



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL  
PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA ATUNCOLLA -  
COMPLEJO ARQUEOLÓGICO SILLUSTANI – 2020**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**BONIFACIO DURANT, JOSE EDSON**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

A mis padres Enrique y Fany, quienes me brindaron su tiempo, conocimiento y valores que me han permitido alcanzar mis metas como persona; a mis hermanos, Enrique, Miguel, Liz y Zinnia por su apoyo incondicional en todo momento y a mis docentes de todos los niveles de estudio por su desprendimiento en la enseñanza a mi persona.



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la fortaleza necesaria, guiarme en este camino y permitirme continuar hacia el futuro. A la Universidad Nacional del Altiplano por ser el alma mater que me formo en sus ambientes como un ciudadano y profesional de bien, a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quienes me brindaron e impartieron conocimientos en forma incondicional y en especial a mi director de Tesis, Ing. Roberto Mariano Garcia Loayza, quien, con su firmeza, sapiencia y comprensión, coadyuvó al desarrollo de esta Tesis.

Gracias a mis compañeros y amigos de la Universidad, con quienes compartí conocimiento, experiencias y anécdotas dentro y fuera de las aulas universitarias y a mis amigos del Club Deportivo Kings por el apoyo y motivación en todo momento.



# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

RESUMEN..... 12

ABSTRACT..... 13

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 16

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA ..... 17

1.2.1. PROBLEMA GENERAL..... 17

1.2.2. PROBLEMA ESPECIFICO..... 17

1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION ..... 17

1.3.1. HIPOTESIS GENERAL ..... 17

1.3.2. HIPOTESIS ESPECIFICA..... 18

1.4. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION ..... 18

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION ..... 19

1.5.1. OBJETIVO GENERAL ..... 19

1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS ..... 19

1.5.3. OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES ..... 19

## CAPITULO II

### REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION ..... 21

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES..... 21



2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES .....	24
2.1.3. ANTECEDENTES REGIONALES.....	29
2.2. MARCO TEORICO .....	32
2.2.1. PAVIMENTO .....	32
2.2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS.....	33
2.2.3. ESTUDIO DE TRANSITO.....	38
2.2.4. EVALUACION DE PAVIMENTOS.....	46
2.2.5. MEDICION DE DEFLEXIONES.....	50
2.2.5.1.LA VIGA BENKELMAN .....	51

### **CAPITULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	65
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACION.....	65
3.1.2. ALCANCE DE LA INVESTIGACION .....	65
3.1.3. METODO DE INVESTIGACION .....	65
3.1.4. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ESTUDIO .....	66
3.1.5. POBLACION .....	66
3.1.6. MUESTRA.....	67
3.1.7. TRATAMIENTO ESTADISTICO .....	68
3.2. DESCRIPCION DEL TRAMO EN ESTUDIO .....	68
3.3. ESTUDIO DE TRANSITO.....	68
3.3.1. CALCULO DEL INDICE MEDIO DIARIO ANUAL.....	69
3.3.2. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALETES ESAL .....	70
3.4. CALCULO DE LAS DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN.....	72
3.4.1.EQUIPOS Y MATERIALES .....	72
3.4.2.PROCEDIMIENTO DE MEDICION DE LAS DEFLEXIONES EN CAMPO .....	78



3.4.3. CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES CORREGIDAS.....	86
3.4.4. CÁLCULO DEL RADIO DE CURVATURA .....	89
3.4.5. CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA.....	91
3.4.6. CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN ADMISIBLE .....	94
3.4.7. CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CRITICA .....	94
3.5. TIPO DE INTERVENCION .....	95

#### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. RESULTADOS DE LA EVALUACION DE TRANSITO.....	96
4.2. RESULTADOS DE LA EVALUACION ESTRUCTURAL .....	97
4.3. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS .....	101
4.4. ALTERNATIVAS DE SOLUCION .....	104
4.5. DISCUSION.....	105
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>108</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>109</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>115</b>

**Área** : Transportes  
**Tema** : Conservación y Mantenimiento Vial  
**Línea de Investigación** : Transportes y Gestión Vial

**FECHA DE SUSTENTACION: 28 DE ABRIL DE 2022**



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estructura típica de Pavimentos Asfálticos.....	33
<b>Figura 2:</b> Estructura típica de Pavimentos Flexibles .....	34
<b>Figura 3:</b> Estructura típica de Pavimentos Semirrígidos .....	37
<b>Figura 4:</b> Estructura típica de Pavimentos Rígidos .....	38
<b>Figura 5:</b> Pesos y medidas máximas permitidas .....	40
<b>Figura 6:</b> Factores de distribución Direccional y de Carril .....	52
<b>Figura 7:</b> Configuración Geométrica de ensayos con la Viga Benkelman.....	56
<b>Figura 8:</b> Esquematación del proceso de medición con la Viga Benkelman.....	57
<b>Figura 9:</b> Formato de campo para recopilación de lecturas con Viga Benkelman .....	58
<b>Figura 10:</b> Deformada del Pavimento y Radio de Curvatura .....	59
<b>Figura 11:</b> Carretera Atuncolla - Sillustani .....	66
<b>Figura 12:</b> Ruta Atuncolla – Sillustani (PU -1047).....	67
<b>Figura 13:</b> Viga Benkelman usada en campo .....	72
<b>Figura 14:</b> Certificado de Calibración .....	73
<b>Figura 15:</b> Camión de ensayo de placa WZ-3396 .....	74
<b>Figura 16:</b> Ticket de Pesaje n.º 2136.....	74
<b>Figura 17:</b> Odómetro usado en campo.....	75
<b>Figura 18:</b> Equipos de protección personal (EPP's).....	76
<b>Figura 19:</b> Conos de Seguridad .....	77
<b>Figura 20:</b> Cartel identificador del estudio.....	77
<b>Figura 21:</b> Medición del ancho de calzada .....	79
<b>Figura 22:</b> Marca de los puntos de ensayo .....	79
<b>Figura 23:</b> Guía vertical y eje longitudinal.....	80
<b>Figura 24:</b> Colocación de la Viga sobre el punto de ensayo .....	80



<b>Figura 25:</b> Ajuste perpendicular de la Viga Benkelman .....	81
<b>Figura 26:</b> Lectura inicial (varilla coincide con 1° marca).....	82
<b>Figura 27:</b> Lectura a 25 cm (D25) .....	82
<b>Figura 28:</b> Lectura Final .....	83
<b>Figura 29:</b> Posición inicial ( $D_0$ = Deflexión máxima) .....	83
<b>Figura 30:</b> Posición a 25 cm (D25).....	84
<b>Figura 31:</b> Posición final ( $D = 0$ ).....	84
<b>Figura 32:</b> Registro de lecturas en formato de campo .....	85
<b>Figura 33:</b> Formato para la recopilación de mediciones en campo .....	85
<b>Figura 34:</b> Esquema del Índice Medio Diario Anual.....	96
<b>Figura 35:</b> Deflectograma – Margen Derecho .....	100
<b>Figura 36:</b> Deflectograma – Margen Izquierdo .....	100



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Operacionalización de la variable “cargas de tránsito” .....	20
<b>Tabla 2:</b> Operacionalización de la variable “deflexiones” .....	20
<b>Tabla 3:</b> Operacionalización de la variable “Capacidad estructural” .....	20
<b>Tabla 4:</b> Factores de distribución Direccional y de Carril .....	41
<b>Tabla 5:</b> Factores de Equivalencia de Carga.....	44
<b>Tabla 6:</b> Relación de cargas por eje para determinar Ejes Equivalentes .....	45
<b>Tabla 7:</b> Definición de parámetros para determinar el número de EE .....	46
<b>Tabla 8:</b> Distancia del punto de ensayo para muestras .....	54
<b>Tabla 9:</b> Deflexión Característica .....	60
<b>Tabla 10:</b> Características del pavimento de acuerdo al tipo de deflexión y Radio de curvatura. ....	63
<b>Tabla 11:</b> Características del pavimento de acuerdo al cuenco de deflexiones .....	63
<b>Tabla 12:</b> Análisis Combinado de los Resultados de Evaluación .....	64
<b>Tabla 13:</b> Coordenadas del tramo .....	67
<b>Tabla 14:</b> Numero de muestras .....	68
<b>Tabla 15:</b> Cálculo del IMDA.....	69
<b>Tabla 16:</b> Resumen del IMDA .....	70
<b>Tabla 17:</b> Cálculo de Ejes Equivalentes por vehículo.....	71
<b>Tabla 18:</b> Cálculo de ESAL para pavimento flexible .....	71
<b>Tabla 19:</b> Distancia desde el borde del pavimento.....	78
<b>Tabla 20:</b> Mediciones en Campo – Margen Derecho.....	86
<b>Tabla 21:</b> Mediciones en Campo – Margen Izquierdo.....	87
<b>Tabla 22:</b> Deflexiones Calculadas – Margen Derecho.....	88
<b>Tabla 23:</b> Deflexiones Calculadas – Margen Izquierdo.....	89



<b>Tabla 24:</b> Radio de Curvatura – Margen Derecho .....	90
<b>Tabla 25:</b> Radio de Curvatura – Margen Izquierdo .....	91
<b>Tabla 26:</b> Resumen – Deflexión Característica.....	93
<b>Tabla 27:</b> Comportamiento de la Subrasante y del pavimento .....	95
<b>Tabla 28:</b> ESAL calculado .....	96
<b>Tabla 29:</b> Análisis Deflectometrico Margen Derecho .....	97
<b>Tabla 30:</b> Análisis Deflectometrico Margen Izquierdo.....	98
<b>Tabla 31:</b> Resumen – Deflexión Característica y Radio de Curvatura .....	98
<b>Tabla 32:</b> Comparación deflexión característica vs deflexión admisible.....	99
<b>Tabla 33:</b> Comparación Radio de Curvatura y valor mínimo .....	99
<b>Tabla 34:</b> Prueba “t” student para el Objetivo Especifico 1.....	102
<b>Tabla 35:</b> Prueba “t” student para el Objetivo Especifico 2.....	103
<b>Tabla 36:</b> Medidas Correctivas Viga Benkelman .....	104



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AASHTO	: American Association of State Highway Transportation
CBR	: Californian Bearing Ratio
CONREVIAL	: Consorcio de Rehabilitación Vial
EE	: Ejes Equivalentes
ESAL	: Equivalent Single Axle Load
FWD	: Falling Weight Deflectometer
IMDA	: Índice Medio Diario Anual
IMDM	: Índice Medio Diario Mensual
IMDS	: Índice Medio Diario Semanal
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
PCI	: Pavement Condition Index
PSR	: Present Serviability Rating
PSI	: Present Serviability Index
TDPS	: Trafico Promedio Semanal Diario



## RESUMEN

La red vial tiene como fin propiciar el desarrollo económico, social y cultural de una región; por ello se debe asegurar la transitabilidad y condición superficial y estructural de las carreteras. En el distrito de Atuncolla, en específico en el pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani, se evidencia la presencia de patologías como baches, grietas, entre otros. Debido a estos problemas, el presente trabajo de investigación tiene por objetivo evaluar la capacidad estructural del pavimento flexible de la carretera en mención, mediante el análisis deflectométrico establecido en la normativa peruana (MTC E 1002). Para la evaluación del pavimento se realizó el aforo vehicular, con el fin de determinar las cargas de tránsito actuales y por medio de la viga Benkelman se recolectaron las medidas de las deflexiones en campo. Con los datos obtenidos in situ, se realizó la evaluación estructural del pavimento utilizando el método CONREVIAl, obteniéndose una deflexión característica de “ $49.38 \times 10^{-2}$  mm” que resultó ser menor a la deflexión admisible de “ $104.75 \times 10^{-2}$  mm”, y un radio de curvatura promedio de 608.41 m, que resultó mayor al valor mínimo establecido por el método (100 metros), llegando a la conclusión que el comportamiento de la subrasante y el pavimento son buenos y por ende la capacidad estructural del pavimento es “buena”. Sin embargo, aunque no se evidenció insuficiencia estructural, se recomienda como tipo de intervención “las correcciones a nivel de superficie o superficiales”, debido a la presencia de patologías en la superficie del pavimento.

**Palabras Clave:** Capacidad estructural, deflexión, radio de curvatura.



## ABSTRACT

The road network is intended to promote economic, social and cultural development of a region; therefore, the passability and surface and structural condition of the roads must be ensured. In the Atuncolla district, specifically in the flexible pavement of the Atuncolla – Sillustani Archaeological Complex highway, the presence of pathologies such as potholes, cracks, among others, is evident. Due to these problems, the present research work aims to evaluate the structural capacity of the flexible pavement of the road in question, through the deflectometric analysis established in the Peruvian regulations (MTC E 1002). For the evaluation of the pavement, the vehicular capacity was carried out, in order to determine the current traffic loads and by means of the Benkelman beam, the measurements of the deflections in the field were collected. With the data obtained in situ, the structural evaluation of the pavement was carried out using the CONREVI method, obtaining a characteristic deflection of " $49.38 \times 10^{-2}$  mm" which turned out to be less than the admissible deflection of " $104.75 \times 10^{-2}$  mm" , and an average radius of curvature of 608.41 m, which was greater than the minimum value established by the method (100 meters), concluding that the behavior of the substrate and the pavement are good and therefore the structural capacity of the pavement is "good". However, even if the fact that structural insufficiency was not evidenced, it is recommended as a kind of intervention "the surface or superficial level corrections", due to the presence of pathologies on the pavement's surface.

**Keywords:** Structural capacity, deflection, radius of curvature.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial juega un papel predominante en el desarrollo del país, por eso es importante mantener la adecuada condición superficial y estructural de las carreteras a nivel nacional. Las condiciones óptimas dependen del mantenimiento oportuno y acorde a las patologías que se manifiesten en las mismas.

Sin embargo, el constante deterioro de las carreteras merma el desarrollo esperado, se puede verificar “in situ” que después de un periodo de tiempo de realizado el mantenimiento periódico o rutinario, el pavimento vuelve a dañarse, esto debido a que solo se realiza una evaluación superficial y no una evaluación estructural.

“La determinación del comportamiento estructural es una de esas herramientas que permite conocer el estado del pavimento mediante la medición de las deflexiones en la superficie de un pavimento bajo una carga dada; su medición es simple, rápida, económica y no destructiva, es decir, no se altera el equilibrio ni la integridad del sistema” (Fernandez, 2020, p. 1).

En el distrito de Atuncolla se evidencia la presencia de patologías en el pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047). Por ello, se requiere efectuar la evaluación de la capacidad estructural del pavimento flexible de la referida carretera, situación que nos permitirá conocer el comportamiento estructural del pavimento frente a las cargas de tránsito; y así determinar el tipo de intervención a proponerse en aras del beneficio del distrito de Atuncolla y su economía.

Para alcanzar el objetivo general se establecieron dos objetivos específicos: el primero para determinar las cargas de tránsito en la carretera en estudio y el segundo para



calcular la deflexión característica, admisible y el radio de curvatura con la finalidad de evaluar la capacidad estructural del pavimento flexible de la vía.

En ese sentido, el trabajo de investigación se desarrolla en 6 capítulos, en el primero se indicará el planteamiento del problema, hipótesis, justificación y objetivos de la investigación.

En el capítulo segundo se detallarán los antecedentes internacionales, nacionales y regionales, además se desarrollará el marco teórico de la presente investigación. En el capítulo tercero se abordarán los materiales y métodos, la metodología de investigación y el proceso del cálculo de las deflexiones en campo y el aforo vehicular. En el capítulo cuarto se detallarán los resultados de la investigación, así como la alternativa de solución propuesta y la discusión respecto a los antecedentes.

Finalmente, en los capítulos quinto y sexto se expondrán las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó en el presente trabajo de investigación.



## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las carreteras a nivel nacional raramente son evaluadas por alguna metodología, en la mayoría de los casos se toma acción cuando el daño es notable, situación que refleja la carencia o poca gestión de pavimentos de los gobiernos locales y/o regionales.

Al respecto, en algunos casos, cuando la carretera tiene un nivel significativo de tránsito, se practica solo una evaluación superficial, esto es aceptable cuando el daño percibido es leve o las fallas ocurridas en los pavimentos no son del tipo estructural; pero, cuando la causa principal del deterioro es la insuficiencia estructural del pavimento por el aumento del tráfico vehicular y/o capacidad de soporte de la capa subrasante, se requiere necesariamente una evaluación del tipo estructural.

“La evaluación estructural de pavimentos consiste en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante en una estructura vial existente en cualquier momento de su vida de servicio para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación o mantenimiento” (Balarezo, 2017, p.2).

En la provincia de Puno, los pavimentos existentes presentan diversas patologías durante su vida útil, situación que se debe a la falta de mantenimiento o a mantenimientos realizados sin previa evaluación superficial y/o estructural, para establecer el tipo de intervención.

La carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani, materia de la presente investigación, se encuentra en un estado de conservación “Regular” y tiene un periodo de vida de 32 años, que supera al tiempo de vida útil promedio de los pavimentos flexibles que va entre 10 a 15 años (MINCETUR, 2011).

Asimismo, en el tramo en estudio, se observó la presencia de diversas patologías y daños al pavimento como baches, grietas longitudinales y transversales, también, un ligero ahuellamiento. De persistir esta situación se tendrán fallas críticas en la carpeta



estructural del pavimento, las que requerirán mayores costos en la intervención y recuperación de las características estructurales del pavimento en mención.

Para que el pronóstico no se cumpla, resulta imprescindible realizar una evaluación estructural del pavimento para conocer con detalle si la presencia de estas patologías en el pavimento, se debe a factores estructurales o superficiales y en base a ello establecer el tipo de intervención apropiado, ya sea rehabilitación y/o mantenimiento mediante un refuerzo estructural y/o corrección de fallas superficiales respectivamente.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la capacidad estructural del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047), en base a las deflexiones calculadas con la viga Benkelman?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- 1) ¿Cuál es la carga de tránsito del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047)?
- 2) ¿Cuál es la medida de las deflexiones del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047)?

## **1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La capacidad estructural del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047) es mala, por lo que se necesitara un refuerzo estructural.



### **1.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- 1) Las cargas de tránsito en la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047), tienen un IMDA superior a 401 veh/día, correspondiente a una carretera de segunda clase.
- 2) La deflexión admisible del pavimento calculada con el IMDA, según el Manual de Carreteras, es menor a la deflexión característica del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047).

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Una de las actividades económicas de la provincia de Puno y el distrito de Atuncolla es el turismo, razón por la cual, la necesidad de una infraestructura vial que asegure la transitabilidad, seguridad y comodidad de los usuarios es indispensable en aras de propiciar el turismo nacional e internacional, de lo contrario se estaría limitando la actividad turística que se desarrolla en la región.

Por ello se requiere realizar la evaluación de la capacidad estructural del pavimento flexible de carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047), situación que nos permitirá conocer el comportamiento estructural del pavimento flexible frente a las cargas de tránsito; para así, determinar el tipo de intervención a proponerse en base a las deflexiones calculadas, la misma que puede ser una rehabilitación y/o mantenimiento mediante un refuerzo estructural y/o corrección de fallas superficiales respectivamente.

En ese sentido, importa dar a conocer los resultados, conclusiones y recomendaciones de este trabajo de investigación, para que sean tomados en consideración por parte de las instituciones dedicadas a la gestión de infraestructura vial, toda vez que, producto de las intervenciones que se realizarán, se beneficiará la población



del distrito de Atuncolla por las bondades que propicia una infraestructura vial en buen estado.

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la capacidad estructural para soportar cargas de tránsito del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047).

### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Determinar las cargas de tránsito de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047).
- 2) Calcular la deflexión característica y admisible del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047).

### **1.5.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

“En el proceso de operacionalización de variables es necesario determinar los parámetros de medición a partir de los cuales se establecerá la relación de variables enunciadas por la hipótesis” (Escobar & Bilbao, 2020, p. 35).

a) Variables:

- Variable Independiente: Cargas de tránsito
- Variable Independiente: Deflexiones
- Variable dependiente: Capacidad Estructural

b) Operacionalización:

En las siguientes tablas, se presenta la operacionalización de las variables independientes y la variable dependiente; así mismo en el anexo A se adjunta la matriz de consistencia y la operacionalización de variables.

**Tabla 1: Operacionalización de la variable “cargas de tránsito”**  
**VARIABLE INDEPENDIENTE: CARGAS DE TRANSITO**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Cargas de Tránsito	“La Carga de tránsito es aquella que es transmitida por los distintos vehículos hacia una vía cualquiera. El volumen de tránsito del carril de diseño, se convierte a un determinado número de ejes equivalentes ESAL, que es el parámetro usado en el diseño de la estructura del pavimento” (Minaya y Ordoñez, 2006, p.98).	Se realizó el aforo vehicular durante una semana (lunes a domingo), estableciendo así el Índice Medio Diario Semanal (IMDS) y posteriormente se obtuvo el número de Ejes Equivalentes (ESAL) para el tramo en estudio.	Numero de ejes equivalentes	ESAL	Adimensional

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 2: Operacionalización de la variable “deflexiones”**

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE: DEFLEXIONES</b>					
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Deflexiones	“Es la deformación elástica o resilientes de las capas del pavimento y de la subrasante que condiciona la fatiga de las capas superficiales más resistentes, sujetas a flexiones sucesivas” (Medina y Motta, 2015, p. 368).	Se realizará el ensayo MTC -1002, “Medida de la deflexión de un pavimento flexible empleando la Viga Benkelman”, y en concordancia con el método CONREVIAL, se calculó el radio de curvatura, deflexión característica y deflexión admisible.	Tipos de deflexiones: 1. Característica 2. Admisible 3. Crítica	1. Bajas deflexiones 2. Altas deflexiones	Adimensional

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3: Operacionalización de la variable “Capacidad estructural”**

<b>VARIABLE DEPENDIENTE: CAPACIDAD ESTRUCTURAL</b>					
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Tipo de Intervención	“Se puede definir la capacidad estructural como la capacidad del pavimento para soportar las cargas de tránsito durante el período de vida útil”.	En base a las deflexiones características y admisible, y con un análisis combinado de los resultados de la evaluación, se establecerá la capacidad estructural del pavimento.	Tipo de intervención	1. Bueno 2. Regular 3. Malo	Adimensional

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Con el propósito de contextualizar el presente trabajo, se hizo una revisión sistemática de las investigaciones realizadas sobre el tema, la metodología empleada y los resultados obtenidos.

