
Corrección por el brazo con relación 1:2									
Estación	Abscisa	Lectura del Deflectómetro (X10e-2 mm)						Temperatura	Espesor (cm)
		D0	D25	D50	D100	D500	D800		
1	8+000	108	74	36	14	0	0	22	5
2	8+200	96	70	34	16	0	0	23	5
3	8+400	104	82	34	12	0	0	21	5
4	8+600	88	70	32	8	0	0	22	5
5	8+800	94	72	28	10	0	0	22	5
6	9+000	102	72	34	10	0	0	23	5
7	9+200	84	70	40	22	0	0	21	5
8	9+400	70	60	34	12	0	0	21	5
9	9+600	74	68	34	10	0	0	22	5
10	9+800	78	72	30	8	0	0	21	5
11	10+000	78	74	32	8	0	0	23	5
12	10+200	74	66	36	16	0	0	23	5
13	10+400	76	70	32	10	0	0	23	5
14	10+600	82	70	40	12	0	0	22	5
15	10+800	64	60	32	10	0	0	20	5
16	11+000	74	68	38	16	0	0	21	5
17	11+200	66	62	36	12	0	0	22	5
18	11+400	72	66	34	14	0	0	20	5
19	11+600	76	68	32	10	0	0	22	5
20	11+800	64	60	30	8	0	0	20	5

Fuente: Autor

3.1.6.2 Corrección de las deflexiones por temperatura

Al momento de realizar la toma de datos en la vía existieron varios cambios de temperatura, debido a esto se realizó una corrección de las deflexiones por temperatura tomando como estándar la de 20°C y utilizando la ecuación 13, como ejemplo práctico se desarrolló el cálculo para el valor de la primera estación:

$$D_{20\text{ C}} = \frac{108}{0.001 * (22 - 20\text{ C}) * (5) + 1}$$

$$D_{20\text{ C}} = 106.9 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Tabla 44: Deflexiones corregidas por temperatura

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
		EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - VIGA BENKELMAN							
Proyecto: "Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Pelileo - Cotalo ABS 8+000 - 12+000 de la provincia de Tungurahua"									
Realizado por: Wellington Andrés Domínguez					Revisado por: Ing. Mg. Alex Lopez				
Corrección por Temperatura									
Estación	Abscisa	Lectura del Deflectómetro (X10e-2 mm)						Temperatura	Espesor (cm)
		D0	D25	D50	D100	D500	D800		
1	8+000	106,9	73,3	35,6	13,9	0,0	0,0	22	5
2	8+200	94,6	69,0	33,5	15,8	0,0	0,0	23	5
3	8+400	103,5	81,6	33,8	11,9	0,0	0,0	21	5
4	8+600	87,1	69,3	31,7	7,9	0,0	0,0	22	5
5	8+800	93,1	71,3	27,7	9,9	0,0	0,0	22	5
6	9+000	100,5	70,9	33,5	9,9	0,0	0,0	23	5
7	9+200	83,6	69,7	39,8	21,9	0,0	0,0	21	5
8	9+400	69,7	59,7	33,8	11,9	0,0	0,0	21	5
9	9+600	73,3	67,3	33,7	9,9	0,0	0,0	22	5
10	9+800	77,6	71,6	29,9	8,0	0,0	0,0	21	5
11	10+000	76,8	72,9	31,5	7,9	0,0	0,0	23	5
12	10+200	72,9	65,0	35,5	15,8	0,0	0,0	23	5
13	10+400	74,9	69,0	31,5	9,9	0,0	0,0	23	5
14	10+600	81,2	69,3	39,6	11,9	0,0	0,0	22	5
15	10+800	64,0	60,0	32,0	10,0	0,0	0,0	20	5
16	11+000	73,6	67,7	37,8	15,9	0,0	0,0	21	5
17	11+200	65,3	61,4	35,6	11,9	0,0	0,0	22	5
18	11+400	72,0	66,0	34,0	14,0	0,0	0,0	20	5
19	11+600	75,2	67,3	31,7	9,9	0,0	0,0	22	5
20	11+800	64,0	60,0	30,0	8,0	0,0	0,0	20	5

Fuente: Autor

Corrección por estacionalidad

En base a lo mencionado por CONREVIAl existen parámetros de estacionalidad que se deben tomar en cuenta para realizar una corrección como indica la siguiente tabla:

Tabla 45: Factores de corrección por estacionalidad

TIPO DE SUELO (SUBRASANTE)	ESTACIÓN LLUVIOSA	ESTACIÓN SECA
Arenosa - permeable	1.0	1.1 a 1.3
Arcillosa – sensible al agua	1.0	1.2 a 1.4

Fuente: CONREVIAl, 2014. [33]

El suelo presente en la vía de estudio corresponde a un material arenoso – permeable y las mediciones se realizaron en un día nublado con pocas precipitaciones por lo que se escogió un valor de corrección equivalente a 1.0, empleando la ecuación 14:

Haciendo uso de los datos obtenidos en la **Tabla 27** se realiza el cálculo.

Como ejemplo práctico se desarrolló el cálculo para el valor de la primera estación:

$$D = 1.0 * 106.9 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D = 106.9 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Tabla 46: Deflexiones corregidas estacionalidad

Estación		Abscisa		Lectura del Deflectómetro (X10e-2 mm)				Temperatura	Espesor (cm)
				D0	D25	D50	D100		
1	8+000	106,9	73,3	35,6	13,9	0,0	0,0	22	5
2	8+200	94,6	69,0	33,5	15,8	0,0	0,0	23	5
3	8+400	103,5	81,6	33,8	11,9	0,0	0,0	21	5
4	8+600	87,1	69,3	31,7	7,9	0,0	0,0	22	5
5	8+800	93,1	71,3	27,7	9,9	0,0	0,0	22	5
6	9+000	100,5	70,9	33,5	9,9	0,0	0,0	23	5
7	9+200	83,6	69,7	39,8	21,9	0,0	0,0	21	5
8	9+400	69,7	59,7	33,8	11,9	0,0	0,0	21	5
9	9+600	73,3	67,3	33,7	9,9	0,0	0,0	22	5
10	9+800	77,6	71,6	29,9	8,0	0,0	0,0	21	5
11	10+000	76,8	72,9	31,5	7,9	0,0	0,0	23	5
12	10+200	72,9	65,0	35,5	15,8	0,0	0,0	23	5
13	10+400	74,9	69,0	31,5	9,9	0,0	0,0	23	5
14	10+600	81,2	69,3	39,6	11,9	0,0	0,0	22	5
15	10+800	64,0	60,0	32,0	10,0	0,0	0,0	20	5
16	11+000	73,6	67,7	37,8	15,9	0,0	0,0	21	5
17	11+200	65,3	61,4	35,6	11,9	0,0	0,0	22	5
18	11+400	72,0	66,0	34,0	14,0	0,0	0,0	20	5
19	11+600	75,2	67,3	31,7	9,9	0,0	0,0	22	5
20	11+800	64,0	60,0	30,0	8,0	0,0	0,0	20	5

Fuente: Autor

3.1.6.3 Radio de curvatura

El radio de curvatura permite establecer una relación entre las deflexiones y el comportamiento del pavimento de la vía en estudio a través de la ecuación 15.

Como ejemplo práctico se desarrolló el cálculo para el valor de la primera estación:

$$R_c = \frac{3125}{106.9 - 73.3}$$

$$R_c = 92.83 \text{ m}$$

Tabla 47: Radio de curvatura

Estación	Abscisa	Lectura del Deflectómetro (X10e-2 mm)		Radio de Curvatura (m)
		D0	D25	
1	8+000	106,9	73,3	92,83
2	8+200	94,6	69,0	122,00
3	8+400	103,5	81,6	142,76
4	8+600	87,1	69,3	175,35
5	8+800	93,1	71,3	143,47
6	9+000	100,5	70,9	105,73
7	9+200	83,6	69,7	224,33
8	9+400	69,7	59,7	314,06
9	9+600	73,3	67,3	526,04
10	9+800	77,6	71,6	523,44
11	10+000	76,8	72,9	792,97
12	10+200	72,9	65,0	396,48
13	10+400	74,9	69,0	528,65
14	10+600	81,2	69,3	263,02
15	10+800	64,0	60,0	781,25
16	11+000	73,6	67,7	523,44
17	11+200	65,3	61,4	789,06
18	11+400	72,0	66,0	520,83
19	11+600	75,2	67,3	394,53
20	11+800	64,0	60,0	781,25
Promedio (Dm)		80,5	68,1	407,1