##### 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Massenlli & Paiva (2019) en su artículo denominado: “Influencia de la deflexión superficial en pavimentos flexibles con subrasante de baja resistencia”, concluyen que: Realizados los análisis de sensibilidad, manifestaron la importancia de dos parámetros de rigidez que son el espesor y módulo elástico, estos para cada capa de un pavimento flexible. Los análisis efectuados evidenciaron que, a la mínima variación en la capacidad estructural de las capas de revestimiento, base, sub base y subrasante, puede provocar una variación considerable en los esfuerzos actuantes, perjudicando el desempeño del pavimento y por ende en su vida útil.

Una solución de refuerzo estructural es el refuerzo de la subrasante, esto por que provoca una variación en todo el estado de tensiones del pavimento flexible, amenizando de manera primordial las deformaciones verticales de la subrasante. Este estudio evidencio en sus resultados que los pavimentos, con capacidad baja de soporte y dimensionados con mínimos espesores, en todas las capas, son considerados frágiles. De este modo, los pavimentos con módulos de subrasante por debajo de 80 Mpa, deberían considerar mínimamente un refuerzo de 0,60 m de espesor. Empero, el refuerzo de la subrasante para Esl inferiores de 30 MP no es factible, esto porque se necesitaría un considerable espesor de refuerzo. En este caso es necesario tomar en cuenta las



recomendaciones internacionales de tratamiento con aditivos para una estabilización química que provoque combinaciones estabilizadas con desempeño superior a capas con  $E_{sl} = 50\text{MPa}$ . Por consiguiente, se concluye que las sugerencias proporcionadas en este trabajo pueden aportar a un proceso de dimensionamiento que tenga como objetivo establecer una estructura de pavimento más durable, sustentable y resistente.

Cruz & Ocaña (2019) en su tesis para optar el grado de Magister en Infraestructural vial en la Universidad de Santo Tomas – Bogotá, titulada “Evaluación estructural de pavimentos flexibles construidos en la localidad de Usme utilizando el deflectómetro de impacto o FWD”, tuvo como objetivo general:

Realizar un análisis comparativo de los comportamientos estructurales de pavimentos flexibles a base de agregados pétreos (bases granulares, sub bases granulares) y RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) para ocho vías secundarias ubicadas en la Localidad de Usme, UPZ Alfonso López, basado en un estudio de deflexiones obtenidas con el deflectómetro de carga dinámica de impacto (FWD) con el fin de determinar los impactos en términos constructivos y económicos de las estructuras (p. 18).

En la investigación se concluye que: En la mayoría de las estructuras en las cuales se presentan las deflexiones centrales  $D_0$ , evidencian una condición alarmante, el motivo es que estas poseen una variación en rangos superiores a los  $500\ \mu\text{m}$ , esto mostraría que la subrasante se encuentra absorbiendo una gran cantidad de cargas, con la probabilidad que en un futuro se presenten fallas con apariciones de hundimientos locales, ahuellamientos y daños de consideración a la estructura de los pavimentos, teniendo en cuenta que el pavimento reciclado PR3 muestra unas deflexiones  $D_0$  que se encuentran dentro del rango del comportamiento estructural bueno.



Carrasco & Vizhñay (2019) en su tesis para optar el título de ingenieros civiles en la Universidad de Cuenca, titulada “Evaluación estructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman”, tuvo como objetivo general: “Realizar un plan de evaluación estructural de pavimentos mediante el análisis de la información de deflexión medida con la viga Benkelman que posee la Municipalidad de Azogues y aplicarlo a una porción representativa de los pavimentos flexibles de dicha ciudad, proporcionando alternativas de solución técnicas a las deficiencias que se presenten” (p. 17).

En la investigación se concluye que: Realizado el análisis de los cuencos de deflexiones muestra que la totalidad de las secciones evaluadas se encuentran compuestas por una subrasante y un pavimento malo, esto en concordancia con la clasificación efectuada a partir del valor de su CBR, donde la subrasante cambia entre inadecuada, pobre y regular, excepto la sección 9 que se clasifica como buena y la sección 2 como muy buena. En ambas secciones, las deflexiones máximas medidas con la viga Benkelman tuvieron resultados de bajos valores como 0,484 mm para la sección 2 y 0,481 para la sección 9, en consecuencia, ambas secciones no necesitan un refuerzo estructural de acuerdo al método de la AASHTO.

Paredes (2019) en su tesis para optar el título de ingeniero civil en la Universidad Técnica de Ambato, titulada “Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía: Cevallos-Quero en el tramo km 5+800 al km 9+100 de la provincia de Tungurahua”, tuvo como objetivo general “Proponer un sistema de gestión de conservación vial en función de las características físicas de la vía: Cevallos-Quero en el tramo desde la abscisa K5+800 a la abscisa K9+100 de la provincia de Tungurahua” (p. 4).



En la investigación se concluye que: Se logro obtener valores de deflectometría gracias al ensayo con la Viga Benkelman como también medidas a nivel de carpeta asfáltica, verificar la condición estructural del pavimento y la subrasante. Se puede concluir de acuerdo a los análisis de las deflexiones del tramo que el 100.00% posee un comportamiento de la subrasante BUENO, teniendo en cuenta el radio de la curvatura posee un comportamiento estructural del pavimento BUENO en un 46.67% y en un 53.33% MALO, vale decir que tienen un mal comportamiento estructural del pavimento y un buen comportamiento estructural de subrasante (p. 120).

Diaz (2016) en su tesis para optar el título de ingeniero civil, en la Universidad de Guayaquil, titulada “Factores Que Influyen En El Deterioro Del Pavimento Flexible De La Avenida Universitaria Del Cantón Babahoyo De La Provincia De Los Ríos”, tiene como objetivo general: “Desarrollar un estudio integral de pavimento para conocer los factores que influyen en el deterioro del pavimento existente de la Av. Universitaria” (p. 3).

En la investigación se concluye que: La falla de la capa de rodadura existente es indicada por la condición funcional de la superficie de rodadura representada por el Índice de Estado de la vía; es decir el 50% de la longitud de la vía se halla en estado regular y malo, siendo este un indicador de agotamiento estructural de la capa de rodadura asfáltica, esto como consecuencia de las pocas capas que conforman la estructura de pavimento que son útiles para soportar el creciente tráfico actual que soporta la vía (p. 126).

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Fernández (2020) en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional de Cajamarca, titulada “Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Cajamarca-Celendín-Balsas, tramo



Chaquilpampa - Santa Rosa de Chaquil, mediante el análisis deflectométrico”, tuvo como objetivo general “Determinar el comportamiento estructural del pavimento flexible de la Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo del km 20+000 al km 25+000” (p. 4).

En la investigación se concluye que: El comportamiento del pavimento flexible de la carretera Cajamarca - Celendín - Balsas, en los tramos de 20.000 km a 25.000 km, con base en la flecha obtenida en campo con viga Benkelman, es bueno debido a que la flecha característica ( $67 \times 10^{-2}$  mm) es menor que la deflexión admisible ( $71 \times 10^{-2}$  mm) y la crítica ( $85 \times 10^{-2}$  mm), además en el 91,1% del ensayo, el radio de curvatura es mayor que el valor mínimo requerido (100 m).

Silva (2019) en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo, titulada “Evaluación visual y estructural del pavimento flexible de la urbanización Los Jardines, Barranca-2017”, tuvo como objetivo general “Realizar la evaluación visual y estructural de los pavimentos en la Urbanización los Jardines, mediante los métodos del PCI y la viga BENKELMAN, Barranca 2017” (p. 6).

En la investigación se concluye que: De conformidad con la evaluación de la estructura del pavimento de la Urbanización los Jardines, el CBR de los dos primeros segmentos es 8.06 y de los segmentos finales es 7.35. Cabe precisar que el método PCI muestra que los dos primeros tramos se encuentran en buen estado y los dos últimos en mal estado, por consiguiente, se concluye que la vía de la urbanización los Jardines tiene un buen terreno de fundación, pero una mala estructura de pavimento.

Julca (2019) en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Cesar Vallejo, titulada “Análisis de la Confiabilidad del Ensayo de Viga Benkelman para Establecer la Condición Estructural del Pavimento de la Av. El Sol del Distrito de Ate, 2019”, tuvo como objetivo general “Evaluar la confiabilidad del método viga Benkelman



como una herramienta para conocer una condición estructural del pavimento flexible de la Av. El sol del Distrito de Ate – 2019” (p. 75). En la investigación se concluye que:

Se evaluó la estructura del pavimento usando el método de la viga Benkelman, que permitió hallar valores a nivel de la carpeta asfáltica y también conocer el estado actual del pavimento de la av. El sol, para esta evaluación se sometió a diferentes cargas, primero con carga de 8.2 toneladas que se obtiene una deflexión característica de 67.41mm para la calzada derecho y 86.29 mm para la calzada izquierdo, siendo así mayor a la deflexión admisible de 56mm y para carga de 12 toneladas su deflexión característica es de 113.81mm para la calzada derecho y 121.65mm para la calzada izquierdo, siendo así mayor a la deflexión admisible de 68 mm a obtenidos estos resultados , se interpreta por el modelo Hogg, donde se obtiene deformaciones por debajo del rango normal de un pavimento en buen estado, por lo tanto se determina que la estructura del pavimento no presenta un adecuado comportamiento estructural (p. 66).

Vidaurre (2018) en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Cesar Vallejo, titulada “Evaluación para la reconstrucción del Pavimento Flexible del Jr. José Santos Chocano del Distrito de los Olivos - Lima 2018”, tiene como objetivo general “Determinar la influencia de la evaluación del pavimento flexible para la reconstrucción del Jr. José Santos Chocano del Distrito de los Olivos – Lima 2018” (p. 63). En la investigación se concluye que:

Se ha determinado el comportamiento estructural de las capas del pavimento flexible del Jr. José Santos Chocano del Distrito de los Olivos, mediante el análisis deflectométrico. Indicándonos que dicha vía presenta actualmente un comportamiento estructural de mala calidad. Debido a que la deflexión promedio ( $64.9 \times 10^{-2}$  mm) es mayor a la deflexión admisible (51.80



x 10-2 mm). Por lo que no se garantiza una estructura de comportamiento satisfactorio. Se concluye que el ensayo de la viga Benkelman influye en la reconstrucción del pavimento flexible del Jr. José Santos Chocano del Distrito de Los Olivos -Lima 2018 (p. 102).

Meza (2017) en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Católica de Santa María, titulada “Evaluación deflectométrica obtenida con la viga Benkelman y diseño de estructuras de pavimentos por el Método AASHTO 2008 en la avenida Hartley del distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa”, tiene como objetivo general: “Realizar la evaluación de la condición estructural del pavimento mediante la medición deflectométrica obtenida con viga Benkelman de la Avenida Hartley” (p. 2). En la investigación se concluye que:

La evaluación deflectométrica usando la viga Benkelman nos permitió hallar valores de deflectométria medidas a nivel de carpeta asfáltica y nos permitió verificar la condición estructural del pavimento, considerando el método CONREVIAl, la deflexión característica debe ser menor a la deflexión admisible ( $D_c < D_{adm}$ ), de acuerdo a los cálculos realizados en el presente trabajo de tesis la deflexión característica del pavimento que se obtuvo es 75 mm-2 y es mayor a la deflexión admisible que es 64 mm-2, por lo tanto podemos concluir que existen fallas de origen estructural en el pavimento en estudio (p. 171).

Cubas (2017) en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Privada del Norte, titulada “Comportamiento estructural del pavimento flexible en la vía de Evitamiento Sur – Cajamarca utilizando las deflexiones medidas con la viga Benkelman”, tiene como objetivo general: “Determinar el comportamiento estructural del



pavimento flexible de la Vía de Evitamiento Sur – Cajamarca utilizando las deflexiones medidas con la viga Benkelman” (p. 19). En la investigación se concluye que:

Se determinó el comportamiento estructural del pavimento flexible de la Carretera ubicada entre el Ovalo Musical y la Av. Industrial, a través de deflexiones obtenidas en campo mediante el uso de la Viga Benkelman, es malo por lo que no cumple con la hipótesis. Se determinaron las deflexiones en la vía obteniéndose lo siguiente: Deflexión admisible:  $77 \times 10^{-2}$  mm, Deflexión Crítica:  $83 \times 10^{-2}$  mm y Deflexión Característica:  $125.426 \times 10^{-2}$  mm (p. 90).

Balarezo (2017) en su tesis para optar el título de Ingeniero civil, en la Universidad de Piura, titulada “Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento”, tiene como objetivo general: “Dar a conocer la evaluación estructural con viga Benkelman como inicio de un plan de evaluación de mantenimiento para los gobiernos locales, dicha evaluación dará a conocer el estado del pavimento en términos de parámetros de la subrasante, es decir se obtendrá su módulo de elasticidad (Esg) y su CBR” (p. 4). En la investigación se concluye que:

Los gobiernos locales deberían de tener como primera opción de evaluación, la evaluación estructural usando viga Benkelman ya que ayuda a establecer y cuantificar una necesidad de rehabilitación cuando un pavimento está deteriorado, cuando el pavimento está llegando a su tiempo final de vida útil o cuando se va a cambiar su función. La evaluación estructural usando viga Benkelman permite entender cómo se realiza la evaluación estructural de los pavimentos por la deflectometría y la importancia de esta metodología (p. 111).



### 2.1.3. ANTECEDENTES REGIONALES

Chambi (2021) en su tesis para optar el título de Ingeniero civil, en la Universidad Nacional del Altiplano, titulada “Modelo de gestión de conservación vial para reducir costos de mantenimiento vial y operación vehicular en la carretera Juliaca – Lampa, aplicando el programa HDM-4”, tiene como objetivo general “Desarrollar un modelo de gestión de conservación vial utilizando el programa HDM-4 (modelo de estándares de diseño y mantenimiento de carreteras) para reducir los costos de mantenimiento vial y operación vehicular en la carretera Juliaca – Lampa” (p. 22). En la investigación se concluye que:

La evaluación técnica de la vía Juliaca – Lampa obtuvo un IMDA de 862 vehículos para el año 2019 (año base) y en la evaluación funcional se obtuvo valores de IRI desde 1.25m/km hasta 10.00 m/km, obteniendo un IRI característico de 4.05 m/km; mientras que, en la evaluación estructural, la deflexión máxima varía entre 0.610 mm y 0.775 mm. De la evaluación técnica se obtuvo tres sectores homogéneos claramente definidos, los cuales son: sector 1 del Km 98+350 al Km 115+000, sector 2 del Km 115+000 al Km 122+300, y el sector 3 del Km 122+300 al 127+750; concluyéndose que, si no se interviene en forma oportuna la estructura del pavimento, puede sufrir un deterioro acelerado de la carretera (IRI característico por encima de 9 m/km) (p. 186).

Coila & Ticona (2021) en su tesis para optar el título de Ingenieros civiles, en la Universidad Cesar Vallejo, titulada “Análisis comparativo de los métodos PCI y VIZIR en la evaluación de las fallas del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – complejo arqueológico Sillustani – Puno, 2021”, tienen como objetivo general “Evaluar el estado del pavimento flexible en la carretera Atuncolla en el Complejo Arqueológico Sillustani,



aplicando los métodos del PCI y VIZIR, esto con la finalidad de proponer alternativas de mantenimiento que permitan extender la vida útil del pavimento” (p. 4). En la investigación se concluyó que:

El índice de deterioro de la superficie de la pavimentación mediante el método PCI en la carretera Atuncolla en el Complejo Arqueológico Sillustani en Puno es de 59 calificado como bueno, así mismo se concluye que el 4% de unidades de muestreo de la investigación pertenece a un estado muy bueno, el 71% en estado bueno, seguido esto encontramos que 18% en estado regular, seguido de un 5% en estado malo, y por último se tiene un 2% en estado muy malo; es decir, el pavimento necesita mantenimiento que mejore su estructura y perdure con el transcurrir con el tiempo (p. 48)

Vilca & Cuba (2020) en su tesis para optar el título de Ingenieros civiles, en la Universidad Nacional del Altiplano, titulada “Evaluación superficial en pavimentos flexibles aplicando la metodología PCI, IRI y deflectometría en las Avs. Floral y El Sol de la ciudad de Puno 2019”, tiene como objetivo general “Determinar la condición superficial del pavimento flexible de las Avenidas Floral y El Sol de la ciudad de Puno” (p. 20). En la investigación se concluyó que:

Los valores de la deflexión característica superan los valores de deflexión admisible para cada calzada. CONREVIAL-MTC (1983). Se determinó los valores de deflexión característica promedio de: Para la Av. Floral  $117.28 \times 10^{-2}$  mm en el carril derecho  $106.78 \times 10^{-2}$  mm en el carril izquierdo; para la Av. El Sol  $110.99 \times 10^{-2}$  mm en el carril derecho,  $103.71 \times 10^{-2}$  mm en el carril izquierdo. Lo que indica que la deflexión y por ende la condición superficial del pavimento está en malas condiciones (pp. 158-159)



Choque (2019) en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional del Altiplano, titulado “Estudio comparativo del método PCI y el manual de conservación vial MTC en la evaluación superficial de pavimento flexible, tramo Emp. PE-3S - Atuncolla, 2017”, tiene como objetivo general “Evaluar y comparar la aplicación de los métodos PCI y el Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial del MTC en la carretera Emp. PE-3S (Dv. Atuncolla) – Atuncolla del año 2017” (p. 18). En la investigación se concluyó que:

La desventaja que tiene el Manual del MTC es en los niveles de gravedad, donde el castigo es muy flexible y no tiene un nivel de puntaje para cada nivel de gravedad (Gravedad 1, Gravedad 2, Gravedad 3), ya que al calcular con Gravedad 1, gravedad 2 y con gravedad 3, el resultado de la extensión promedio ponderado es el mismo, otra desventaja es que evalúa la vía cada 200m sin especificar el área máximo, ya que la calzada puede tener un ancho 5, 6, 7 m, que para el evaluador es muy extenso, complicado y el resultado no es fiable, y otro punto que se observó es que la evaluación es de toda la vía lo que implica más costo y tiempo, en cambio el método PCI evalúa la mayoría de los daños que se pueda presentar en el pavimento flexible, envuelve 19 tipos de daños y posee siete escalas para evaluar la condición del pavimento y sus cálculos para determinar la clasificación de los daños son más completos y detallados por niveles de severidad de daño, lo que hace que tome más tiempo en su análisis y evaluación en la muestra, además es un método de evaluación de la condición superficial de pavimentos más difundido en el Perú y otros países (p. 155).

Ramos (2017) en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional del Altiplano, titulada “Evaluación del estado del pavimento por deflectometría



e Índice de Rugosidad Internacional de la carretera: Puno – Vilque – Mañazo - 4km críticos - 2015", tiene como objetivo general "Evaluar el estado del pavimento, mediante la deflectometría y rugosidad, en la carretera Puno – Vilque – Mañazo, en los 4 Km más críticos" (p. 20). La investigación concluye que:

Mediante el ensayo con la Viga Benkelman en el pavimento se obtuvo los valores de deflexión característica promedio de:  $69.22 \times 10^{-2}$ mm y radio de curvatura de 199.37m en el carril derecho (ver tabla 40, pág. 116);  $65.53 \times 10^{-2}$  mm y radio de curvatura de 197.39m en el carril izquierdo (ver tabla 41, pág. 117), lo que nos indica que las deflexiones características no superan la deflexión admisible la cual es de  $127.5 \times 10^{-2}$  mm, lo que conlleva a entender que el pavimento está en buenas condiciones en lo que se refiere a los controles deflectométricos (p. 146)

## **2.2. MARCO TEORICO**

### **2.2.1. PAVIMENTO**

El pavimento es aquel paquete estructural, previamente diseñado en función a diversos parámetros y/o modelos, cuyo fin es soportar las cargas de tránsito y los factores climatológicos hasta donde su diseño y construcción lo permitan.

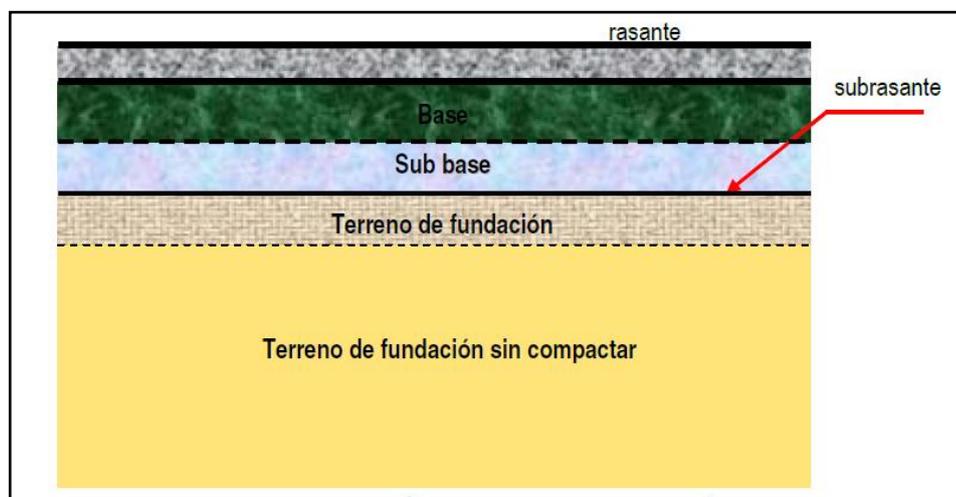
El MTC<sup>1</sup> (2014) señala que: "El pavimento es estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos, y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura" (p. 21).

---

<sup>1</sup> Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Al respecto, Montejo (2002) afirma: “Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados” (p. 1).

Asimismo, Minaya y Ordoñez (2006) señalan que: “El pavimento es la estructura que se encuentra apoyada sobre la subrasante, y que está conformado por capas de diferentes calidades y espesores producto de un diseño técnico previo y su finalidad es soportar las cargas provenientes del tráfico” (p. 1).



**Figura 1:** Estructura típica de Pavimentos Asfálticos  
**Fuente:** (Minaya & Ordoñez, 2006)

### 2.2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS

Respecto a la clasificación o tipo de pavimentos existen diversas formas de clasificarlos; sin embargo, Montejo (2002) afirma: “los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados” (p. 2).

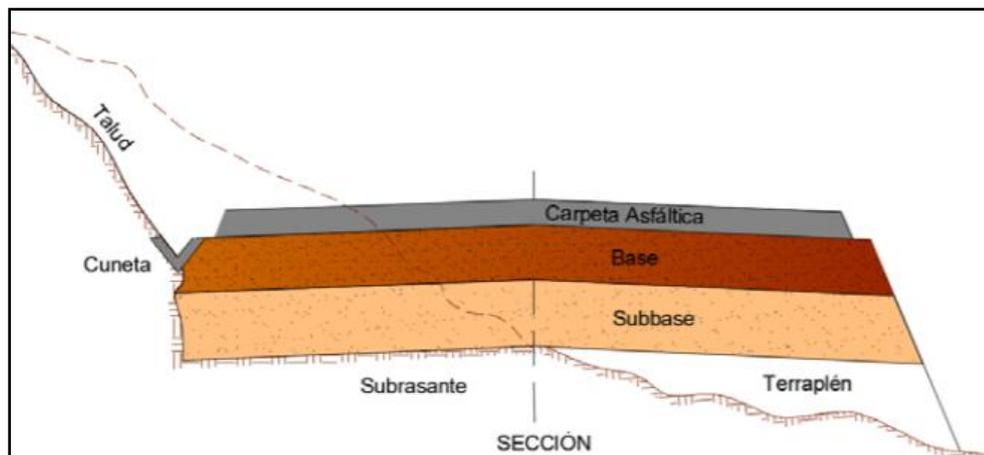
Es importante precisar que el MTC (2014) reconoce como tipo de pavimentos a los siguientes: “Pavimentos flexibles, pavimentos semirrígidos y pavimentos rígidos” (p. 21).

Para precisar sobre el tema, se exponen las principales definiciones de los tipos de pavimentos, dando principal énfasis al pavimento flexible que es materia de la presente investigación:

#### a) Pavimentos Flexibles

El MTC (2014) establece que: “El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micropavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente” (p. 22).

Al respecto Montejo (2002) precisa que: “Los pavimentos flexibles no precisan de estas dos capas no rígidas (subbase y base) y puede prescindirse de cualquiera de estas, dependiendo de las necesidades particulares de cada obra” (p. 2).



**Figura 2:** Estructura típica de Pavimentos Flexibles

**Fuente:** (Fernandez, 2020)

La función de cada capa de un pavimento flexible se describe de la siguiente forma:

- **Subrasante:** Es la capa inferior de la estructura del pavimento, sobre la que se va a apoyar el paquete estructural del pavimento propiamente dicho, es denominado



también como “terreno de fundación”. “Esta capa cumple una función económica, ya que, dependiendo de la calidad de la subrasante, se podría utilizar solo subbase o base o tener la disminución considerable de los espesores de estas capas” (Fernandez, 2020, p. 9).

- **Subbase:** Montejo (2002) refiere que: “La base granular tiene cuatro funciones, las que son: económica, transición, disminución de las deformaciones, resistencia y drenaje; una subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y actúan como filtro de la base, asimismo, esta capa puede absorber algunos cambios volumétricos o deformaciones generados en la subrasante a causa del agua o cambios en la temperatura” (p. 4).

Al respecto, Balarezo (2017) indica: “Es la capa de material seleccionado que se coloca por encima de la subrasante y debajo de la base. El material seleccionado puede ser arena, grava, residuos de material de cantera y en algunos casos es posible usar el material de la subrasante mezclado con cemento” (p. 8).

El MTC (2014) manifiesta: “Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ( $CBR \geq 40\%$ ) o tratada con asfalto, cal o cemento” (p. 24).

- **Base:** Montejo (2002) refiere que: “La base granular tiene dos funciones específicas de resistencia y económica, la primera consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos



producidos por el tránsito, y la segunda puesto que la base respecto a la carpeta asfáltica tiene semejante función a la subbase con la base” (p. 4).

Balarezo (2017) indica: “Esta capa de pavimento se coloca por encima de la capa sub-base y debajo de la carpeta asfáltica. Tiene por finalidad resistir los esfuerzos producidos por las cargas del tránsito, distribuirlos y transmitirlos a la sub-base hasta llegar a la subrasante” (p. 8).

El MTC (2014) manifiesta: “Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ( $CBR \geq 80\%$ ) o será tratada con asfalto, cal o cemento” (p. 24).

- **Carpeta Asfáltica:** Montejo (2002) refiere que: “La carpeta asfáltica o superficie de rodadura tiene la funciones de impermeabilidad, resistencia y superficie de rodamiento, la primera porque hasta donde sea posible de impedir el paso del agua, para evitar el deterioro del paquete estructural, la segunda puesto que su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento y finalmente esta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito”(pp. 4-5).

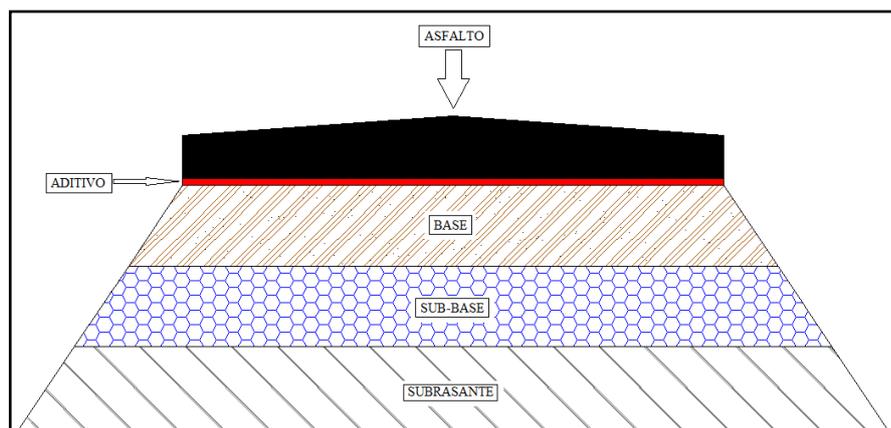
El MTC (2014) manifiesta: “Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito” (p. 24).

#### **b) Pavimentos Semirrígidos**

Montejo (2002) manifiesta: “Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de

corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción” (p. 5).

El MTC (2014) indica: “El pavimento semirrígido es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados” (p. 24).



**Figura 3:** Estructura típica de Pavimentos Semirrígidos  
**Fuente:** (Medina Palacios & De la Cruz Puma, 2015)

### c) Pavimentos Rígidos

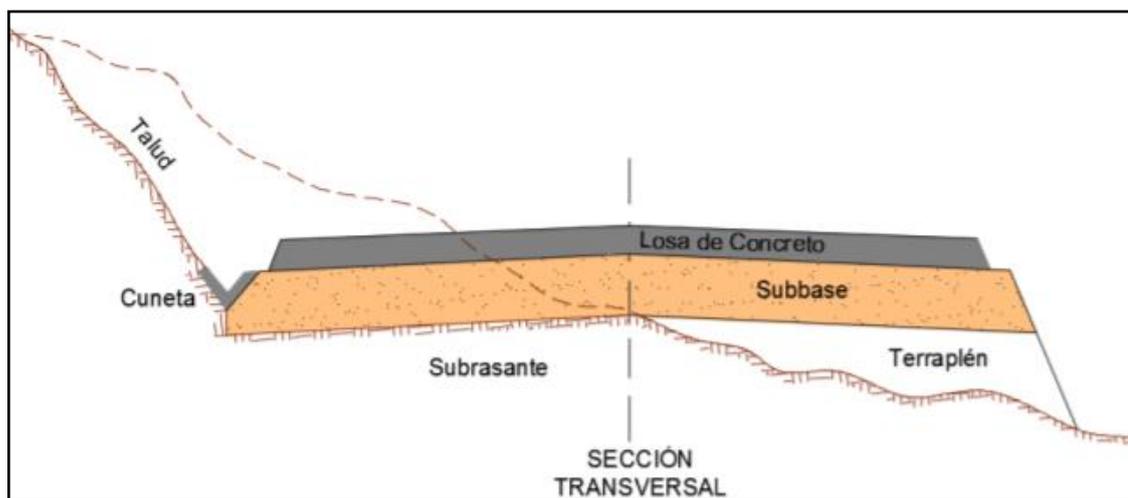
“Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido” (Montejo, 2002, p.5).

“Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado,

esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante” (Silva, 2020).

Según Montejo (2002) “La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento” (p. 5).

El MTC (2014) indica: “Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías: Pavimento de concreto simple con juntas, Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas y Pavimento de concreto con refuerzo continuo”. (p. 24).



**Figura 4:** Estructura típica de Pavimentos Rígidos  
**Fuente:** (Fernandez, 2020)

### 2.2.3. ESTUDIO DE TRANSITO

En palabras de Montejo (2002) “El estudio de tránsito es la variable más importante en el diseño de una vía, pues el número y peso de los vehículos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento” (p. 17).



### **a) Volumen de tránsito**

“Se define como el número de vehículos que pasan por un punto o un carril durante una unidad de tiempo. Sus unidades son vehículos/día; vehículos/hora, etc” (Minaya & Ordoñez, 2006, p. 8).

### **b) Índice Medio Diario (IMD)**

“Es el promedio del número de vehículos que pasan por un punto durante un período de tiempo. Según el período de análisis para medir el volumen, podrá ser índice medio diario anual, IMDA, índice medio diario mensual (IMDM) o índice medio diario semanal (IMDS)” (Minaya & Ordoñez, 2006, p. 8).

### **c) Clasificación Vehicular**

El “Reglamento Nacional de Vehículos” aprobado mediante Decreto Supremo N° 058-2003-MTC, regula los pesos y dimensiones máximas de los vehículos para transporte terrestre.

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. ( m )	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
C2		12,30	7	11	---	---	---	18
C3		13,20	7	18	---	---	---	25
C4		13,20	7	23 <sup>(1)</sup>	---	---	---	30
8x4		13,20	7+7 <sup>(5)</sup>	18	---	---	---	32
T2S1		20,50	7	11	11	---	---	29
T2S2		20,50	7	11	18	---	---	36
T2Se2		20,50	7	11	11	11	---	40

**Figura 5:** Pesos y medidas máximas permitidas

**Fuente:** D.S. n.º 058-2003-MTC titulado “Reglamento Nacional de Vehículos”

#### d) Periodo de diseño

“El pavimento puede ser diseñado para soportar el efecto acumulativo del tránsito durante cualquier período de tiempo. El período seleccionado en años, para el cual se diseña el pavimento, se denomina período de diseño. Al final de este período puede esperarse que el pavimento requiera trabajos de rehabilitación, para devolverle a la vía un adecuado nivel de transitabilidad” (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 12).

### e) Carril de diseño

“Para calles y carreteras de dos carriles, el carril de diseño puede ser cualquiera de los dos, mientras que, para calles y carreteras de carriles múltiples, generalmente es el carril externo. Bajo ciertas condiciones, es probable que haya mayor tránsito de camiones en un sentido que en otro. En muchos sitios los camiones circulan cargados en un sentido y vacíos en otro” (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 16) .

**Tabla 4:** Factores de distribución Direccional y de Carril

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

*Fuente:* (MTC, 2014)

### f) Crecimiento del Tránsito

“El pavimento debe ser diseñado para servir adecuadamente la demanda del tránsito durante un período de años; por lo tanto, el crecimiento del tránsito se debe anticipar” (Minaya & Ordoñez, 2006, pp. 17-18)

La AASHTO recomienda el uso de un factor total de crecimiento que es equivalente al producto del factor de crecimiento por el período de diseño y se calcula con ayuda de la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de Crecimiento} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$



Donde:

- “r : Tasa de crecimiento anual, %”.
- “n : Periodo de diseño en años”.

El MTC (2014) indica: “Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula de progresión geométrica por separado para el componente del tránsito de vehículos de pasajeros y para el componente del tránsito de vehículos de carga” (p. 64).

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

Donde:

- “Tn : Transito proyectado al año “n” en veh/dia”
- “To : Transito actual (año base) en veh/dia”
- “n : Número de años del periodo de diseño”
- “r : Tasa anual de crecimiento de tránsito”

Asimismo, El MTC (2014) proporciona: “El criterio para seleccionar el Factor de Crecimiento Acumulado (Fca) para el periodo de diseño, considerando la tasa anual de crecimiento (r) y el periodo de análisis en años” (p. 65).

$$Factor F_{ca} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

- “r : Tasa de crecimiento anual, %”.
- “n : Periodo de diseño en años”.

### **g) Estimación del ESAL**

“El tránsito proveniente del conteo vehicular debe ser dividido para el carril de diseño. El volumen de tránsito del carril de diseño, se convierte a un determinado número de ESAL, que es el parámetro usado en el diseño de la estructura del pavimento. El ESAL es un eje estándar compuesto por un eje sencillo con dos ruedas en los extremos, este pesa



18,000 lb ó 8.2 tn ó 80 kN, y se considera que ejerce un efecto dañino sobre el pavimento”  
(Minaya y Ordoñez, 2006, p. 98).

#### **h) Factor de Equivalencia de Carga**

“Con el objeto de evaluar el efecto dañino, en un pavimento flexible, de las cargas diferentes a un eje estándar, se han considerado factores de equivalencia de carga por eje, FEC. Estos valores se obtuvieron a partir de los resultados experimentales de la AASHO Road Test. Los resultados obtenidos han permitido determinar que la equivalencia entre cargas diferentes transmitidas al pavimento por el mismo sistema de ruedas y ejes, se expresa como” (Minaya y Ordoñez, 2006, pp. 98-99):

$$FEC = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^4$$

Donde:

- “P<sub>0</sub>: Carga estándar”
- “P<sub>1</sub>: Carga cuya equivalencia de daño se desea calcular”.

**Tabla 5: Factores de Equivalencia de Carga**

Carga bruta por eje		Factores de equivalencia de Carga		
KN	lb	Ejes Simples	Ejes Tandem	Ejes Tridem
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.0	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.080
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22

**Fuente:** (MTC, 2014)

El MTC (2014) indica: “Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento” (p. 66).

Para el cálculo de los EE, se utilizarán las siguientes relaciones simplificadas, que resultaron de correlacionar los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO 93, para las diferentes configuraciones de ejes de vehículos pesados (buses y camiones) y tipo de pavimento:

**Tabla 6:** Relación de cargas por eje para determinar Ejes Equivalentes Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE <sub>8.2 tn</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	$EE_{S1} = [ P / 6.6 ]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	$EE_{S2} = [ P / 8.2 ]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	$EE_{TA1} = [ P / 14.8 ]^{4.0}$
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	$EE_{TA2} = [ P / 15.1 ]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	$EE_{TR1} = [ P / 20.7 ]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	$EE_{TR2} = [ P / 21.8 ]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: (MTC, 2014)

### i) Factor Camión

“Se entiende por factor camión al número de aplicaciones de ejes estándar de 80 kN, correspondiente al paso de un vehículo, el factor camión se puede obtener por pesaje; el peso es un método costoso para proyectos pequeños; por lo tanto, cuando se deba efectuar el diseño para un tramo de vía en la cual no se tengan datos sobre el pesaje quedan dos alternativas:

- Asumir el F.C. conocido de una vía cuyas características sean similares.
- Estimar el F.C. por algún método empírico” (Minaya & Ordoñez, 2006, p. 21).

### j) Determinación del número de Ejes Equivalentes

Una vez determinado el número acumulado de vehículos que transitarán en el carril de diseño y durante el período de diseño, es posible convertir esta cantidad de vehículos a ejes simples equivalentes de 8.2 tn. mediante el factor camión. El ESAL es el siguiente:

$$ESAL = \sum (N^{\circ} \text{ vehiculos} \times FC_{\text{vehiculo}})$$

“Para el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn, en el periodo de diseño, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo; el resultado final

será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados” (MTC, 2014, p. 74):

$$N_{rep\ de\ EE_{8.2\ tn}} = \sum [EE_{dia-carril} \times F_{ca} \times 365]$$

**Tabla 7:** Definición de parámetros para determinar el número de EE

Parámetros	Descripción
<b>Nrep de EE 8.2t</b>	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn
<b>EE<sub>dia-carril</sub></b>	<p><b>EE<sub>dia-carril</sub></b> = Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño. Resulta del IMD por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, por el Factor Carril de diseño, por el Factor Vehículo Pesado del tipo seleccionado y por el Factor de Presión de neumáticos. Para cada tipo de vehículo pesado, se aplica la siguiente relación:</p> <p><b>EE<sub>dia-carril</sub> = IMD<sub>i</sub> x F<sub>d</sub> x F<sub>c</sub> x F<sub>vp</sub> x F<sub>p</sub></b></p> <p>donde:</p> <p>IMD<sub>i</sub>: corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (i)</p> <p>F<sub>d</sub>: Factor Direccional, según Cuadro N°6.1.</p> <p>F<sub>c</sub>: Factor Carril de diseño, según Cuadro N°6.1.</p> <p>F<sub>vp</sub>: Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.</p> <p>F<sub>p</sub>: Factor de Presión de neumáticos, según Cuadro N° 6.13.</p>
<b>Fca</b>	Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado (según cuadro 6.2)
<b>365</b>	Número de días del año
<b>Σ</b>	Sumatoria de Ejes Equivalentes de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por Factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

**Fuente:** (MTC, 2014)

#### 2.2.4. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

“La evaluación de los pavimentos se describe como el conjunto de actividades que se realizan para determinar las condiciones estructurales y funcionales en que se encuentra un pavimento” (Fernandez, 2020, p. 24).

“La evaluación de pavimentos tiene varios usos y se pueden distinguir cuatro grandes áreas de aplicación: estudios de rehabilitación de pavimentos, control de calidad, investigación, y gestión de pavimentos. En éstas se emplean equipos similares y lo que varía es el propósito de la evaluación” (Chang, 2010).

## a) Evaluación Superficial de Pavimentos

Según Montejo (2002) la evaluación superficial consiste en: “La definición del estado superficial de la carretera y su entorno, comprendiendo este último todo tipo de obras o elementos auxiliares relacionados con el pavimento que de manera directa o indirecta pueden afectar a la comodidad y seguridad del usuario”.

Theneoux & Gaete (2019) refieren: “La evaluación funcional del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la serviciabilidad, seguridad y costos del usuario” (p. 2)

Entre este tipo de deficiencias tenemos: Rugosidad, fallas superficiales y pérdida de fricción.

- **Rugosidad:** “La rugosidad, relacionada a la comodidad. Se define como las irregularidades presentes en la superficie del pavimento, las cuales afectan la calidad de rodado de los vehículos, y por lo tanto la calidad del servicio brindada al usuario” (Choque, 2019, p. 39).

Existen varias formas de medir la Rugosidad de un pavimento, entre ellas tenemos:

- Rugosímetro de Merlin
  - PSR (Present Serviciability Rating)
  - PSI (Present Serviciability Index)
- **Fallas Superficiales:** “Son defectos o deterioros que se manifiestan en la superficie del pavimento y son medibles sin la necesidad de equipos especiales. Estos defectos tienen una importancia relativa en la serviciabilidad del pavimento, sin embargo, su detección oportuna es importante debido a



que permite prevenir el posible desencadenamiento de un deterioro acelerado y/o establecer un diagnóstico más preciso de las causas que originan el deterioro” (Choque, 2019, p. 39).

“Existen varios métodos que permiten evaluar los defectos superficiales de los pavimentos como por ejemplo el método PCI (Pavement Condition Index) que es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales” (Vilca y Cuba, 2020, 36).

“También tenemos el método de VIZIR, la cual es una metodología desarrollada por el laboratorio central de puentes y calzadas de Francia en 1972” (Choque, 2019, p. 40).

- **Perdida de fricción:** Este parámetro se encuentra relacionado a la seguridad del usuario, ya que proporcionará al usuario una superficie de rodadura adecuada, que en todo momento asegure una buena adherencia neumático – pavimento.