Fuente: Autor

3.1.6.4 Deflexión Característica

Es el valor que representa la deflexión de una sección estudiada, para obtener su valor se calcula la desviación estándar con los valores de las deflexiones máximas utilizando la ecuación 16.

$$\sigma = \sqrt{\frac{3238.77}{(20 - 1)}}$$

$$\sigma = 13.06$$

Tabla 48: Desviación estándar de las deflexiones máximas obtenidas

Estación	Abscisa	D0	(Dm-D0)	(Dm-D0)^2
1	8+000	106,9	-26,4	699,00
2	8+200	94,6	-14,1	198,50
3	8+400	103,5	-23,0	528,56
4	8+600	87,1	-6,6	44,04
5	8+800	93,1	-12,6	158,19
6	9+000	100,5	-20,0	400,02
7	9+200	83,6	-3,1	9,55
8	9+400	69,7	10,8	117,51
9	9+600	73,3	7,2	52,20
10	9+800	77,6	2,9	8,30
11	10+000	76,8	3,6	13,28
12	10+200	72,9	7,6	57,54
13	10+400	74,9	5,6	31,53
14	10+600	81,2	-0,7	0,48
15	10+800	64,0	16,5	271,99
16	11+000	73,6	6,9	47,06
17	11+200	65,3	15,1	229,39
18	11+400	72,0	8,5	72,12
19	11+600	75,2	5,2	27,51
20	11+800	64,0	16,5	271,99
Promedio (Dm)		80,5	Suma:	3238,77

Fuente: Autor

El valor a utilizar está basado en la metodología CONREVIAl, la misma que sugiere usar la fórmula establecida para un valor de diseño de 95%, es decir la ecuación 16 del presente documento.

Para distintos valores de diseño o relaciones de extensión del pavimento diferente, se utilizan las establecidas en la siguiente tabla:

Tabla 49: Ecuaciones de deflexiones características

VALOR DE DISEÑO (%)	DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA D_c	EXTENSIÓN DEL PAVIMENTO $\bar{D} > D_c$
50	\bar{D}	50
75	$\bar{D} + 0.674 * \sigma$	25
85	$\bar{D} + \sigma$	15
90	$\bar{D} + 1.3 * \sigma$	10
95	$\bar{D} + 1.645 * \sigma$	5
98	$\bar{D} + 2 * \sigma$	2
99	$\bar{D} + 2.33 * \sigma$	1
99.9	$\bar{D} + 3 * \sigma$	0.1

Fuente: CONREVIAl, 2014. [33]

Para la deflexión característica empleamos la ecuación 16:

$$D_c = 80.5 + 1.645 * 13.06$$

$$D_c = 95.205 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

3.1.5.6. Deflexión Admisible:

Se lo calcula empleando la ecuación 17:

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{0.1034} \right)^{\frac{1}{4}} * 100$$

$$D_{adm} = 182.61 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

- **Deflexión Crítica:**

Se calcula la deflexión crítica por medio de la ecuación 18:

$$D_{cr} = \left(\frac{1}{0.1034} \right)^{\frac{1}{5.3}} * 100$$

$$D_{cr} = 173.186 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Tabla 50: Tipos de deflexiones

TIPO DE DEFLEXIÓN	COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE	COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO
Tipo I	Bueno $D_c < D_a$	Bueno $R_c > 100$
Tipo II	Malo $D_c > D_a$	Bueno $R_c > 100$
Tipo III	Bueno $D_c < D_a$	Malo $R_c > 100$
Tipo IV	Malo $D_c > D_a$	Malo $R_c < 100$

Fuente: CONREVIAl, 2014. [33]

Con los cálculos realizados se obtienen los siguientes resultados:

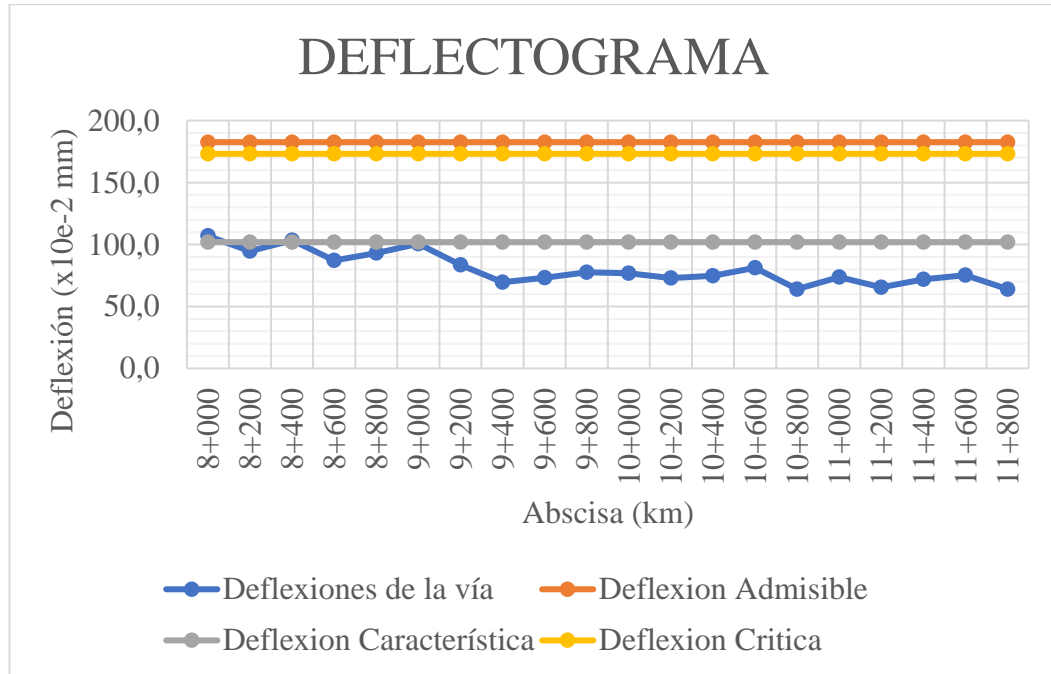
Tabla 51: Resultados ensayo Viga Benkelman

Deflexiones de la vía Pelileo – Cotaló Abs 8+000 - 12+000	
Deflexión Promedio (Dm)	80,5 * 10e-2 mm
Radio de curvatura (Rc)	407,1
Desviación Estándar (σ)	13,06
Deflexión Característica (Dc)	95,205 * 10e-2 mm
Deflexión Admisible (Dadm)	182,61 * 10e-2 mm
Deflexión Crítica (Dcr)	173,19 * 10e-2 mm
Comportamiento de la Subrasante	
Tipo I	
$D_c < D_a$	95,205 * 10e-2 mm < 182,61 * 10e-2 mm
Comportamiento del Pavimento	
Tipo I	
$R_c > 100$	407,1 > 100

Fuente: Autor

Las deflexiones son de Tipo I, es decir, la subrasante y la capa de rodadura tienen un comportamiento favorable, la misma se representa en la siguiente gráfica:

Figura 8: Deflectograma



Fuente: Autor

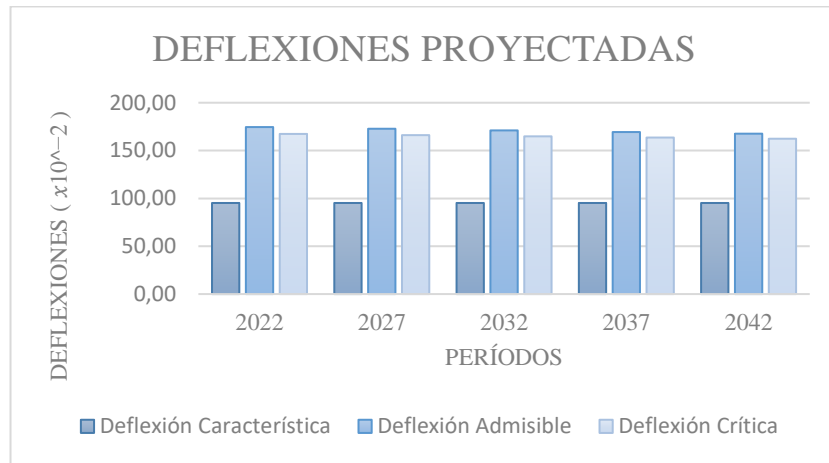
Para comprender el comportamiento que va a tener la capa de rodadura en años posteriores se realizó la proyección a 20 años en períodos de 5 años cada uno, estos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 52: Deflexiones proyectadas