“Este es un defecto que tiene relación directa con la seguridad del usuario, particularmente en segmentos de alta velocidad, zonas de frenado (cruce de peatones, colegios, etc.) y curvas de radio pequeño o curvas de radio amplio con peraltes menores a 6%. La pérdida de fricción se produce como consecuencia de una disminución combinada o individual de la macrotextura como de la microtextura superficial del pavimento, lo cual puede originar accidentes, particularmente cuando el pavimento se encuentra mojado. Para medir la resistencia al patinaje en un pavimento existen diversos equipos, entre los de mayor uso se cuentan: el Ensayo de Mancha de Arena, Péndulo Británico y Mu-Meter” (Thenoux & Gaete, 2019, p. 3).



Cabe precisar que, Montejo (2002) refiere: “Como resultado del examen superficial del pavimento puede obtenerse una importante serie de conclusiones para el desarrollo de trabajos futuros de conservación, a saber:

- Detectar los inicios de posibles fallas y determinar sus causas.
- Establecer zonas prioritarias para conservación.
- Determinar la necesidad de una evaluación de tipo estructural para el diseño de refuerzos.
- Presentar elementos de juicio que permitan confirmar o modificar los criterios de diseño vigentes” (p.508).

#### **b) Evaluación Estructural de Pavimentos**

La finalidad de la evaluación estructural de los pavimentos, es la cuantificación de la capacidad estructural remanente del pavimento. “La falta de capacidad estructural de un pavimento genera en este un deterioro progresivo que se manifiesta en niveles excesivos de agrietamientos y deformaciones, no recuperables a través de la simple aplicación de acciones de conservación preventivas” (Thenoux & Gaete, 2019, p. 4).

“La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad resistente del sistema en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función de demanda de tráfico” (Fernandez, 2020, p. 13).

“Los métodos de evaluación estructural se dividen en dos grupos, los ensayos destructivos y los ensayos no destructivos. Entre los ensayos destructivos más conocidos están las calicatas que nos permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuestas, a través de las paredes de esta y realizar ensayos de densidad in situ” (Alfaro, 2018, p. 26). “Estas determinaciones permiten obtener el estado actual del perfil a través



de las propiedades reales de los materiales que lo componen” (Leguía & Pacheco, 2016, p. 36).

Adicionalmente a las calicatas, se puede realizar perforaciones en el pavimento con ayuda de equipos saca muestras, perforadores, entre otros. Esta alternativa resulta más sencilla, menos costosa y provoca menos interrupciones en el tráfico; sin embargo, no se puede realizar ensayos “in situ” por temas de espacio.

“Los ensayos no destructivos pueden llevarse a cabo mediante medidas de deflexiones que son una herramienta importante en el análisis no destructivo de los pavimentos. La magnitud de la deflexión producida por la carga, son útiles para investigar las propiedades in situ del pavimento. Se trata de aplicar una sollicitación tipo y medir la respuesta de la estructura” (Alfaro, 2018, p. 27).

“El sistema más difundido de medición de deflexión es mediante el empleo de la viga Benkelman. Este dispositivo se utiliza para realizar mediciones en sectores en los que se observan fallas visibles y en los que no se observan fallas, de esta forma es posible acotar las propiedades actuales del pavimento in situ, e integrar sus resultados para una interpretación global” (Leguía & Pacheco, 2016, p. 37).

“Otro equipo con el que se pueden realizar mediciones es con un deflectómetro de impacto (FWD). Este es un método no destructivo, que sirve para la evaluación estructural del pavimento y conocimiento detallado de su estado. Esta técnica es de alto rendimiento, sin mayores interferencias al tránsito de las vías y además es utilizado de forma rápida y precisa” (Alfaro, 2018, p. 27).

#### **2.2.5. MEDICION DE DEFLEXIONES**

“El instrumento más utilizado para medir la deformación elástica de un pavimento dado es la viga de deflexiones desarrollada por A.c. Benkelman, que permite conocer

diferentes estados y propiedades del pavimento; de gran utilidad para el diseño, construcción y conservación de su estructura” (Montejo, 2002, p. 519).

### **2.2.5.1. LA VIGA BENKELMAN**

“El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca, es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple; según se esquematiza en la Figura n.º 6, la viga consta esencialmente de dos partes:

- Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos A y uno trasero regulable B)
- Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote C, uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto D) y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un micrómetro de movimiento vertical (punto E)” (Fernandez, 2020, p. 19).

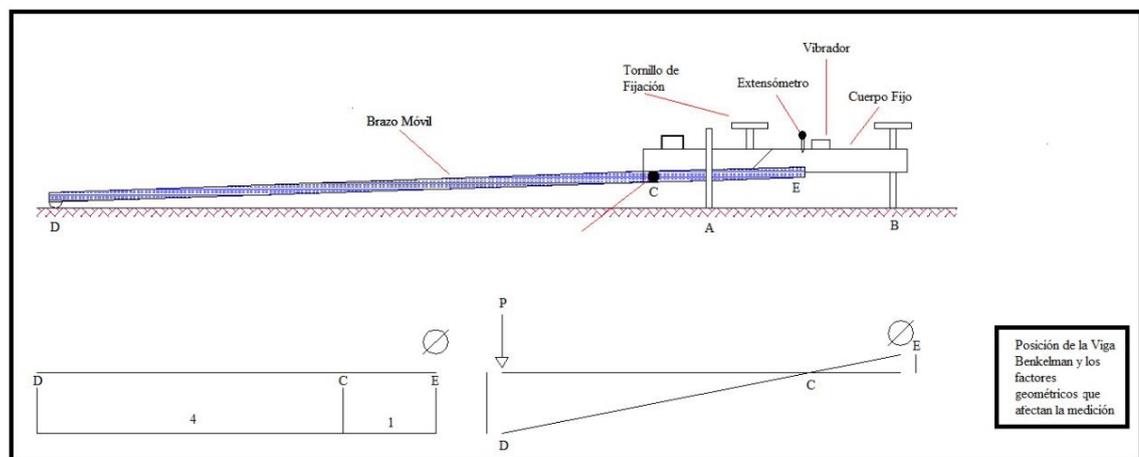
Respecto a las partes integrantes de la viga Benkelman, Hoffman & Del Aguila (1985) señalan:

El extremo D o punta de la viga es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie .

Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo C, con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo E produzca un movimiento vertical en el vástago del micrómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto D se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del micrómetro .

La operación realizada representa el principio de medición con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar la deflexión del pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto D al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el micrómetro (EE') no están en escala real, sino que dependen de la relación de brazos existentes (pp. 14-15).

“Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que, al ser accionado durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas” (Fernandez, 2020, p. 19).



**Figura 6:** Esquema de la Viga Benkelman

**Fuente:** (Vilca & Cuba, 2020)

#### a. Equipo requerido

El MTC (2017) establece que el equipo para la realización del ensayo de “Medida de la deflexión de un pavimento flexible empleando la viga Benkelman – MTC E 1002”, es el siguiente:



- 1) Viga Benkelman de doble brazo con sus correspondientes diales (al 0,01 mm y recorrido de 12 mm). La única diferencia entre la viga Benkelman simple y de doble brazo, radica en el segundo brazo.
- 2) Un camión para ensayo con las siguientes características, el eje trasero pesará en la balanza 8,2 toneladas, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas deberán ser 10" x 20"; 12 lonas e infladas a 5,6 kg/cm<sup>2</sup> (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual deber ser de 32 cm.
- 3) Reloj convencional con indicador de segundos.
- 4) Termómetro convencional o sistema de termopares con escala de -10 °C a 50 °C y precisión de 1 °C.
- 5) Manómetro, que disponga de una boquilla adecuada para medir la presión de inflado.
- 6) Cinta métrica, de 25 m de longitud. Puede sustituirse por una cinta métrica de bolsillo de 2 ó 3 m de longitud.
- 7) Martillo y clavos de acero, o taladro, adecuados para practicar orificios en el pavimento hasta 5 cm de profundidad.
- 8) Cuña o calzo de parada, de chapa metálica o de madera.
- 9) Tizas y pintura para marcar el pavimento. Silbato y otro avisador acústico.
- 10) Aceite o material de similar inercia térmica y viscosidad.

#### **b. Procedimiento de Campo**

El MTC (2017) establece el siguiente procedimiento en campo:

- 1) El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea

será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se recomienda utilizar las distancias indicadas en la Tabla n.º 8.

**Tabla 8:** *Distancia del punto de ensayo para muestras*

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
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

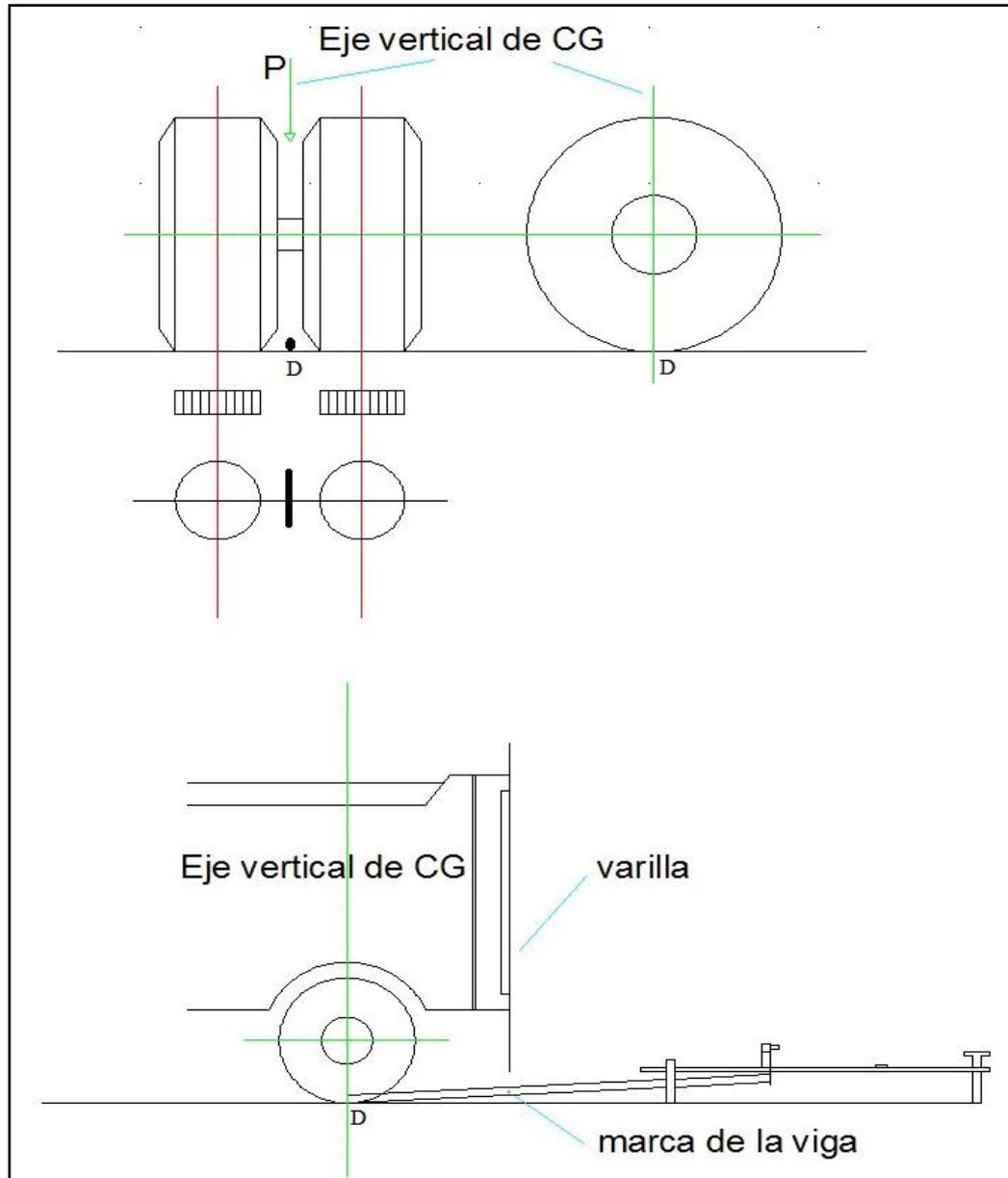
**Fuente:** *Elaborado por el equipo de trabajo*

- 2) La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, deberá colocarse en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual. (ver figura n.º 7).
- 3) Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del primer brazo coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las llantas de la rueda dual.
- 4) Se liberan los seguros de los brazos y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los dos brazos de medición queden en contacto con los diales.
- 5) Se ajustan a los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 milímetros. Se giran las circunferencias de los diales hasta que las agujas queden en cero y se verifica la lectura.
- 6) Se pone en marcha el cronómetro y vibrador, se hace avanzar suave y lentamente el camión; se leen los diales cada 60 segundos. Cuando dos lecturas sucesivas de cada uno de ellos no difieran en más de 0,01 mm, se

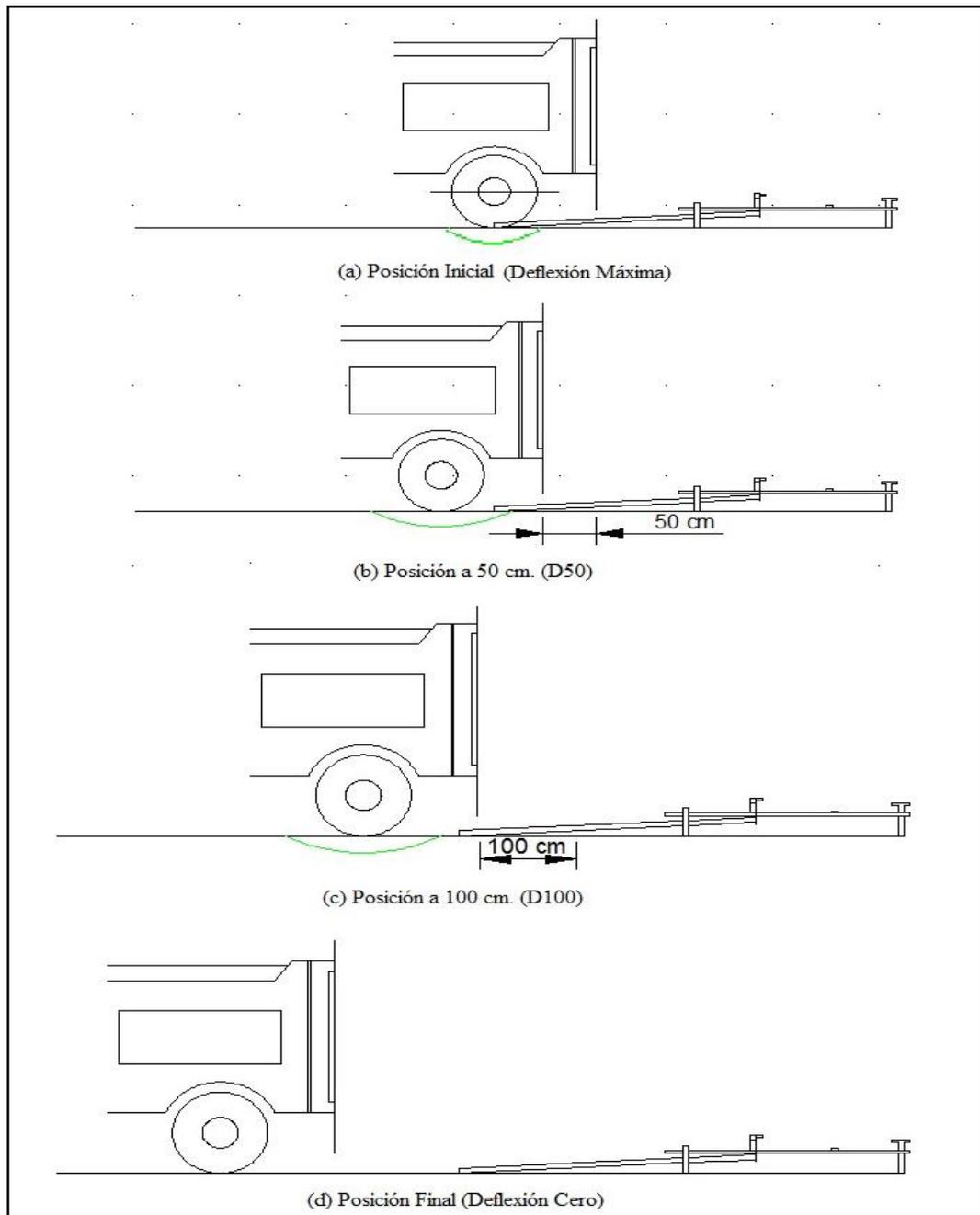


- da por finalizada la recuperación, registrándose las últimas lecturas observadas (L0 y L25).
- 7) Una vez registradas las lecturas L0 y L25, se hace retroceder suave y lentamente el camión hasta que la rueda dual externa quede colocada sobre el punto de ensayo, observando la marcha en la aguja del dial. Sí alcanzada cierta posición la aguja se detiene y luego se observa un desplazamiento en sentido contrario, como si se produjera la recuperación del pavimento, ello indica que existe deformación plástica medible entre ambas llantas de la rueda dual.
  - 8) “De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas en las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 50 cm). Para la metodología del análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen. (ver figura n.º 8)” (Hoffman y Del Aguila, 1985, p. 17).
  - 9) “Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realizará al doble de la distancia de la primera marca adicional” (Silva, 2020, p. 59)
  - 10) “Estas dos distancias se determinan, específicamente, para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no

deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima” (Vilca y Cuba, 2020, p. 98).



**Figura 7:** Configuración Geométrica de ensayos con la Viga Benkelman  
**Fuente:** (Hoffman & Del Aguila, 1985)



**Figura 8:** Esquematización del proceso de medición con la Viga Benkelman

**Fuente:** (Hoffman & Del Aguila, 1985)

Todo el trabajo deberá ser supervisado, permanentemente, por un ingeniero de campo quien verificará los valores que se vayan obteniendo, asimismo tomará la anotación de cualquier factor que a su juicio pueda explicar los resultados que se obtengan (corte, relleno, tipo de material, presencia de alcantarillas, napa freática,

estado del pavimento, etc.). La Figura 9 muestra un formato adecuado para la recopilación de datos de campo. (Ramos, 2017)

EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA (VIGA BENKELMAN)													
PROYECTO				PESO EJE POST.				FECHA					
CARRIL				PRESION DE INFLADO				REALIZADO POR					
ESTRUC. PAVIMENTO													
N°	PROG. (Km)	LADO	LECTURAS DE CAMPO						DEFLEXIONES				OBSERVACIONES
			L0	L25	L50	L75	L100	LMAX	D0	D25	D50	D100	
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

**Figura 9:** Formato de campo para recopilación de lecturas con Viga Benkelman  
**Fuente:** (Ramos, 2017)

### c. Cálculo de las deflexiones

Para el cálculo de las deflexiones máximas, se debe calcular la diferencia entre la lectura final y las demás lecturas. Las diferencias se multiplican por la relación de brazos de la Viga Benkelman utilizada, en este caso 1:4. (Fernandez, 2020)

$$D_n = (L_f - L_n) \times 4$$

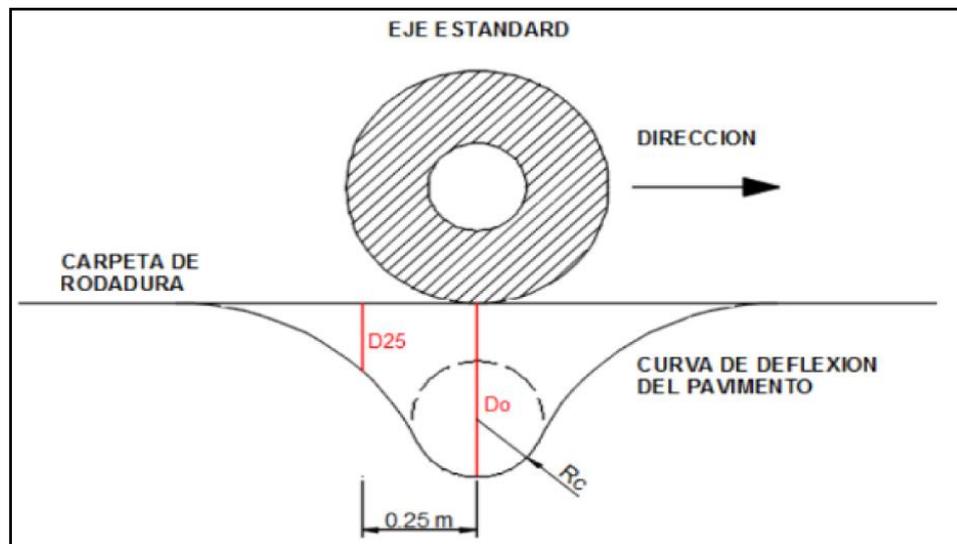
Donde:

- “D<sub>n</sub> : Deflexión en la medida n”.
- “L<sub>f</sub> : Lectura en la medida final”.
- “L<sub>n</sub> : Lectura en la medida n”.

#### d. Radio de Curvatura

“El grado de curvatura de la línea elástica de Deflexión es una característica de fundamental importancia, que determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas elásticas el flexionar bajo las cargas de tránsito” (Cubas, 2017, p. 44).

El método para determinar el radio de curvatura, se basa en la hipótesis de que la línea de deflexiones de la distancia hasta el eje de la carga, se aproxima a una parábola hasta una distancia superior a 25 cm, sufriendo luego una inflexión para atender asintóticamente hacia la horizontal (Ver Figura 10).