AÑO	W18	Dc	Dadm	Dcr
2022	123872	95,21	174,55	167,39
2027	128970	95,21	172,80	166,12
2032	134279	95,21	171,07	164,86
2037	139806	95,21	169,35	163,61
2042	145561	95,21	167,65	162,37

Fuente: Autor

Figura 9: Deflexiones proyectadas



Fuente: Autor

En la figura 9 se evidencia que las deflexiones no sufrirán cambios notables a lo largo de ese período de tiempo, es decir el funcionamiento de la vía no se verá alterado y el comportamiento de la estructura de la misma cumplirá con lo establecido.

3.1.7 Plan de Conservación Vial

En base a los resultados obtenidos al evaluar el estado la capa de rodadura por medio del método PCI, los ensayos referentes a las propiedades del suelo y las deflexiones registradas mediante el uso de la viga Benkelman se presenta un plan de conservación vial para la vía Pelileo – Cotaló entre las abscisas 8+000 y 12+000. Para la elaboración del mismo se ha tomado como prioridad mantener la serviciabilidad de la vía y mejorar la movilidad para los habitantes del lugar, estableciendo las zonas en donde se deberán realizar distintos tipos de mantenimientos rutinarios y rehabilitación en menor cantidad.

Tabla 53: Solución para falla piel de cocodrilo

FALLA	UNIDAD	ABSCISA (m)		CANTIDAD A INTERVENIR			SOLUCIÓN
		INICIAL	FINAL	L	M	H	
PIEL DE COCODRILO	[m ²]	8005	8016	15,4			L: SELLADO SUPERFICIAL
		8555	8565	9,65			
		8833	8836	3,23			
		9001	9004	0,42			
		10171	10172	0,39			
		11513	11521	8,75			
Cantidad a intervenir:				37,84			

Fuente: Autor

Tabla 54: Solución para falla agrietamiento de bloque

FALLA	UNIDAD	ABSCISA (m)		CANTIDAD A INTERVENIR			SOLUCIÓN
		INICIAL	FINAL	L	M	H	
AGRIETAMIENTO DE BLOQUE	[m ²]	8812	8814	1,37			L: SELLADO SUPERFICIAL
		9111	912	0,59			
		9902	9908	1,28			
Cantidad a intervenir:				3,24			

Fuente: Autor

Tabla 55: Solución para falla grietas longitudinales y transversales

FALLA	UNIDAD	ABSCISA (m)		CANTIDAD A INTERVENIR			SOLUCIÓN
		INICIAL	FINAL	L	M	H	
GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	m	8000	8006	5,6			L: SELLADO DE GRIETAS
		8270	8291	21			
		8815	8816	1			
		9083	9099	15,6			
		9361	9373	11,07			
		9632	9637	4,15			
		9890	9917	27,37			M: SELLADO DE GRIETAS
		10160	10177	26,05			
		10450	10457	6,5			
		10712	10720	7,8			
		10982	10985		2,65		
		11250	11258	8			
11790	11807	8,85					
Cantidad a intervenir:				134,99			

Fuente: Autor

Tabla 56: Solución para falla huecos

FALLA	UNIDAD	ABSCISA (m)		CANTIDAD A INTERVENIR			SOLUCIÓN
		INICIAL	FINAL	L	M	H	
HUECOS	U	8020	8021	1			L: PARCHEO PROFUNDO
		8280	8281	1			L: PARCHEO PROFUNDO
		8542	8543	1			M: PARCHEO PROFUNDO
		8549	8549		1		M: PARCHEO PROFUNDO
Cantidad a intervenir:				4			

Fuente: Autor

Tabla 57: Solución para falla grieta parabólica

FALLA	UNIDAD	ABSCISA (m)		CANTIDAD A INTERVENIR			SOLUCIÓN
		INICIAL	FINAL	L	M	H	
GRIETA PARABÓLICA	[m ²]	10717	10719	0,41			L: PARCHEO PARCIAL
Cantidad a intervenir:				0,41			

Fuente: Autor

Tabla 58: Solución para falla desprendimiento de agregados

FALLA	UNIDAD	ABSCISA (m)		CANTIDAD A INTERVENIR			SOLUCIÓN
		INICIAL	FINAL	L	M	H	
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	[m ²]	9640	9645		2		M: RIEGO DE EMULSIÓN BITUMINOSA. SELLADO CON LECHADA ASFÁLTICA
		10160	10187		17,55		
		10435	10454		19		
		10704	10725		23,1		
		10971	10992		10,35		
		11250	11255		3,43		
		11520	11535		3		
		11782	11795		5,2		
Cantidad a intervenir:				83,63			

Fuente: Autor

Actividades y procesos a realizar según el plan de mantenimiento vial sugerido

Tabla 59: Resumen del plan de mantenimiento vial

N°	ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
1	Sellado superficial	41,08	[m ²]
2	Sellado de grietas	134,99	[m]
3	Parcheo Parcial	0,41	[m ²]
4	Parcheo Profundo	0,7128	[m ²]
5	Riego de emulsion bituminosa	83,63	[m ²]
6	Limpieza de cunetas	-	[m ²]
7	Mantenimiento de señalización horizontal	-	[m]
8	Mantenimiento de señalización vertical	-	[m]
9	Limpieza general de la vía	1300	[m]

Fuente: Autor

- Proceso para el sellado superficial

Como paso previo se sugiere limpiar la superficie en la que se va a realizar el sellado, posteriormente se aplica el asfalto a presión en donde sea necesario y distribuir de manera uniforme, cumpliendo con la cantidad establecida. Posteriormente se debe cubrir con los áridos de manera inmediata, cuidando que nunca entre en contacto directo el material bituminoso recién agregado y las ruedas esparcidoras. Para finalizar se realiza una compactación de mínimo tres pasadas completas, estando la compactación inicial incluida en este valor. [34]

- **Proceso para sellado de grietas**

Es recomendable realizar este proceso cuando la temperatura se encuentre en el intervalo entre 5 y 30 °C, con el área limpia. El material a aplicar debe ser homogéneo y se lo aplica mediante mangueras de un camión distribuidor de asfalto, siendo la razón del riego de liga el intervalo desde 1.4 a $2.3 \frac{l}{m^2}$ y la arena a razón de $10 \frac{l}{m^2}$ para finalizar rodillar la arena con un máximo de 3 pasadas por punto. [34]

- **Parcheo parcial**

Identificar y delimitar el área de forma rectangular usando pintura, revolver la mezcla hasta cubrir en su totalidad, pero sin aflojar o dañar la base granular inferior. Retirar los sobrantes y depositarlos únicamente en escombreras autorizadas. [34]

- **Parcheo profundo**

Delimitar el área afectada, excavar y cortar las paredes verticales procurando que el fondo sea plano y horizontal, el mismo que se debe compactar al 95% del ensayo Proctor Modificado. Posteriormente colocar el ligante necesario de manera uniforme y sin excederse más de 6 mm sobre sus extremos, es decir el pavimento circundante. Para finalizar, compactar con un rodillo liso que tenga un peso entre 3 y 5 ton. [34]

Riego de emulsión bituminosa

Después de comprobar que la superficie en la que se va a trabajar cumple con las condiciones especificadas se procede a realizar la limpieza de la zona. Si la superficie es un pavimento bituminoso en servicio, los excesos de emulsión bituminosa serán removidos ya que no permitirían una adherencia correcta. [34]