**Figura 10:** Deformada del Pavimento y Radio de Curvatura  
**Fuente:** (Cubas, 2017)

Según el MTC (2017) el radio de curvatura se calcula con la siguiente expresión:

$$RC = \frac{3125}{D_0 - D_{25}}$$

Donde:

- “ $R_c$  : Radio de Curvatura (m)”
- “ $D_0$  : Deflexión recuperable en el eje vertical de carga”.
- “ $D_{25}$ : Deflexión recuperable a 25 centímetros del eje vertical”.

### e. Deflexión Característica

Según el MTC (2014) “La deflexión característica es el valor de deflexión que mejor representa a un determinado sector homogéneo” (p. 171). Su cálculo se realiza de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 9: Deflexión Característica**

Tipo de carretera	Deflexión característica $D_c$	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$D_c = D_m + 1.645 \cdot \sigma$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 95%
Carreteras cuales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$D_c = D_m + 1.645 \cdot \sigma$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 95%
Carreteras de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000- 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles	$D_c = D_m + 1.645 \cdot \sigma$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 95%
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000- 401 veh/día, de una calzada de dos carriles	$D_c = D_m + 1.282 \cdot \sigma$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 90%
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400- 201 veh/día, de una calzada de dos carriles	$D_c = D_m + 1.282 \cdot \sigma$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 90%
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA $\leq 200$ veh/día, de una calzada	$D_c = D_m + 1.036 \cdot \sigma$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 85%

Nota:  $D_c$ = Deflexión característica,  $D_m$ =Deflexión media,  $\sigma$ =Desviación estándar

**Fuente:** (MTC, 2014)

“Las deflexiones se comparan con el valor límite admisible, que es la deflexión tolerable que garantiza un comportamiento satisfactorio del pavimento en relación con el tráfico que debe soportar. Para el presente manual se ha adoptado la relación propuesta para el paquete estructural del pavimento, por CONREVIAl (Estudio de Rehabilitación de carreteras del País)” (MTC, 2014, p. 172).

### f. Deflexión Admisible

La deflexión admisible, es un parámetro definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión característica, por encima del cual

no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura, durante el periodo considerado (Cubas, 2017, p. 48).

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{N}\right)^{0.25}$$

Donde:

- “ $D_{adm}$ : Deflexión admisible en mm”
- “N: Numero de repeticiones de ejes equivalentes en millones”

#### g. Deflexión Crítica

La deflexión crítica, es un parámetro definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión al término de su servicio, por encima del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura, durante el periodo considerado (Cubas, 2017, p. 49).

$$D_{CR} = \left(\frac{1.90}{N18}\right)^{\frac{1}{5.3}}$$

Donde:

- “DCR: Deflexión critica en mm.”
- “N18: Numero de repeticiones de ejes equivalentes en millones”

“No se requiere corrección por temperatura en estructuras de pavimentos compuestas por un tratamiento superficial o mezclas asfálticas delgadas colocadas sobre bases cuyo módulo de rigidez sea insensibles a cambios de temperatura<sup>2</sup>” (Yarango, 2014, P. 97).

---

<sup>2</sup> Carpetas con espesor menor a 5 centímetros, según Guía de Diseño AASHTO 93, Capítulo 11 Fig. 11.4.

## **h. Análisis**

Según (Vilca & Cuba, 2020) tenemos los siguientes casos:

### **1) Baja deflexión y grandes radios de curvatura**

El suelo estará en buen estado, tanto las capas superiores como las inferiores estarán de acuerdo a los requerimientos de calidad si la deflexión superficial es menor a la deflexión máxima admisible.

### **2) Baja deflexión y pequeños radios de curvatura**

Probablemente, la capa superior estará con calidad deficiente (granulometría, grado de compactación, CBR, etc.). En principio el problema no se concentra en las capas inferiores porque las deflexiones son bajas pero el caso requiere una investigación más cuidadosa.

### **3) Altas deflexiones y grandes radios de curvatura**

En principio, en el caso se presentan grandes deflexiones en las capas subyacentes que es donde debe estar concentrado el problema de la deficiencia en la calidad de materiales o humedad excesiva, independientemente de la calidad de los materiales de las capas superiores que puedan tener calidad satisfactoria o no.

### **4) Altas deflexiones y pequeños radios de curvatura**

El suelo será totalmente deficiente, no cumplirá con los requerimientos de calidad tanto en las capas superiores como inferiores, está construido con materiales inadecuados y/o las capas han sido deficientemente compactadas, y/o las condiciones de drenaje son insatisfactorias.

Las cuatro posibles situaciones detalladas se resumen en las Tablas 10 y 11:

**Tabla 10:** Características del pavimento de acuerdo al tipo de deflexión y Radio de curvatura.

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:** (Cubas, 2017)

**Tabla 11:** Características del pavimento de acuerdo al cuenco de deflexiones

Tipo	Cuenco de deflexiones	Curva medida	Pavimento evaluado
I		Curva extensa Poco Profunda	Buen Pavimento Buena Subrasante
II		Curva extensa Profunda	Buen Pavimento Mala Subrasante
III		Curva corta Poco Profunda	Mal Pavimento Buena Subrasante
IV		Curva corta Profunda	Mal Pavimento Mala Subrasante

**Fuente:** (Cubas, 2017)

El MTC (2014) indica: “Las deflexiones características y admisible, se comparan mediante un análisis combinado de los resultados de la evaluación, presentándose una serie posibilidades que merecen ser analizadas para finalmente establecer la capacidad estructural del pavimento existente en relación al tráfico y cargas circulantes, definiendo sí la estructura del pavimento es adecuada y sólo requiere de una renovación superficial; o, se encuentra fatigada y requiere un refuerzo estructural; o, es una estructura deficiente y requiere una reconstrucción parcial o total”. (p. 200)

En la Tabla 12 se presenta el análisis combinado que propone el Ministerio de Transportes y Comunicaciones:

*Tabla 12: Análisis Combinado de los Resultados de Evaluación*

PRIMER PASO	SEGUNDO PASO	TERCER PASO	CUARTO PASO	CASOS
1° La deflexión característica resulta:	<p><b>SUPERIOR</b> 2° ¿Hay fallas de origen estructural?</p> <p><b>IGUAL O INFERIOR</b> 2° ¿Hay fallas de origen estructural?</p>	<p><b>NO:</b> Estructura infra diseñada para el tráfico previsto</p> <p><b>SI:</b> 3° ¿Existe una capa débil inmediata debajo de las capas asfálticas?</p> <p><b>NO:</b> Las fallas se deben a otras causas</p> <p><b>SI:</b> Radio de curvatura pequeño (menor o igual a 80m.)</p> <p><b>NO</b> Corregir fallas de origen superficial</p>	<p><b>PRIMER CASO</b> Pavimento necesita con urgencia un refuerzo estructural para resistir el tráfico previsto.</p> <p><b>SEGUNDO CASO</b> Este es el paso avanzado del primer caso, cuando no se han tomado a tiempo las medidas necesarias.</p> <p><b>TERCER CASO</b> Esta caracterizado por la presencia de una capa débil subyacente a la asfáltica, que determina que la deformación de esta última bajo cargas no encuentra apoyo suficiente y sea mayor a la que le correspondería en ausencia del espesor débil.</p>	<p><b>TERCER CASO</b> En este caso los radios de curvatura de la línea de deflexión son reducidos y el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo es posible aun con deflexiones admisibles.</p> <p><b>CUARTO CASO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se caracteriza por el desarrollo de deformaciones permanentes, en particular ahuellamiento en la zona de canalización del tráfico, no atribuibles a desplazamientos plásticos de las capas asfálticas por deficiente estabilidad o compactación, es decir que afectan a toda la estructura.</li> <li>Se trata por lo general de pavimentos que han sido reforzados con capas asfálticas de espesor suficiente para evitar las fallas por fatiga, pero insuficientes para compensar la debilidad de la fundación original.</li> <li>En estos casos las medidas de deflexión pueden no ser significativas, aquí lo más importante es apreciar el valor portante de la fundación y el aporte estructural que aún puede prestar el pavimento original y las capas asfálticas de refuerzo existentes.</li> </ul>

**Fuente:** (MTC, 2014)



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

##### 3.1.1. TIPO DE INVESTIGACION

“A lo largo de la historia de la ciencia han surgido diferentes enfoques y corrientes del pensamiento que han dado lugar a diversos caminos en la búsqueda del conocimiento. Sin embargo, y debido a las diferentes premisas que las sustentan, desde el siglo pasado tales corrientes se polarizaron en dos aproximaciones principales de la investigación: el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo” (Hernández et al., 2014, p. 9).

En la presente Tesis se realizó una investigación cuantitativa, aplicada y descriptiva.

##### 3.1.2. ALCANCE DE LA INVESTIGACION

El alcance de la investigación es descriptivo porque se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de cualquier fenómeno que se analice. (Hernández, Fernandez, & Baptista, 2014).

En este caso se realizará el análisis estructural del pavimento flexible a través del método “MTC 1002 – Medida de la deflexión de un pavimento flexible empleando la Viga Benkelman”.

##### 3.1.3. METODO DE INVESTIGACION

Por pertenecer a un enfoque cuantitativo, la presente investigación empleara el método inductivo ya que usa el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos para llegar a conclusiones, cuya aplicación será de carácter general.

### 3.1.4. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ESTUDIO

El tramo en evaluación es la ruta N° PU-1047<sup>3</sup>, empieza en el distrito de Atuncolla, PU – 121 (Atuncolla), y culmina en el centro arqueológico Umayo (Sillustani); se encuentra ubicado al sur este del Perú, en la meseta del Collao a una altura promedio de 3820 m.s.n.m., en el distrito de Atuncolla, provincia de Puno y departamento de Puno.



**Figura 11: Carretera Atuncolla - Sillustani**  
**Fuente: Decreto Supremo n.º 012-2013-MTC**

### 3.1.5. POBLACION

En palabras de Arias (2012) “La población es un conjunto limitado con características similares para los cuales las conclusiones de la investigación serán extensas. Esta queda limitada por los objetivos y el problema de investigación” (p. 81).

Para la presente investigación, el universo poblacional está conformado por la longitud total de 4+440 km que conforma la carretera en estudio<sup>4</sup>. La ubicación del inicio y fin del tramo en coordenadas UTM, se detallan en la Tabla 13:

<sup>3</sup> Trayectoria: Emp. PU-121 (Atuncolla) - Centro Arqueológico Umayo.

<sup>4</sup> Ruta N° PU – 1047: Emp. PU -121 (Atuncolla) – Centro Arqueológico Umayo.



**Figura 12:** Ruta Atuncolla – Sillustani (PU -1047)  
*Fuente:* Google earth

**Tabla 13:** Coordenadas del tramo

COORDENADAS	INICIO VÍA	FIN VÍA
E	377371.00 m	376661.08 m
N	8265242.00 m	8261322.52 m

*Fuente:* Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.1.6. MUESTRA

Según Arias (2012) “La muestra es un subconjunto específico, limitado y representativo que se extrae de la población accesible. En ese sentido, una muestra representativa es aquella que por su tamaño y características similares a las del conjunto, permite hacer inferencias o generalizar resultados para el resto de la población” (p. 83).

Al respecto, se consideró como muestra un subconjunto representativo, para este caso nuestra muestra corresponde a 223 puntos cada 20 metros para la evaluación estructural con la Viga Benkelman<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Ensayo MTC E-1002 Medida de la deflexión de un pavimento flexible empleando la Viga Benkelman.

**Tabla 14: Numero de muestras**

ENSAYO	RUTA n.º PU -1047				
	Longitud de la ruta en estudio (m)	Distancia entre puntos de muestreo (m)	Nº de puntos de muestreo	Nº de puntos de muestreo – margen derecho	Nº de puntos de muestreo – margen izquierdo
DEFLECTOMETRIA (VIGA BENKELMAN)	4440	20	223	112	111

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.1.7. TRATAMIENTO ESTADISTICO

Para la prueba de la hipótesis, se usó la prueba estadística “t” Student para un nivel de confianza ascendente al 90%, de conformidad a lo establecido en el reglamento (Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos)<sup>6</sup>.

Cabe precisar, que el referido tratamiento se desarrollará en el capítulo IV, numeral 4.3 cumplimiento de los objetivos, para cada objetivo específico, por resultar pertinente desarrollarlo una vez calculadas las deflexiones característica y admisible.

### 3.2. DESCRIPCION DEL TRAMO EN ESTUDIO

La Ruta N° PU -1047 (Emp. PU–121 Atuncolla – Centro Arqueológico Umayo), considerada como una ruta vecinal o rural de acuerdo al Decreto Supremo n.º 011-2016-MTC, vigente desde el 25 de julio de 2016, es una vía de doble sentido, con un carril por sentido, cuenta con un ancho de vía de 5.40m, no presenta separador central, no cuenta con cunetas en el margen derecho ni izquierdo y tiene una longitud total de 4440 m. (4.44 km).

### 3.3. ESTUDIO DE TRANSITO

Montejo (2002) refiere que: “La información que se requiere para cuantificar el tráfico existente de una vía, es la siguiente:

- El Transito Promedio Diario Semanal (TDPS)
- Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados” (p. 19).

<sup>6</sup> Aprobado mediante Resolución Directoral n.º 18-2016-MTC/14 de 3 de junio de 2016.

### 3.3.1. CALCULO DEL INDICE MEDIO DIARIO ANUAL

Para el presente trabajo de investigación, calcularemos el índice medio diario semanal, que es el número total de vehículos que pasan durante un periodo de 1 semana, dividido entre el número de días (7).

El tránsito vehicular calculado en las estaciones N° 01 y N° 02 en la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani, está compuesto en su mayoría por el paso de vehículos ligeros: Autos, camionetas, combis, microbuses y por vehículos pesado como: B2, B3-1 (Producto del transporte de turistas nacionales y extranjeros al Complejo Arqueológico de Sillustani) y en pocas ocasiones de camiones de vehículos de C2 y C3 (sobre todo los días de feria en el distrito de Atuncolla), se presenta el cuadro donde se resumen el número de vehículos por tipo en una semana (TDPS).

**Tabla 15: Cálculo del IMDA**

TRAMO	ATUNCOLLA -SILLUSTANI	Factor de correccion estacional		Tiempo (años): Estudio de control - Obra ejecutada		Datos a llenar						
Mes de control	Junio					Datos calculados						
AÑO de control	2020	Fe (liviano)	1.0471216			Datos de referenciado (ext)						
Peaje cerca	CARACOTO	Fe (pesado)	1.0540885	4								
SENTIDO	AMBOS											
Departamento	Puno.											
DIAS DE ESTUDIO DE CONTROL		AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION		
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E
18/06/2021	IDA	53	0	26	0	16	17	9	4	4	0	0
	VUELTA	50	0	20	0	15	17	9	4	3	0	0
	TOTAL	103	0	46	0	31	34	18	8	7	0	0
19/06/2021	IDA	57	0	16	0	18	13	8	3	4	0	0
	VUELTA	50	0	16	0	18	13	8	3	3	0	0
	TOTAL	107	0	32	0	36	26	16	6	7	0	0
20/06/2021	IDA	45	0	22	0	26	14	10	0	2	0	0
	VUELTA	53	0	24	0	22	14	10	0	3	0	0
	TOTAL	98	0	46	0	48	28	20	0	5	0	0
21/06/2021	IDA	60	0	25	0	30	13	9	2	9	4	0
	VUELTA	55	0	31	0	32	13	9	2	9	4	0
	TOTAL	115	0	56	0	62	26	18	4	18	8	0
22/06/2021	IDA	44	0	35	0	20	12	9	3	4	0	0
	VUELTA	54	0	35	0	14	12	9	3	3	1	0
	TOTAL	98	0	70	0	34	24	18	6	7	1	0
23/06/2021	IDA	51	0	33	0	35	13	12	1	4	0	0
	VUELTA	60	0	30	0	31	13	12	1	4	1	0
	TOTAL	111	0	63	0	66	26	24	2	8	1	0
24/06/2021	IDA	34	0	28	0	25	14	9	1	6	5	0
	VUELTA	30	0	20	0	25	14	9	1	6	5	0
	TOTAL	64	0	48	0	50	28	18	2	12	10	0
IMDs	IDA	49.143	0.000	26.429	0.000	24.286	13.714	9.429	2.000	4.714	1.286	0.000
	VUELTA	50.286	0.000	25.143	0.000	22.429	13.714	9.429	2.000	4.429	1.571	0.000
	TOTAL	99.429	0.000	51.571	0.000	46.714	27.429	18.857	4.000	9.143	2.857	0.000
IMDa	IDA	51.459	0.000	27.674	0.000	25.430	14.361	9.939	2.108	4.969	1.355	0.000
	VUELTA	52.655	0.000	26.328	0.000	23.485	14.361	9.939	2.108	4.668	1.656	0.000
	TOTAL	104.114	0.000	54.002	0.000	48.916	28.721	19.877	4.216	9.637	3.012	0.000
IMDa 2020	TOTAL	104.000	0.000	54.000	0.000	49.000	29.000	20.000	4.000	10.000	3.000	0.000

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

De la tabla precedente, se tiene el número de vehículos por día, el Índice Medio Diario Semanal (IMDS) y el Índice Medio Diario Anual (IMDA), calculado con el factor de corrección estacional por unidad de peaje, factor brindado por el MTC<sup>7</sup>; los datos se resumen en la Tabla 16:

**Tabla 16: Resumen del IMDA**

<b>DIAS</b>	<b>VEHICULOS POR DIA</b>
LUNES	247
MARTES	230
MIERCOLES	245
JUEVES	307
VIERNES	258
SABADO	301
DOMINGO	232
TOTAL	1820
IMDS	260
FACTOR DE CORRECCION	1.05
<b>IMDA</b>	<b>273</b>

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

### **3.3.2. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALETES ESAL**

Una vez obtenido el Índice Medio Diario Semanal y el correspondiente Índice Medio Diario Anual, se procedió con el cálculo de los ejes equivalentes por cada tipo de vehículo, para finalmente calcular el ESAL, conforme a lo detallado en el MTC (2014), los resultados se muestran en la Tabla 17:

<sup>7</sup> En su ficha técnica estándar para la formulación y evaluación de proyectos de inversión en carreteras interurbanas.

**Tabla 17: Cálculo de Ejes Equivalentes por vehículo**

Tasa anual de crecimiento de vehículos livianos		r (%)	0.92%			$T_n = T_o(1+r)^{n-1}$		Tn =	Transito proyectado con "n" (veh/dia)			
Tasa anual de crecimiento de vehículos pesados		r (%)	3.21%					To =	Transito actual (año base) (veh/dia)			
Años que pasa del estudio del proyecto-ejecucion		n	2									
CRECIMIENTO DE TRAFICO EN "n"												
IMDa 2022	TOTAL	104.958	0.000	54.497	0.000	49.451	29.267	20.642	4.128	10.321	3.096	0.000
TIPO DE VEHICULO		IMDa	TIPO	# RUEDAS	CARGA	TIPO EE	EE (8.2tn)	EE (8.2tn)	EE * IMDa	EE * IMDa		
		IMDa 2022	EJE		EJE Tn	(8.2tn)	FLEXIBLE	REGIDO	FLEXIBLE	RIGIDO		
VEHICULO LIVIANO	AUTO	1 EJE	104.958	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.000436	0.055	0.046	
		2 EJE	104.958	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.000436	0.055	0.046	
	S. WAGON	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.000436	0.000	0.000	
		2 EJE	0.000	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.000436	0.000	0.000	
	PICK UP	1 EJE	54.497	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.000436	0.029	0.024	
		2 EJE	54.497	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.000436	0.029	0.024	
	PANEL	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.000436	0.000	0.000	
		2 EJE	0.000	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.000436	0.000	0.000	
	C. RURAL	1 EJE	49.451	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.000436	0.026	0.022	
		2 EJE	49.451	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.000436	0.026	0.022	
	MICRO	1 EJE	29.267	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.000436	0.015	0.013	
		2 EJE	29.267	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.000436	0.015	0.013	
BUS	2E	1 EJE	20.642	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	1.272834	26.120	26.274	
		2 EJE	20.642	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	3.334826	66.844	68.837	
	>=3 E	1 EJE	4.128	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	1.272834	5.224	5.255	
		2 EJE	4.128	TANDEM	6	16	EETA1	1.365945	2.342740	5.639	9.672	
CAMIONES	2E	1 EJE	10.321	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	1.272834	13.060	13.137	
		2 EJE	10.321	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	3.334826	33.422	34.419	
	3E	1 EJE	3.096	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	1.272834	3.918	3.941	
		2 EJE	3.096	TANDEM	8	18	EETA2	2.019213	3.458004	6.252	10.707	
	4E	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	1.272834	0.000	0.000	
		2 EJE	0.000	TRIDEM	10	23	EETR1	1.508184	3.685352	0.000	0.000	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 18: Cálculo de ESAL para pavimento flexible**

Tiempo (años) de vida util del pavimento	Pd	10
Factor "Fca" de veh pesados $Fca = \frac{(1+r)^{Pd}-1}{r}$	Fca	10.014
Nº (Calzadas, sentido, carril por sentido)	1 calzada/2 sentido/1 carril	
Factor direccional	Fd	0.5
Factor de carril	Fc	1
Numero de EE(ejes equivalentes) (ESALs) $\#EE(8.2tn) = \sum(EE * Fca * 365)$ ó $\#EE(8.2tn) = 365\sum(EE * IMDa) * Fca * Fd * Fc$	ESALs para flexible	293,756.33

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Como se aprecia en la Tabla 18, el número de ejes equivalentes o ESAL's es de 293,756.33.

### 3.4. CALCULO DE LAS DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

“El campo de aplicación de estas mediciones es muy amplio, empleándose principalmente para determinar la vida útil remanente de un pavimento, evaluar estructuralmente los pavimentos con fines de mantenimiento, mejoramiento o rehabilitación, evaluar los métodos de diseño de pavimentos y control de ejecución de obras, evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las solicitaciones del tránsito que lo utiliza, y establecer si éste presenta suficiencia sin presentar fatiga estructural creciente” (MTC, 2017, p. 962).

“El método consiste en medir la deformación producida en la superficie del pavimento por la aplicación de una carga normalizada. El dispositivo mecánico utilizado es la Viga Benkelman de brazo simple o doble, equipo que mide los desplazamientos verticales de un punto de contacto situado entre las ruedas duales del eje de carga, para una presión de inflado en los neumáticos de 80 psi y una carga de 8.2 t en el eje posterior del camión” (Encalada y Galecio, 2021, p. 52).

#### 3.4.1. EQUIPOS Y MATERIALES

El equipo usado para la medición de deflexiones del tramo en estudio fue el siguiente:

- a) Viga Benkelman: Viga simple de doble brazo con su correspondiente dial al 0.01 mm y relación de brazos 1:4, de la marca PINZUAR, modelo PA-74, serie 122 y de procedencia colombiana.



**Figura 13:** Viga Benkelman usada en campo  
**Fuente:** Elaborado por el equipo de trabajo

  
**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

Pág. 1 de 6

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**N° 1177-117-2020**

**VIGA BENKELMAN**

**CLIENTE :** GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

**DIRECCIÓN :** AV. CIRCUNVALACION NORTE No. 1728 PUNTA  
ROMAN, LIMA

**DATOS DEL EQUIPO**

Marca	: PINZUAR
Modelo	: PA-74
Serie	: K
Relación de Pivote	: 1
Tipo	: Doble Brazo
Procedencia	: COLOMBIA

<b>Brazo N° 1 Largo</b>		<b>Brazo N° 2 Corto</b>	
Dial	: BAKER	Dial	: BAKER
N° Serie	: BCC511	N° Serie	: N7595
Aprox.	: 0,01 mm	Aprox.	: 0,001 in
Rango	: 25 mm	Rango	: 1 in

Fecha de emisión:  
Lima, 09 de noviembre del 2020

**ARSOU GROUP S.A.C**  
Ing. Hugo Luis Arévalo Gárciga  
METROLOGÍA

**ARSOU GROUP S.A.C**  
Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf. +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com

**COPIA NO CONTROLADA**  
**GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

**Figura 14:** Certificado de Calibración  
**Fuente:** GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

- b) “Un camión para ensayo con las siguientes características: El eje trasero pesará en la balanza 8,2 toneladas, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas deberán ser 10" x 20"; 12 lonas e infladas a 5,6 kg/cm<sup>2</sup> (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual deber ser de 32 centímetros” (MTC, 2017, p. 963).



**Figura 15:** Camión de ensayo de placa WZ-3396  
**Fuente:** Elaborado por el equipo de trabajo

<b>GRIFO LOS PINOS</b>	
SERVICIO: BALANZA ELECTRONICA DE ANTONIETA SATURNINA WAGNER SALMON RUC: 10023948619 DIRECCION: AV. HEROES DEL PACIFICO Km. 2 - JULIACA - PUNO	
TICKET DE PESAJE N°: 2136	
Cliente	: -
N° de Placa	: WZ-3396
Conductor	: -
Producto	: -
Operador	: -
Observación	: -
PRIMERA PESADA	
Fecha	: 31/08/2020
Hora	: 04:31:32 p.m.
PESO	: 8200 Kg.

**Figura 16:** Ticket de Pesaje n.º 2136  
**Fuente:** Elaborado por el equipo de trabajo

- c) Odómetro electrónico: Instrumento manual que permite medir longitudes para la ubicación de los puntos a evaluar.



**Figura 17:** *Odómetro usado en campo*  
**Fuente:** *Elaborado por el equipo de trabajo*

- d) Termómetro convencional: Con escala de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  y precisión de  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para la medición de temperatura del pavimento a evaluar.
- e) Cronómetro: Reloj convencional con cronómetro de 1 segundo de precisión.
- f) Manómetro: Para medir la presión de inflado de los neumáticos pertenecientes al camión de ensayo, con precisión de  $0,01\text{ mm/m}^2$  ( $0.1\text{ kgf/cm}^2$ )
- g) Cinta métrica: Flexómetro de 25 metros de longitud, puede sustituirse con propiedad por un cuentametros y una cinta métrica de bolsillo de 2 o 3 metros de longitud.
- h) Taladro: Instrumento adecuado para practicar orificios en el pavimento hasta 5 centímetros de profundidad, puede usarse martillo y clavos de acero para este fin.
- i) Silbato: Avisador acústico utilizado para indicar al conductor del camión que los neumáticos se encuentran sobre el punto a ser evaluado.
- j) Equipos de seguridad: También denominados Equipos de Protección Personal (EPP's), están diseñados para proteger al personal en campo, de los peligros a su

integridad física y personal, que incluye el cuerpo, la cabeza, los pies, entre otros; los equipos usados en la medición de deflexiones, fueron los siguientes:

- Casco de Seguridad: Protege la cabeza contra los golpes y otros peligros mecánicos.
- Chaleco de Seguridad: Para asegurar la visibilidad del personal de campo ante los conductores y evitar siniestros de tránsito.
- Zapatos de Seguridad: Botas con puntera reforzada o de metal, para la protección de los pies.
- Conos de Seguridad: Para prevenir a los conductores que se están realizando pruebas en el tramo.



**Figura 18:** Equipos de protección personal (EPP's)  
**Fuente:** Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 19: Conos de Seguridad**  
**Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo**

Los materiales usados para la medición de deflexiones con viga Benkelman, fueron los siguientes:

- a) Cartel identificador del estudio: Cartel sencillo que informe a los ciudadanos sobre las condiciones y características de la investigación realizada.



**Figura 20: Cartel identificador del estudio**  
**Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo**



- b) Yeso o tizas: Material utilizado para marcar el pavimento, específicamente los puntos de ensayo donde se realizará la medición de las deflexiones con la viga Benkelman.
- c) Formatos de inspección: Formato utilizado para la toma de datos en campo obtenidos de la medición de deflexiones con viga Benkelman (ver Anexo C).

### 3.4.2. PROCEDIMIENTO DE MEDICION DE LAS DEFLEXIONES EN CAMPO

Este procedimiento se realizó en concordancia al ensayo “MTC E 1002 - Medida de la deflexión de un pavimento empleando la viga Benkelman”, el que se encuentra regulado en el Manual de Ensayo de Materiales aprobado mediante Resolución Directoral n.º 18-2016-MTC/14 de 3 de junio de 2016, en adelante “manual de ensayo”.

- Previo al proceso de medición de deflexiones mediante el ensayo se realizaron las mediciones del peso del camión de ensayo y presión de los neumáticos del camión. El peso del camión lecturado fue de 18, 000 lb (8, 200 kg.), ver figuras n.ºs 22 y 23, la presión de inflado de las llantas se verifico en 80 psi (5.6 km/cm<sup>2</sup>).
- Subsecuentemente, los puntos del pavimento a ser ensayados fueron marcados con una línea transversal al camino cada 20 metros de longitud (distancia entre cada punto de ensayo) y a ello se agregó una línea longitudinal al camino (formando una “T”), a una distancia prefijada del borde, que, conforme al “*manual de ensayo*”, fue establecida en 0.45m, toda vez que el ancho del carril de la vía es de 2.70 m.

**Tabla 19:** Distancia desde el borde del pavimento

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
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:** Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 21:** Medición del ancho de calzada  
*Fuente:* Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 22:** Marca de los puntos de ensayo  
*Fuente:* Elaborado por el equipo de trabajo

- Con ayuda del silbato, un desplazamiento lento del camión y una guía vertical situada en la parte trasera extrema del camión (en el eje de la rueda dual); se hizo coincidir la guía vertical con la línea longitudinal al camino, marcada a 45 cm del borde del pavimento, de este modo el punto a ensayar quedo entre ambas llantas de la rueda dual externa.



**Figura 23:** Guía vertical y eje longitudinal  
**Fuente:** Elaborado por el equipo de trabajo

- Una vez ubicado el camión en el punto de ensayo correspondiente, se procedió a colocar la viga sobre el pavimento, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta del palpador, coincidió con el punto ensayado, sin rozar y/o tocar los neumáticos de la rueda dual.



**Figura 24:** Colocación de la Viga sobre el punto de ensayo  
**Fuente:** Elaborado por el equipo de trabajo

- Se liberaron los seguros de los brazos y se ajustó la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los dos brazos de medición quedaron en contacto con los diales.



**Figura 25:** Ajuste perpendicular de la Viga Benkelman  
**Fuente:** Elaborado por el equipo de trabajo

- Una vez instalada la viga en el punto de medición, se puso el dial en cero, se activó el vibrador para iniciar con la toma de lecturas.
- El operador avisó al conductor para que este se desplace lentamente hacia adelante, con velocidad inferior a 3 km/h.
- Mientras el camión se conducía a esta velocidad, se procedió a tomar lecturas conforme a la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y las marcas adicionales y una lectura final cuando el camión se alejó lo suficiente del punto de ensayo, registro que correspondió al punto de referencia con deflexión cero.



**Figura 26:** Lectura inicial (varilla coincide con 1ª marca)  
**Fuente:** Elaborado por el equipo de trabajo



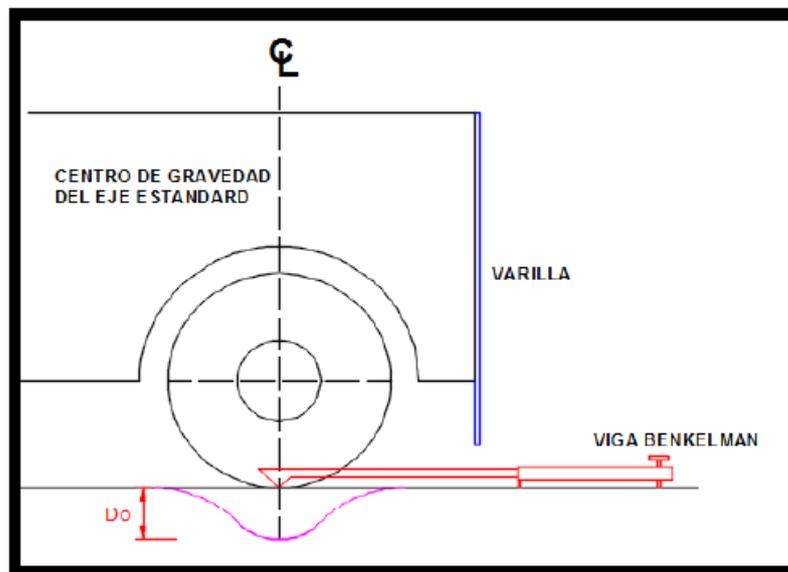
**Figura 27:** Lectura a 25 cm (D25)  
**Fuente:** Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 28:** Lectura Final

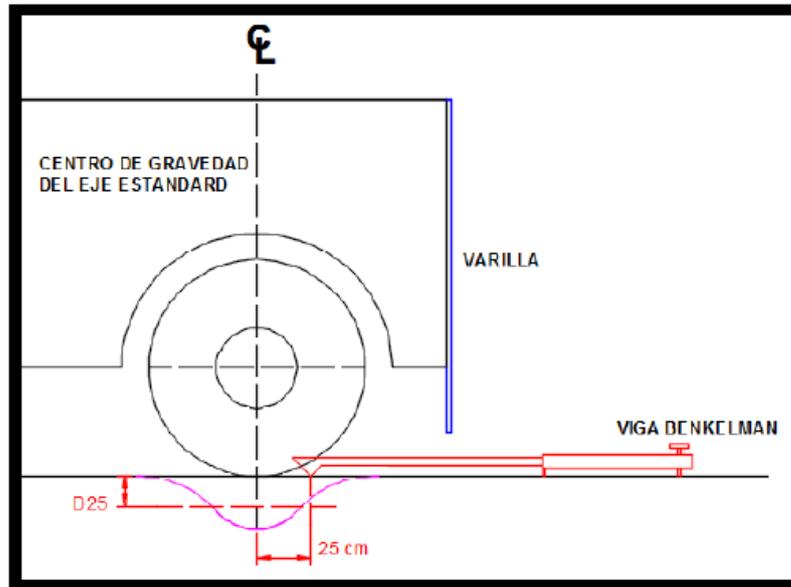
**Fuente:** Elaborado por el equipo de trabajo

- Cuando dos lecturas sucesivas de cada uno de ellos no difieran en más de 0,01 mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose las últimas lecturas observadas (L0 y L25).

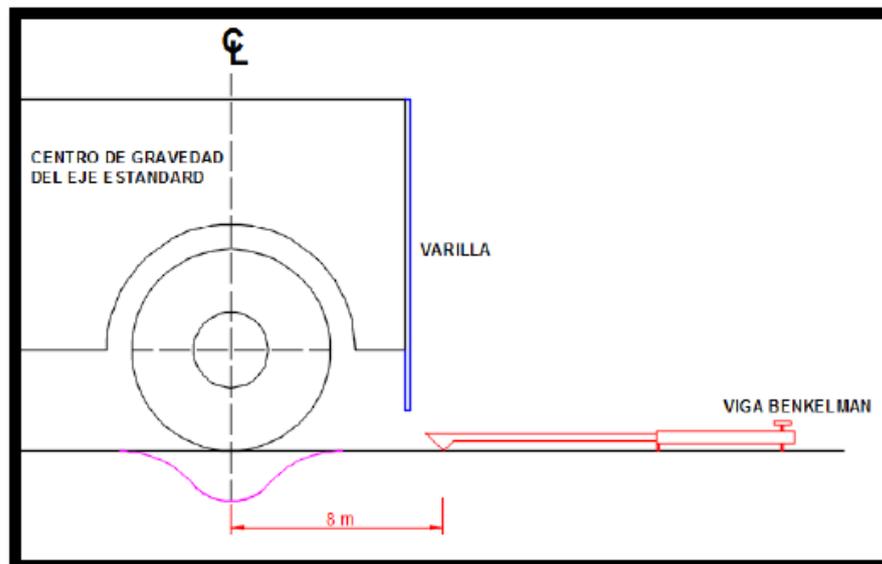


**Figura 29:** Posición inicial ( $D_0 =$  Deflexión máxima)

**Fuente:** (Fernandez, 2020)



**Figura 30:** Posición a 25 cm (D25)  
**Fuente:** (Fernandez, 2020)



**Figura 31:** Posición final ( $D = 0$ )  
**Fuente:** (Fernandez, 2020)

- Finalmente, las ultimas lecturas observadas en el dial, se registraron en el “Formato para la recopilación de mediciones utilizado en campo”, conforme se aprecia en la siguiente figura 33:



**Figura 32:** Registro de lecturas en formato de campo  
*Fuente:* Elaborado por el equipo de trabajo

ITEM		PROGRESIVA (Km)	LADO DE PISTA	LECTURA EN DIAL				TEMPERATURA		FACTOR ESTACIONALIDAD (K)	OBSERVACIONES
				L <sub>0</sub> (cm)	L <sub>25</sub> (cm)	L <sub>50</sub> (cm)	L <sub>75</sub> (cm)	L <sub>max</sub> (cm)	Amb. (°C)	Pav. (°C)	
1	0+000	DER	D	0	1	3	6	8	15	23	
2	0+040	D	D	0	1	3	5	6	15	23	
3	0+080	D	D	0	1	2	5	6	15	23	
4	0+120	D	D	0	1	2	3	4	-	-	
5	0+160	D	D	0	1	2	5	7	-	-	
6	0+200	D	D	0	1	3	4	6	-	-	
7	0+240	D	D	0	2	3	4	5	-	-	
8	0+280	D	D	0	1	3	5	7	-	-	
9	0+320	D	D	0	0.5	1	2	3	-	-	
10	0+360	D	D	0	1	2	4	5	-	-	
11	0+400	D	D	0	0.5	1	1.5	2	-	-	
12	0+440	D	D	0	1	3	6	8	-	-	
13	0+480	D	D	0	0.5	1	2	3	15	-	
14	0+520	D	D	0	1	2	4	5	21	-	
15	0+560	D	D	0	1	2	4	6	21	-	
16	0+600	D	D	0	1	3	5	8	-	-	
17	0+640	D	D	0	1	3	8	11	-	-	
18	0+680	D	D	0	1	3	5	8	-	-	
19	0+720	D	D	0	1	2	4	6	-	-	
20	0+760	D	D	0	1	3	5	8	-	-	
21	0+800	D	D	0	1	2	3	5	-	-	
22	0+840	D	D	0	1	2	4	5	-	-	
23	0+880	D	D	0	1	2	3	4	-	-	
24	0+920	D	D	0	1	2	4	6	-	-	
25	0+960	D	D	0	1	2	4	6	-	-	
26	1+000	D	D	0	1	2	3	7	-	-	
27	1+040	D	D	0	0.5	1	2	4	-	-	
28	1+080	D	D	0	1	2	3	5	-	23	
29	1+120	D	D	0	1	2	3	4	21	23	
30	1+160	D	D	0	1	2	2	3	21	24	

**Figura 33:** Formato para la recopilación de mediciones en campo  
*Fuente:* Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.4.3. CALCULO DE LAS DEFLEXIONES CORREGIDAS

#### a. Mediciones efectuadas en campo

Las mediciones en campo se efectuaron conforme a lo detallado en el acápite 3.4.2 (las mismas que se encuentran adjuntas en el Anexo C), dichas lecturas se presentan en las tablas 16 y 17 y son las siguientes:

**Tabla 20:** Mediciones en Campo – Margen Derecho

ESTRUCTURA		:	PAVIMENTO FLEXIBLE						
CARRIL		:	DERECHO						
PROGRESIVA		:	KM: 0+000 AL 4+440						
TRAMO		:	ATUNCOLLA - SILLUSTANI						
N°	Progr.	Lado	Deflexiones en Campo					Temp.	Temp.
	(km)		L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>(MAX)</sub>	Amb. °C	pav. °C
1	0+000	DER.	0	1	4	6	8	15	23
2	0+040	DER.	0	1	3	5	6	15	23
3	0+080	DER.	0	1	2	5	6	15	23
4	0+120	DER.	0	1	2	3	4	15	23
5	0+160	DER.	0	1	2	5	7	15	23
6	0+200	DER.	0	1	3	4	6	15	23
7	0+240	DER.	0	2	3	4	5	15	23
8	0+280	DER.	0	1	1	5	7	15	23
9	0+320	DER.	0	0.5	1	2	3	15	23
10	0+360	DER.	0	1	2	4	5	15	23
11	0+400	DER.	0	0.5	1	1.5	2	15	23
12	0+440	DER.	0	1	3	6	8	15	23
13	0+480	DER.	0	0.5	1	2	3	15	23
14	0+520	DER.	0	1	2	4	5	18	25
15	0+560	DER.	0	1	2	4	6	18	25
16	0+600	DER.	0	1	2	4	6	18	25
17	0+640	DER.	0	1	3	8	11	18	25
18	0+680	DER.	0	1	3	5	8	18	25
19	0+720	DER.	0	1	2	4	6	18	25
20	0+760	DER.	0	1	3	5	8	18	25
21	0+800	DER.	0	1	2	3	5	18	25
22	0+840	DER.	0	1	2	4	5	18	25
23	0+880	DER.	0	1	2	3	4	18	25
24	0+920	DER.	0	1	2	4	6	18	25
25	0+960	DER.	0	1	2	4	6	18	25
26	1+000	DER.	0	1	2	3	7	18	25
27	1+040	DER.	0	0.5	1	2	4	18	25
28	1+080	DER.	0	1	2	3	5	18	25
29	1+120	DER.	0	1	2	3	4	18	25
30	1+160	DER.	0	1	2	2	3	18	25

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 21:** Mediciones en Campo – Margen Izquierdo

ESTRUCTURA			PAVIMENTO FLEXIBLE						
CARRIL			IZQUIERDO						
PROGRESIVA			KM: 0+000 AL 4+420						
TRAMO			ATUNCOLLA - SILLUSTANI						
Nº	Progr. (km)	Lado	Deflexiones en Campo					Temp.	
			L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>(MAX)</sub>	Amb.°C	pav. °C
1	0+020	IZQ.	0	0.5	1	3	5	15	23
2	0+060	IZQ.	0	1	2	3	4	15	23
3	0+100	IZQ.	0	1	2	3	5	15	23
4	0+140	IZQ.	0	1	3	4	6	15	23
5	0+180	IZQ.	0	1	3.0	4	7	15	23
6	0+220	IZQ.	0	1	3	5	7	15	23
7	0+260	IZQ.	0	1	2.0	3	5	15	23
8	0+300	IZQ.	0	1	2.0	3	4	15	23
9	0+340	IZQ.	0	1	2.0	4	5	15	23
10	0+380	IZQ.	0	1	2	3	5	15	23
11	0+420	IZQ.	0	1	2	3	4	15	23
12	0+460	IZQ.	0	1	3	5	7	15	23
13	0+500	IZQ.	0	0.5	1	2	5	15	23
14	0+540	IZQ.	0	1	2.5	5	7	18	25
15	0+580	IZQ.	0	0.5	1	2	4	18	25
16	0+620	IZQ.	0	1	2.0	3	10	18	25
17	0+660	IZQ.	0	0.5	1.0	2	4	18	25
18	0+700	IZQ.	0	1	2.0	3	6	18	25
19	0+740	IZQ.	0	1	2	2	5	18	25
20	0+780	IZQ.	0	0.5	2	2	4	18	25
21	0+820	IZQ.	0	1	1	2	4	18	25
22	0+860	IZQ.	0	1	2	3	4	18	25
23	0+900	IZQ.	0	0.5	1.0	2	5	18	25
24	0+940	IZQ.	0	1	2	4	6	18	25
25	0+980	IZQ.	0	1	2.0	4	6	18	25
26	1+020	IZQ.	0	1	3.0	4	6	18	25
27	1+060	IZQ.	0	1	2.0	3	4	18	25
28	1+100	IZQ.	0	1	2	4	5	18	25
29	1+140	IZQ.	0	1	2	3	5	18	25
30	1+180	IZQ.	0	1	2	3	6	18	25

*Fuente:* Elaborado por el equipo de trabajo

### b. Cálculo de las deflexiones corregidas

En base a las lecturas tomadas en campo, se procede a realizar el cálculo de las deflexiones corregidas por la unidad en milímetros (Ver Anexo C), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$D0 = (Lf - L0) \times K \times C$$

Donde:

- D0= Deflexión simple (corregida).
- L0 = Lectura inicial de la estación.
- Lf= Lectura final de la estación.
- K = Constante de la viga (relación de brazos 4:1).
- C= Corrección de unidades para milímetros “1.5”.