CAPÍTULO IV. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se realizó el levantamiento georreferenciado de la vía Pelileo – Cotaló entre las abscisas 8+000 y 12+000, con coordenadas (9846218.25, 776519.13), (9844387.27, 778686.53) respectivamente y con los datos se dibujó un plano detallado en Autodesk Civil 3D de las características de la vía, obteniendo un ancho promedio de vía de 8.7 m, además de la ubicación de donde se realizaron las calicatas para la extracción de muestras, la estación de conteo vehicular, ensayos de PCI y Viga Benkelman.
- Con el conteo vehicular realizado en la abscisa 9+300 de la vía Pelileo – Cotaló se obtuvo un valor de Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 4930 veh/día, se calculó una proyección de tráfico futuro para el 2042 obteniendo un resultado de 5607 veh/día, la vía se clasifica tanto en la actualidad como en el futuro como Corredor Arterial I, es decir una carretera de 2 carriles tipo C1, el ancho de carril cumple con la normativa y no será necesario realizar una ampliación.
- En base a los ensayos de suelos realizados a las muestras obtenidas en las abscisas km 8+250, 9+400, 10+300 y 11+500 de la vía Pelileo – Cotaló se determinó que, las muestras de suelo 1, 2 y 4 se clasifican como suelo se clasifica como A- 3 (Arena Fina) y la muestra 3 como A- 1- b según la clasificación AASHTO y con el ensayo CBR se determinó que el valor promedio de la vía es de 13.71%, es decir son clasificados como “regular – buena” si se usan como subrasante.
- Se realizó una inspección visual por el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI), se obtuvieron 15 unidades de muestreo, entre las abscisas 8+000 – 11+780, se obtuvo un valor promedio de 82.6 puntos clasificando la condición del pavimento como “Satisfactorio” y un nivel de intervención de “Mantenimiento” de acuerdo con la norma ASTM D6433 -11.
- Se ejecutó la evaluación de la estructura del pavimento mediante el ensayo de viga Benkelman realizado cada 200m en la vía Pelileo – Cotaló, la misma que determinó que el tipo de deformaciones existentes en la capa de rodadura son de Tipo I, lo que indica que su deflexión admisible es mayor a su deflexión característica, es decir que la estructura del pavimento tiene un comportamiento favorable y soportará las cargas ejercidas por los ejes equivalentes actuales y proyectados a 20 años.

- Tomando en cuenta los resultados de todos los métodos y ensayos realizados en el proyecto de la vía Pelileo – Cotaló Abs 8+000 hasta 12+000, se ha generado un plan de mantenimiento vial rutinario detallado de la Tabla 59 en la pág: 58, de acuerdo con las condiciones de la vía, basado en la norma NEVI – Volumen 6, para garantizar el mantenimiento rutinario de la vía y el mejoramiento de la serviciabilidad de la misma.

4.2. Recomendaciones

- Utilizar el receptor satelital GPS correctamente calibrado y en las unidades que se ocupan en la zona en la que se encuentra el proyecto y de ser posible en un día en el que las condiciones climáticas sean las óptimas para obtener resultados de georreferenciación correctos de la superficie.
- Para el conteo de vehículos para el TPDA se recomienda realizarlo durante 24 horas, evitando así estimaciones que no se pueden evitar al realizar el conteo durante 12 horas.
- Se recomienda a los laboratorios de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica calibrar y dar el mantenimiento oportuno a todos los equipos disponibles para la realización de diferentes ensayos, con el fin de que el estudiante pueda obtener resultados certeros y coherentes en sus estudios.
- Referente a los ensayos de límites, Proctor y CBR se recomienda utilizar la misma balanza, calibrada y nivelada para que nos arroje resultados reales y confiables.
- Contar con un cuadro resumen de fallas, con su ubicación, severidad y con las posibles soluciones para las mismas, así como el procedimiento de estas.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- [1] I. Otero, I. Cañas, P. Esparcia, M. Navarra, M. C. Martín, y E. Ortega, “La carretera como elemento de valor paisajístico y medioambiental. Captación del valor del paisaje a través de la carretera”, *Informes de la Construcción*, vol. 58, núm. 504, pp. 39–54, 2006.
- [2] L. Zhengbing, *Asphalt Pavement Preventive Maintenance Technology Overview*, vol. vols. 638-640. Applied Mechanics and Materials, 2014.
- [3] A. S. C. S. and S. B. M. Kayhanian, “Impact of Annual Average Daily Traffic on Highway Runoff Pollutant Concentrations”, *Journal of Environmental Engineering*, vol. 129, nov. 2003.
- [4] N. S. S. Burningham, “Why road maintenance is important and how to get it done”, 2005.
- [5] A. B. A. M. R. O. J. O. and R. J. A. Pérez, *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática*. Barcelona: Editorial UOC, 2011.
- [6] R. Fernández, *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2011.
- [7] C. C. García Bombilla, “Análisis comparativo para el diseño de pavimentos flexibles entre las metodologías AASHTO-93 y el método CBR; aplicado al asentamiento humano Upis el Salvador Miraflores–Arequipa”, 2017.
- [8] V. E. Robles Alvarado, “Evaluación y diagnóstico del pavimento flexible en la carretera Cátac–Huari, tramo Cátac-Querococha, utilizando la viga Benkelman y el método PCI”, 2016.
- [9] J. L. Crespo-Fajardo, “Revelando el sistema de carreteras en Ecuador. Anotaciones sobre La ordenación de la red vial. El cantón de Cuenca (2016). Enrique Flores”, *Contexto. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, vol. 13, núm. 19, pp. 103–104, 2019.
- [10] G. E. Pico Vaca, “Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Montalvo Totoras en el tramo 0+ 000 hasta 4+ 000 de la provincia de Tungurahua”, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2021.
- [11] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, “Población y Demografía”, <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/> (consultado nov. 18, 2022)., 2010.
- [12] C. F. and P. B. R. Hernández, *Metodología de la Investigación*, Sexta. México: Mc Graw Hill Education, 2014.