**Tabla 22: Deflexiones Calculadas – Margen Derecho**

ESTRUCTURA			PAVIMENTO FLEXIBLE								
CARRIL			DERECHO								
PROGRESIVA			KM: 0+000 AL 4+440								
TRAMO			ATUNCOLLA - SILLUSTANI								
Nº	Progr. (km)	Lado	Deflexiones en Campo					Deflexiones Corr. (0.01 mm.)			
			L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>(MAX)</sub>	D <sub>0</sub> (D <sub>max</sub> )	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>
1	0+000	DER.	0	1	4	6	8	48	42	24	12
2	0+040	DER.	0	1	3	5	6	36	30	18	6
3	0+080	DER.	0	1	2	5	6	36	30	24	6
4	0+120	DER.	0	1	2	3	4	24	18	12	6
5	0+160	DER.	0	1	2	5	7	42	36	30	12
6	0+200	DER.	0	1	3	4	6	36	30	18	12
7	0+240	DER.	0	2	3	4	5	30	18	12	6
8	0+280	DER.	0	1	1	5	7	42	36	36	12
9	0+320	DER.	0	0.5	1	2	3	18	15	12	6
10	0+360	DER.	0	1	2	4	5	30	24	18	6
11	0+400	DER.	0	0.5	1	1.5	2	12	9	6	3
12	0+440	DER.	0	1	3	6	8	48	42	30	12
13	0+480	DER.	0	0.5	1	2	3	18	15	12	6
14	0+520	DER.	0	1	2	4	5	30	24	18	6
15	0+560	DER.	0	1	2	4	6	36	30	24	12
16	0+600	DER.	0	1	2	4	6	36	30	24	12
17	0+640	DER.	0	1	3	8	11	66	60	48	18
18	0+680	DER.	0	1	3	5	8	48	42	30	18
19	0+720	DER.	0	1	2	4	6	36	30	24	12
20	0+760	DER.	0	1	3	5	8	48	42	30	18
21	0+800	DER.	0	1	2	3	5	30	24	18	12
22	0+840	DER.	0	1	2	4	5	30	24	18	6
23	0+880	DER.	0	1	2	3	4	24	18	12	6
24	0+920	DER.	0	1	2	4	6	36	30	24	12
25	0+960	DER.	0	1	2	4	6	36	30	24	12
26	1+000	DER.	0	1	2	3	7	42	36	30	24
27	1+040	DER.	0	0.5	1	2	4	24	21	18	12
28	1+080	DER.	0	1	2	3	5	30	24	18	12
29	1+120	DER.	0	1	2	3	4	24	18	12	6
30	1+160	DER.	0	1	2	2	3	18	12	9	3

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 23: Deflexiones Calculadas – Margen Izquierdo**

ESTRUCTURA			PAVIMENTO FLEXIBLE								
CARRIL			IZQUIERDA								
PROGRESIVA			KM: 0+000 AL 4+420								
TRAMO			ATUNCOLLA - SILLUSTANI								
N°	Progr. (km)	Lado	Deflexiones en Campo					Deflexiones Corr. (0.01 mm.)			
			L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>(MAX)</sub>	D <sub>0</sub> (D <sub>max</sub> )	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>
1	0+020	IZQ.	0	0.5	1	3	5	30.00	27.00	24.00	12.00
2	0+060	IZQ.	0	1	2	3	4	24.00	18.00	12.00	6.00
3	0+100	IZQ.	0	1	2	3	5	30.00	24.00	18.00	12.00
4	0+140	IZQ.	0	1	3	4	6	36.00	30.00	18.00	12.00
5	0+180	IZQ.	0	1	3.0	4	7	42.00	36.00	24.00	18.00
6	0+220	IZQ.	0	1	3	5	7	42.00	36.00	24.00	12.00
7	0+260	IZQ.	0	1	2.0	3	5	30.00	24.00	18.00	12.00
8	0+300	IZQ.	0	1	2.0	3	4	24.00	18.00	12.00	6.00
9	0+340	IZQ.	0	1	2.0	4	5	30.00	24.00	18.00	6.00
10	0+380	IZQ.	0	1	2	3	5	30.00	24.00	18.00	12.00
11	0+420	IZQ.	0	1	2	3	4	24.00	18.00	12.00	6.00
12	0+460	IZQ.	0	1	3	5	7	42.00	36.00	24.00	12.00
13	0+500	IZQ.	0	0.5	1	2	5	30.00	27.00	24.00	18.00
14	0+540	IZQ.	0	1	2.5	5	7	42.00	36.00	27.00	12.00
15	0+580	IZQ.	0	0.5	1	2	4	24.00	21.00	18.00	12.00
16	0+620	IZQ.	0	1	2.0	3	10	60.00	54.00	48.00	42.00
17	0+660	IZQ.	0	0.5	1.0	2	4	24.00	21.00	18.00	12.00
18	0+700	IZQ.	0	1	2.0	3	6	36.00	30.00	24.00	18.00
19	0+740	IZQ.	0	1	2	2	5	30.00	24.00	21.00	18.00
20	0+780	IZQ.	0	0.5	2	2	4	24.00	21.00	12.00	12.00
21	0+820	IZQ.	0	1	1	2	4	24.00	18.00	18.00	12.00
22	0+860	IZQ.	0	1	2	3	4	24.00	18.00	12.00	6.00
23	0+900	IZQ.	0	0.5	1.0	2	5	30.00	27.00	24.00	18.00
24	0+940	IZQ.	0	1	2	4	6	36.00	30.00	24.00	12.00
25	0+980	IZQ.	0	1	2.0	4	6	36.00	30.00	24.00	12.00
26	1+020	IZQ.	0	1	3.0	4	6	36.00	30.00	18.00	12.00
27	1+060	IZQ.	0	1	2.0	3	4	24.00	18.00	12.00	6.00
28	1+100	IZQ.	0	1	2	4	5	30.00	24.00	18.00	6.00
29	1+140	IZQ.	0	1	2	3	5	30.00	24.00	18.00	12.00
30	1+180	IZQ.	0	1	2	3	6	36.00	30.00	24.00	18.00

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.4.4. Cálculo del Radio de Curvatura

Con el fin de realizar el análisis combinado de los resultados de la evaluación estructural, procedemos al cálculo del Radio de Curvatura de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$RC = 3125 / (D'0 - D'25) \text{ expresado en m}$$

Donde:

- $D'0$  = Deflexión corregida 0.
- $D'25$  = Deflexión corregida 25.

De la aplicación de la ecuación precedente, tenemos los siguientes resultados (Ver

Anexo C):

**Tabla 24: Radio de Curvatura – Margen Derecho**

ESTRUCTURA		:	PAVIMENTO FLEXIBLE									
CARRIL		:	DERECHO									
PROGRESIVA		:	KM: 0+000 AL 4+440									
TRAMO		:	ATUNCOLLA - SILLUSTANI									
N°	Progr. (km)	Lado	Deflexiones en Campo					Deflexiones Corr. (0.01 mm.)				RC (m)
			$L_0$	$L_{25}$	$L_{50}$	$L_{75}$	$L_{(MAX)}$	$D_0$	$D_{25}$	$D_{50}$	$D_{75}$	
1	0+000	DER.	0	1	4	6	8	48	42	24	12	520.8
2	0+040	DER.	0	1	3	5	6	36	30	18	6	520.8
3	0+080	DER.	0	1	2	5	6	36	30	24	6	520.8
4	0+120	DER.	0	1	2	3	4	24	18	12	6	520.8
5	0+160	DER.	0	1	2	5	7	42	36	30	12	520.8
6	0+200	DER.	0	1	3	4	6	36	30	18	12	520.8
7	0+240	DER.	0	2	3	4	5	30	18	12	6	260.4
8	0+280	DER.	0	1	1	5	7	42	36	36	12	520.8
9	0+320	DER.	0	0.5	1	2	3	18	15	12	6	1041.7
10	0+360	DER.	0	1	2	4	5	30	24	18	6	520.8
11	0+400	DER.	0	0.5	1	1.5	2	12	9	6	3	1041.7
12	0+440	DER.	0	1	3	6	8	48	42	30	12	520.8
13	0+480	DER.	0	0.5	1	2	3	18	15	12	6	1041.7
14	0+520	DER.	0	1	2	4	5	30	24	18	6	520.8
15	0+560	DER.	0	1	2	4	6	36	30	24	12	520.8
16	0+600	DER.	0	1	2	4	6	36	30	24	12	520.8
17	0+640	DER.	0	1	3	8	11	66	60	48	18	520.8
18	0+680	DER.	0	1	3	5	8	48	42	30	18	520.8
19	0+720	DER.	0	1	2	4	6	36	30	24	12	520.8
20	0+760	DER.	0	1	3	5	8	48	42	30	18	520.8
21	0+800	DER.	0	1	2	3	5	30	24	18	12	520.8
22	0+840	DER.	0	1	2	4	5	30	24	18	6	520.8
23	0+880	DER.	0	1	2	3	4	24	18	12	6	520.8
24	0+920	DER.	0	1	2	4	6	36	30	24	12	520.8
25	0+960	DER.	0	1	2	4	6	36	30	24	12	520.8
26	1+000	DER.	0	1	2	3	7	42	36	30	24	520.8
27	1+040	DER.	0	0.5	1	2	4	24	21	18	12	1041.7
28	1+080	DER.	0	1	2	3	5	30	24	18	12	520.8
29	1+120	DER.	0	1	2	3	4	24	18	12	6	520.8
30	1+160	DER.	0	1	2	2	3	18	12	9	3	520.8

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 25: Radio de Curvatura – Margen Izquierdo**

ESTRUCTURA		:	PAVIMENTO FLEXIBLE									
CARRIL		:	IZQUIERDO									
PROGRESIVA		:	KM: 0+000 AL 4+420									
TRAMO		:	ATUNCOLLA - SILLUSTANI									
Nº	Progr.	Lado	Deflexiones en Campo					Deflexiones Corr. (0.01 mm.)				RC (m)
	(km)		L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>(MAX)</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	
1	0+020	IZQ.	0	0.5	1	3	5	30.00	27.00	24.00	12.00	1041.7
2	0+060	IZQ.	0	1	2	3	4	24.00	18.00	12.00	6.00	520.8
3	0+100	IZQ.	0	1	2	3	5	30.00	24.00	18.00	12.00	520.8
4	0+140	IZQ.	0	1	3	4	6	36.00	30.00	18.00	12.00	520.8
5	0+180	IZQ.	0	1	3.0	4	7	42.00	36.00	24.00	18.00	520.8
6	0+220	IZQ.	0	1	3	5	7	42.00	36.00	24.00	12.00	520.8
7	0+260	IZQ.	0	1	2.0	3	5	30.00	24.00	18.00	12.00	520.8
8	0+300	IZQ.	0	1	2.0	3	4	24.00	18.00	12.00	6.00	520.8
9	0+340	IZQ.	0	1	2.0	4	5	30.00	24.00	18.00	6.00	520.8
10	0+380	IZQ.	0	1	2	3	5	30.00	24.00	18.00	12.00	520.8
11	0+420	IZQ.	0	1	2	3	4	24.00	18.00	12.00	6.00	520.8
12	0+460	IZQ.	0	1	3	5	7	42.00	36.00	24.00	12.00	520.8
13	0+500	IZQ.	0	0.5	1	2	5	30.00	27.00	24.00	18.00	1041.7
14	0+540	IZQ.	0	1	2.5	5	7	42.00	36.00	27.00	12.00	520.8
15	0+580	IZQ.	0	0.5	1	2	4	24.00	21.00	18.00	12.00	1041.7
16	0+620	IZQ.	0	1	2.0	3	10	60.00	54.00	48.00	42.00	520.8
17	0+660	IZQ.	0	0.5	1.0	2	4	24.00	21.00	18.00	12.00	1041.7
18	0+700	IZQ.	0	1	2.0	3	6	36.00	30.00	24.00	18.00	520.8
19	0+740	IZQ.	0	1	2	2	5	30.00	24.00	21.00	18.00	520.8
20	0+780	IZQ.	0	0.5	2	2	4	24.00	21.00	12.00	12.00	1041.7
21	0+820	IZQ.	0	1	1	2	4	24.00	18.00	18.00	12.00	520.8
22	0+860	IZQ.	0	1	2	3	4	24.00	18.00	12.00	6.00	520.8
23	0+900	IZQ.	0	0.5	1.0	2	5	30.00	27.00	24.00	18.00	1041.7
24	0+940	IZQ.	0	1	2	4	6	36.00	30.00	24.00	12.00	520.8
25	0+980	IZQ.	0	1	2.0	4	6	36.00	30.00	24.00	12.00	520.8
26	1+020	IZQ.	0	1	3.0	4	6	36.00	30.00	18.00	12.00	520.8
27	1+060	IZQ.	0	1	2.0	3	4	24.00	18.00	12.00	6.00	520.8
28	1+100	IZQ.	0	1	2	4	5	30.00	24.00	18.00	6.00	520.8
29	1+140	IZQ.	0	1	2	3	5	30.00	24.00	18.00	12.00	520.8
30	1+180	IZQ.	0	1	2	3	6	36.00	30.00	24.00	18.00	520.8

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.4.5. Cálculo de la deflexión Característica

Para el cálculo de la deflexión característica del pavimento evaluado, necesitamos de datos como la deflexión media, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Cabe precisar que la deflexión característica es única para todo el tramo en estudio; por tanto, los datos requeridos, detallados precedentemente, se calcularán con las deflexiones de ambos márgenes (derecho e izquierdo).



### a. Cálculo de la deflexión media

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

Donde:

- “n: Número total de medidas”.
- “Di: Deflexiones desde i=1 a i=n”.
- “ $\bar{D}$ : Deflexión media de n deflexiones”.

De la aplicación a la ecuación detallada obtenemos que la deflexión media o deflexión promedio es 34.34.

$$\bar{D} = 34.34$$

### b. Cálculo de la Desviación Estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

Donde:

- “ $\sigma$  = Desviación estándar”.
- “n: Número total de medidas”.
- “Di: Deflexiones desde i=1 a i=n”.
- “ $\bar{D}$ : Deflexión media de n deflexiones”.

De la aplicación a la ecuación detallada obtenemos que la desviación estándar es:

$$\sigma = 11.73$$

### c. Cálculo del Coeficiente de Variación

$$C.V. = \frac{\sigma}{\bar{D}} \times 100$$

Donde:



- “C.V. = Coeficiente de variación”.
- “ $\sigma$  = Desviación estándar”.
- “ $\bar{D}$  = Deflexión media”.

De la aplicación a la ecuación detallada obtenemos que el Coeficiente de Variación es:

$$C.V. = 34.16 \%$$

#### d. Cálculo de la deflexión Característica

$$D_c = \bar{D} + 1.282 (\sigma)$$

Donde:

- “ $D_c$  = Deflexión característica”.
- “ $\bar{D}$  = Deflexión media”.
- “ $\sigma$  = Desviación estándar”.

De la aplicación a la ecuación detallada obtenemos que la deflexión característica del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047), es:

$$D_c = 49.38 \text{ expresado en } \left(\frac{1}{100} mm\right)$$

A continuación, se presenta la Tabla 26, donde se resumen los parámetros calculados precedentemente:

**Tabla 26: Resumen – Deflexión Característica**

ITEMS	Dmax (1/100) mm	Radio de Curvatura
Promedio	34.34	608.41
Deflexión Característica	49.38	No tiene
Desviación Estándar	11.73	211.025
Coeficiente de Variación	34.16%	34.68%
Máximo	72	1041.66
Mínimo	12	260.41

**Fuente:** Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.4.6. Cálculo de la deflexión Admisible

“La deflexión admisible, corresponde a aquella que alcanza el pavimento al final del tiempo de diseño. Por lo tanto, esta deflexión se calcula considerando la solicitación de cargas para ese tiempo, representado en el valor  $N$  de ejes equivalentes acumulados hasta el último día de servicio” (Vilca y Cuba, 2020, p. 134).

$$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25}$$

Donde:

- “ $D_{adm}$  = Deflexión admisible en (1/100) mm (a comparar con deflexiones Viga Benkelman)”.
- “ $N$  = Número de ejes estándares equivalentes de 8.2 Tn acumulados en el periodo de diseño, expresado en millones”.

El valor de  $N$  calculado del estudio de tráfico para cada vía es 293 756.33 ESAL's (ver Anexo B). Por lo tanto, el valor de la deflexión admisible es:

$$D_{adm} = 140.75 \text{ expresado en } \frac{1}{100} \text{ mm.}$$

### 3.4.7. Cálculo de la deflexión Crítica

$$D_{CR} = \left(\frac{1.90}{N_{18}}\right)^{\frac{1}{5.3}}$$

Donde:

- “ $D_{CR}$ : Deflexión crítica en mm”.
- “ $N_{18}$ : Numero de repeticiones de ejes equivalentes en millones”.

De la aplicación a la ecuación detallada obtenemos que la deflexión crítica es:

$$D_{CR} = 142.3 \text{ expresado en } \frac{1}{100} \text{ mm.}$$

Finalmente, con los datos calculados en el presente capítulo, se procederá a realizar el análisis y discusión de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

### 3.5. TIPO DE INTERVENCION

El tipo de intervención, en aras de asegurar la transitabilidad y comodidad de los usuarios, se estableció en base a la metodología de análisis combinado planteada por el MTC<sup>8</sup> (2014).

Para ello, en primer lugar, se hizo un análisis del comportamiento de la subrasante en base a la deflexión característica y admisible del pavimento, estableciéndose si es “Bueno” o “Malo”; posterior a ello se hizo un análisis del comportamiento del pavimento en base al radio de curvatura estableciéndose si es “Bueno” o “Malo”, en base a la Tabla 10.

**Tabla 27:** Comportamiento de la Subrasante y del pavimento

Carretera	$D_{CA}$	$D_{adm}$	Rc	$D_{CA} \leq D_{adm}$	$RC \geq 100$	Comportamiento de Subrasante	Comportamiento del pavimento
PU-1047	49.13	104.75	608.41	Cumple	Cumple	Bueno	Bueno

**Fuente:** Elaborado por el equipo de trabajo

Finalmente, se determinó el tipo de intervención a realizar con ayuda de los parámetros detallados en la Tabla 27, situación que es especificada en el capítulo IV, numeral 4.4.

---

<sup>8</sup> Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos

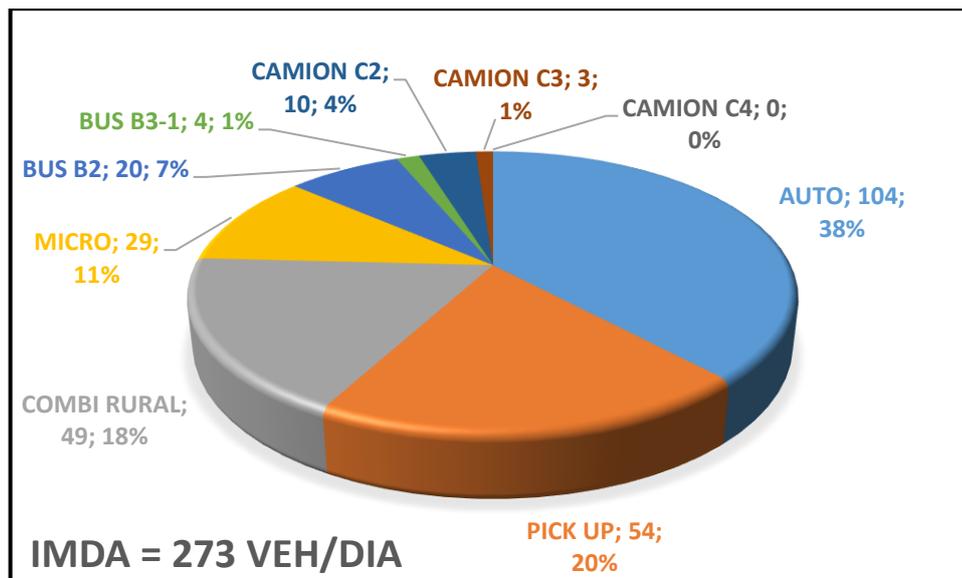
## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DE LA EVALUACION DE TRANSITO

La metodología utilizada para la determinación del tráfico, fue la establecida en el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos aprobada mediante Resolución Directoral n.º 18-2016-MTC/14 de 3 de junio de 2016.