- [13] D. M. B. Gordillo, “Determinación de los factores de mayoración del tráfico promedio diario anual (TPDA) partiendo de datos históricos de zonas representativas de la ciudad de Cuenca”, UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2018.
- [14] Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, “Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 - MTOP: VOLUMEN N°2 – LIBRO A NORMA PARA ESTUDIOS Y DISEÑOS VIALES”, vol. 2A. Quito, 2013.
- [15] T. Z. A. Verdezoto, F. F. C. Montes, y O. B. R. Medina, “Análisis del congestionamiento vehicular para el mejoramiento de vía principal en Guayaquil-Ecuador”, *Gaceta Técnica*, vol. 21, núm. 2, pp. 4–23, 2020.
- [16] R. D. V. J.G. Tapia, *Ingeniería de Tráfico*. 2006.
- [17] K. F. Colombo, I. T. Villegas, y W. G. M. Cabrera, “LA TRIGONOMETRÍA COMO FACTOR DE APRENDIZAJE EN LOS CONTENIDOS PRÁCTICOS DE LA TOPOGRAFÍA”, *Opuntia Brava*, vol. 9, núm. 3, pp. 224–236, 2017.
- [18] W. A. Botía Díaz y others, “Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo”, 2015.
- [19] B. M. Das y S. R. C. González, *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cengage Learning, 2015.
- [20] J. J. S. Llano, *Mecánica de suelos*. Reverte, 1975.
- [21] C. Crespo, “Mecánica de suelos y cimentaciones”, *México: Limusa*, 2004.
- [22] J. E. Bowles, “Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil”. [Engineering properties of soils and their measurement”, 1978.
- [23] J. Connelly, W. Jensen, y P. Harmon, “Proctor compaction testing”, 2008.
- [24] C. Hidalgo Signes, J. I. Preciado Romero, y M. de la Torre, “ENSAYOS BÁSICOS DE MECÁNICA DE SUELOS. PRÁCTICAS DE GEOTECNIA”, *Colección Académica. Editorial UPV*, 2015.
- [25] A. O. Manotoa Santana, “Estudio de la correlación entre los ensayos (DCP) Penetrómetro dinámico de cono y (CBR) Relación de soporte de California en los diferentes tipos de suelos”, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2016.
- [26] R. B. Mallick y T. El-Korchi, *Pavement engineering: principles and practice*. CRC Press, 2008.
- [27] J. M. Díaz Cárdenas y others, “Evaluación de la metodología PCI como herramienta para la toma de decisiones en las intervenciones a realizar en los pavimentos flexibles”, 2014.
- [28] J. I. Balarezo Zapata, “Evaluación estructural usando viga benkelman aplicada a un pavimento”, 2017.

- [29] M. Hoffman y P. del Águila, “Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos no destructivos)”, *Perú: Lima*, 1985.
- [30] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Manual de Ensayo de Materiales*. Perú, 2016.
- [31] AASHTO 93 The American Association Of State Highway And Transportation Officials, AASHTO Guide for desing of pavement structures. Washington D. C, Estados Unidos: The Association, 1993.
- [32] ASTM D6433-11, Standar Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys, West Conshohocken, Pensilvania, United States, 2011.
- [33] CONREVIAl, Estudio de rehabilitación de carreteras del país, Lima, Perú, 2014.
- [34] W. A. Fernández Castillo, “Evaluación y Reparación de Pavimentos Asfáltico,” Universidad Nacional de Ingeniería, 2004. [Online]. Available: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/18614>.

ANEXOS