El Índice Medio Diario Anual del tramo en estudio Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047) se calculó en 273 vehículos/día y se esquematiza en el siguiente grafico:



*Figura 34: Esquema del Índice Medio Diario Anual*

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

En razón a ello se obtuvo el número de ejes equivalentes conforme al siguiente detalle (ver Anexo 2):

*Tabla 28: ESAL calculado*

Descripción	Valor
ESAL (periodo de diseño 10 años)	293 756.33

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

## 4.2. RESULTADOS DE LA EVALUACION ESTRUCTURAL

Para la evaluación estructural en base a las mediciones obtenidas con Viga Benkelman, se usó la metodología propuesta en el Manual de Ensayo de Materiales – 2017, aprobado mediante Resolución Directoral n.º 18-2016-MTC/14 de 3 de junio de 2016 y lo establecido en el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos aprobada mediante Resolución Directoral n.º 18-2016-MTC/14 de 3 de junio de 2016; los que a su vez refieren como metodología de análisis al método del CONREVIAl.

De la aplicación de las relaciones matemáticas propuestas por las metodologías previamente detalladas, se obtuvo los siguientes datos (ver Anexo 3):

**Tabla 29: Análisis Deflectométrico Margen Derecho**

ESTRUCTURA		:	PAVIMENTO FLEXIBLE												
CARRIL		:	DERECHO												
PROGRESIVA		:	KM: 0+000 AL 4+440												
TRAMO		:	ATUNCOLLA - SILLUSTANI												
Nº	Progr.	Lado	Deflexiones en Campo					Deflexiones Corr.		D Carac.	D Adm.	$D_{CA} \leq D_{adm}$	RC	$RC \geq V_{min}$ ( $V_{min} = 80m$ )	
	(km)		L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L(MAX)	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>CA</sub>	D <sub>adm</sub>	(m)			
1	0+000	DER.	0	1	4	6	8	48	42	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
2	0+040	DER.	0	1	3	5	6	36	30	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
3	0+080	DER.	0	1	2	5	6	36	30	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
4	0+120	DER.	0	1	2	3	4	24	18	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
5	0+160	DER.	0	1	2	5	7	42	36	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
6	0+200	DER.	0	1	3	4	6	36	30	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
7	0+240	DER.	0	2	3	4	5	30	18	49.38	140.75	CUMPLE	260.4	CUMPLE	
8	0+280	DER.	0	1	1	5	7	42	36	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
9	0+320	DER.	0	0.5	1	2	3	18	15	49.38	140.75	CUMPLE	1041.7	CUMPLE	
10	0+360	DER.	0	1	2	4	5	30	24	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
11	0+400	DER.	0	0.5	1	1.5	2	12	9	49.38	140.75	CUMPLE	1041.7	CUMPLE	
12	0+440	DER.	0	1	3	6	8	48	42	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
13	0+480	DER.	0	0.5	1	2	3	18	15	49.38	140.75	CUMPLE	1041.7	CUMPLE	
14	0+520	DER.	0	1	2	4	5	30	24	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
15	0+560	DER.	0	1	2	4	6	36	30	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
16	0+600	DER.	0	1	2	4	6	36	30	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
17	0+640	DER.	0	1	3	8	11	66	60	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
18	0+680	DER.	0	1	3	5	8	48	42	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
19	0+720	DER.	0	1	2	4	6	36	30	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
20	0+760	DER.	0	1	3	5	8	48	42	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
21	0+800	DER.	0	1	2	3	5	30	24	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
22	0+840	DER.	0	1	2	4	5	30	24	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 30: Análisis Deflectométrico Margen Izquierdo**

ESTRUCTURA		:	PAVIMENTO FLEXIBLE												
CARRIL		:	IZQUIERDO												
PROGRESIVA		:	KM: 0+000 AL 4+420												
TRAMO		:	ATUNCOLLA - SILLUSTANI												
N°	Progr.	Lado	Deflexiones en Campo					Deflexiones Corr.		D Carac.	D Adm.	$D_{CA} \leq D_{adm}$	RC	$RC \geq V_{min}$ ( $V_{min} = 80m$ )	
	(km)		L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>(MAX)</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>CA</sub>	D <sub>adm</sub>		(m)		
1	0+020	IZQ.	0	0.5	1	3	5	30.00	27.00	49.38	140.75	CUMPLE	1041.7	CUMPLE	
2	0+060	IZQ.	0	1	2	3	4	24.00	18.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
3	0+100	IZQ.	0	1	2	3	5	30.00	24.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
4	0+140	IZQ.	0	1	3	4	6	36.00	30.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
5	0+180	IZQ.	0	1	3.0	4	7	42.00	36.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
6	0+220	IZQ.	0	1	3	5	7	42.00	36.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
7	0+260	IZQ.	0	1	2.0	3	5	30.00	24.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
8	0+300	IZQ.	0	1	2.0	3	4	24.00	18.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
9	0+340	IZQ.	0	1	2.0	4	5	30.00	24.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
10	0+380	IZQ.	0	1	2	3	5	30.00	24.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
11	0+420	IZQ.	0	1	2	3	4	24.00	18.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
12	0+460	IZQ.	0	1	3	5	7	42.00	36.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
13	0+500	IZQ.	0	0.5	1	2	5	30.00	27.00	49.38	140.75	CUMPLE	1041.7	CUMPLE	
14	0+540	IZQ.	0	1	2.5	5	7	42.00	36.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
15	0+580	IZQ.	0	0.5	1	2	4	24.00	21.00	49.38	140.75	CUMPLE	1041.7	CUMPLE	
16	0+620	IZQ.	0	1	2.0	3	10	60.00	54.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
17	0+660	IZQ.	0	0.5	1.0	2	4	24.00	21.00	49.38	140.75	CUMPLE	1041.7	CUMPLE	
18	0+700	IZQ.	0	1	2.0	3	6	36.00	30.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
19	0+740	IZQ.	0	1	2	2	5	30.00	24.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
20	0+780	IZQ.	0	0.5	2	2	4	24.00	21.00	49.38	140.75	CUMPLE	1041.7	CUMPLE	
21	0+820	IZQ.	0	1	1	2	4	24.00	18.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	
22	0+860	IZQ.	0	1	2	3	4	24.00	18.00	49.38	140.75	CUMPLE	520.8	CUMPLE	

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

El análisis deflectométrico presentado en las tablas 24 y 25, considerando las deflexiones promedio, se resumen de la siguiente manera (ver Tabla 31):

**Tabla 31: Resumen – Deflexión Característica y Radio de Curvatura**

SECCIÓN	PROGRESIVA		DEFLEXIÓN Y RADIO DE CURVATURA			
	INICIO	FINAL	D'0 PROM	D'25 PROM	D CARACTERISTICA	RADIO DE CURVATURA
ATUNCOLLA – SILLUSTANI (PU-1047)	0+000	4+440	34.33	28.5	49.13	608.41

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 32:** Comparación deflexión característica vs deflexión admisible

SECCIÓN	D característica	D admisible	$D_{CA} \leq D_{adm}$
ATUNCOLLA – SILLUSTANI (PU- 1047)	$49.13 \times 10^{-2}$	$140.75 \times 10^{-2}$	CUMPLE

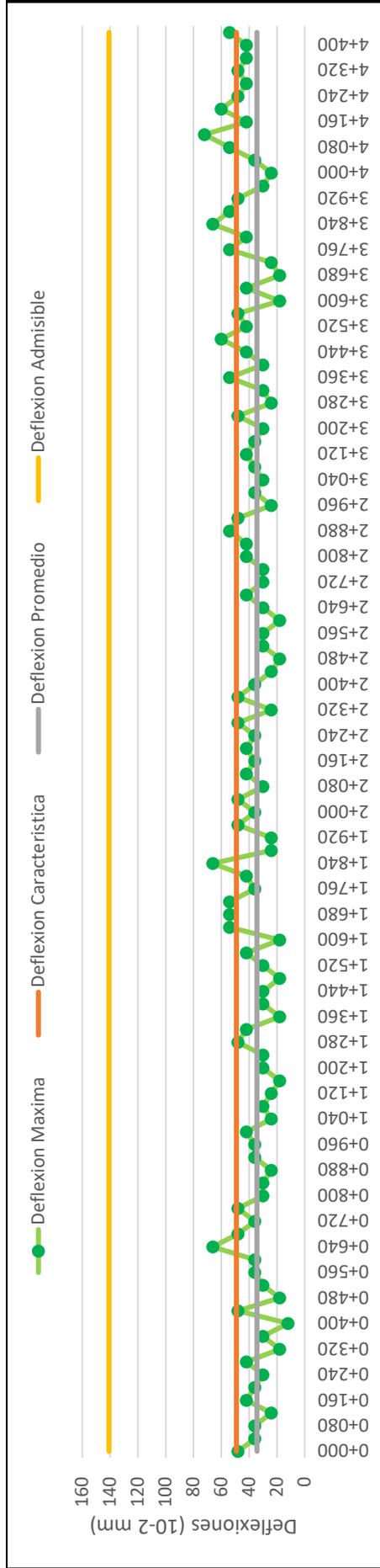
*Fuente:* Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 33:** Comparación Radio de Curvatura y valor mínimo

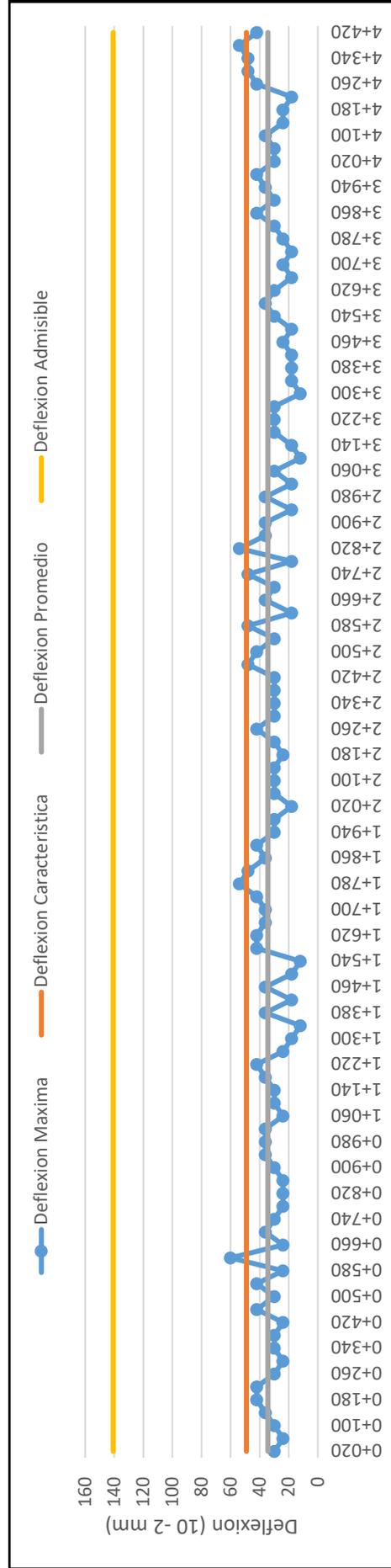
SECCIÓN	Radio de Curvatura	Valor Mínimo	$RC \geq V_{min}$
ATUNCOLLA – SILLUSTANI (PU-1047)	608.41	80	CUMPLE

*Fuente:* Elaborado por el equipo de trabajo

Es importante indicar que, el análisis deflectométrico desarrollado en las Tablas 32 y 33, se evidencia en los “Deflectogramas” (ver Anexo 3), gráficos que son presentados en las figuras 35 y 36:



**Figura 35: Deflectograma – Margen Derecho**  
**Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo**



**Figura 36: Deflectograma – Margen Izquierdo**  
**Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo**



De las tablas e imágenes precedentes, podemos indicar que la carretera evaluada presenta deflexiones características por debajo de las deflexiones admisibles (aquellas que alcanza el pavimento al final del periodo de diseño), y, su radio de curvatura es superior a 80 m. (como exige la normativa peruana)<sup>9</sup>; por lo que, el comportamiento de la sub rasante y el pavimento estarían en la condición de “Bueno”.

#### 4.3. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

Para la verificación del cumplimiento de objetivos, se va a detallar los dos objetivos específicos y el objetivo general planteado.

##### a. Primer objetivo específico

El objetivo específico planteado y su respectiva hipótesis se detallan a continuación:

- ❖ Objetivo Especifico 1: Determinar las cargas de tránsito de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047).
- ❖ Hipótesis Especifica 1: Las cargas de tránsito en la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047), tienen un IMDA superior a 401 veh/día, correspondiente a una carretera de segunda clase.

Con el fin de verificar la hipótesis, utilizamos la prueba estadística “t” Student para una muestra, considerando lo siguiente:

- Hipótesis nula;  $H_0: \mu_d \geq 0$ : el promedio de las diferencias del IMDA estimado (401) con el IMDA calculado es mayor o igual a cero.
- Hipótesis alterna;  $H_0: \mu_d < 0$ ; el promedio de las diferencias del IMDA estimado (401) con el IMDA calculado es menor a cero.
- Nivel de confianza del 95% o un riesgo del 5%  $\alpha=0.05$

<sup>9</sup> Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos aprobada mediante Resolución Directoral n.° 18-2016-MTC/14 de 3 de junio de 2016.

**Tabla 34:** Prueba “t” student para el Objetivo Especifico 1

Prueba para una muestra						
	Estadístico t	Grados de Libertad	Sig. cola a la derecha	Media de la diferencia	Desviación Estándar	Significancia
IMDA	11.82452921	6	-1.9431802	141	31.54890384	0.999988943

*Fuente:* Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 34, obtenemos una significancia mayor a  $\alpha=0.05$ , entonces se acepta la hipótesis nula: “El promedio de las diferencias del IMDA estimado (401) con el IMDA calculado es mayor o igual a cero”, de lo que se coligue que el IMDA calculado es menor al IMDA estimado (401 veh/día).

Si se cumplió el objetivo planteado, puesto que del aforo vehicular realizado la semana del 8 al 14 de junio de 2020, se calculó el IMDA, donde se estableció que el tramo en estudio es una carretera de tercera clase, y subsecuentemente el número de ejes equivalentes - ESAL, el que asciende a 293 756.33, dato que nos sirvió para la evaluación estructural.

#### **b. Segundo objetivo específico**

- Objetivo Especifico 2: Calcular la deflexión característica y admisible del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047).
- Hipótesis Especifica 2: La deflexión admisible del pavimento calculada con el IMDA, según el Manual de Carreteras, es menor a la deflexión característica del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047).

Con el fin de verificar la hipótesis y por la diversidad de datos, utilizamos la prueba estadística “t” Student para una muestra, considerando lo siguiente:

- Hipótesis nula;  $H_0: \mu_d \leq 0$ : el promedio de las diferencias de la deflexión admisible con la deflexión característica es menor o igual a cero.
- Hipótesis alterna;  $H_0: \mu_d > 0$ ; el promedio de las diferencias de la deflexión admisible con la deflexión característica es mayor a cero.
- Nivel de confianza del 95% o un riesgo del 5%  $\alpha=0.05$

**Tabla 35:** Prueba “t” student para el Objetivo Especifico 2

Prueba para una muestra						
	Estadístico t	Grados de Libertad	Sig. cola a la derecha	Media de la diferencia	Desviación Estándar	Significancia
Margen Derecho	88.22403909	111	1.658697265	103.357143	12.39831225	6.2267E-105
Margen Izquierdo	113.9221581	110	1.658824187	109.5067568	10.1273123	2.6861E-116

*Fuente:* Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 35, obtenemos una significancia menor a  $\alpha=0.05$ , entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna: “El promedio de las diferencias de la deflexión admisible con la deflexión característica es mayor a cero”, de lo que se coligue que la deflexión característica es menor a la deflexión admisible.

Sí se cumplió el objetivo planteado, puesto que se determinó la deflexión característica y la deflexión admisible; donde la primera resultado ser menor a la segunda.

### c. Objetivo General

- Objetivo General: Evaluar la capacidad estructural para soportar cargas de tránsito del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047).
- Hipótesis General: La capacidad estructural del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047) es mala, por lo que se necesitara un refuerzo estructural.

La presente hipótesis se verificó con el logro de los dos objetivos específicos desarrollados, con la determinación de las cargas de tránsito, la deflexión característica y admisible y el radio de curvatura, se advirtió que la estructura del pavimento y la subrasante del tramo en estudio es de calidad “Buena”, por lo que la capacidad estructural del pavimento de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047), estaría en la condición de “Bueno”.

En ese sentido de acuerdo al Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, correspondería corregir las fallas de origen superficial, toda vez que no se advierte la presencia de insuficiencia o fallas de carácter estructural.

Se cumplió con el objetivo general de evaluar la capacidad estructural del pavimento mediante la metodología de la deflectometría, para ello se hizo uso de la viga Benkelman y el aforo vehicular, cuyos resultados fueron corroborados estadísticamente.

#### 4.4. ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Considerando los resultados obtenidos respecto a la deflexión característica, deflexión media y radio de curvatura, detallados en las tablas 31, 32 y 33, podemos determinar mediante la siguiente tabla el tipo de intervención a realizarse:

**Tabla 36:** Medidas Correctivas Viga Benkelman

Hipótesis	Datos Deflectométricos Obtenidos		Capacidad Estructural		Necesidad de Estudios Complementarios	Criterio de Cálculo para Refuerzo	Medidas Correctivas
	$D_c < D_a$	$R_o > 100$					
I	$D_c < D_a$	$R_o > 100$	Buena		NO		Solo Correcciones de Superficie
II	$D_c > D_a$	$R_o > 100$	Si $D_p < 3D_{adm}$	Regular	NO	Deflectométrico	Refuerzo (*)
			Si $D_p > 3D_{adm}$	Mala	SI	Deflectométrico, Resistencia	Refuerzo (*) o Reconstrucción
III	$D_c < D_a$	$R_o < 100$	Regular a Mala		SI	Deflectométrico, Resistencia	Refuerzo (*) o Reconstrucción
V	$D_c > D_a$	$R_o < 100$	Mala		SI	Resistencia	Refuerzo (*) o Reconstrucción

Fuente: (Vilca & Cuba, 2020)



Es de precisar que la tabla 36, es concordante con lo establecido en el apartado sobre “análisis combinado de los resultados de la evaluación” del Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. (Véase Tabla 9).

Conforme a las tablas referidas el primer párrafo de este numeral, se advierte que la deflexión característica del pavimento es menor a la deflexión admisible y el Radio de Curvatura es superior a 100 metros; por tanto, el tipo de intervención a realizarse será: **“Solo Correcciones de Superficie”**.

#### **4.5. DISCUSION**

En la presente investigación, como se detalló precedentemente, la deflexión característica del tramo es inferior a la deflexión admisible, lo que indica una buena subrasante. Asimismo, los radios de curvatura son grandes (mayores a 100 m.) lo que se interpreta como un pavimento de condición bueno; sin embargo, se advierten fallas superficiales en el pavimento, razón por la cual, este trabajo recomienda correcciones de superficie para evitar el deterioro de la carretera.

Respecto a los antecedentes internacionales, Carrasco & Vizhñay (2019) indican que la clasificación de secciones realizada a partir del valor de su CBR, varía entre inadecuada, pobre y regular, a excepción de las secciones 2 y 9, las cuales se clasifican como muy buena y buena respectivamente; en estas dos secciones, las deflexiones máximas medidas con la viga Benkelman resultaron ser de las más bajas con valores de 0,484 mm para la sección 2 y de 0,481 mm para la sección 9 y ninguna de ellas requiere de un refuerzo estructural según el método de la AASHTO.

Al respecto, Paredes (2019) sostiene que del análisis a todas las deflexiones del tramo concluye que el 100.00% tiene un comportamiento de Subrasante BUENO, considerando el radio de curvatura tiene un comportamiento estructural del Pavimento



BUENO en un 46.67% y malo en el 53.33%, es decir poseen un buen comportamiento estructural de Subrasante y un mal comportamiento estructural del pavimento.

En ese sentido, de las conclusiones de los dos trabajos de investigación evidenciamos que las deflexiones calculadas en campo se relacionan directamente con el comportamiento de la subrasante y el CBR, y el radio de curvatura con el comportamiento del pavimento; dándonos habida cuenta que estos resultados guardan relación con lo establecido en nuestro proyecto de investigación.

Respecto a los antecedentes nacionales, Vidaurre (2018) indica que el Jr. José Santos Chocano del Distrito de los Olivos presenta actualmente un comportamiento estructural de mala calidad. Debido a que la deflexión promedio ( $64.9 \times 10^{-2}$  mm) es mayor a la deflexión admisible ( $51.80 \times 10^{-2}$  mm).

En la misma línea Meza (2017) sostiene que, de acuerdo a los cálculos realizados, la deflexión característica del pavimento que se obtuvo es  $75 \text{ mm}^{-2}$  y es mayor a la deflexión admisible que es  $64 \text{ mm}^{-2}$ , por lo tanto, podemos concluir que existen fallas de origen estructural en el pavimento en estudio.

Asimismo, Cubas (2017) determina que el comportamiento estructural del pavimento flexible via Evitamiento Sur - Cajamarca, es malo debido a que la deflexión admisible y crítica es inferior a la deflexión característica. Cabe aclarar que estos 3 antecedentes nacionales estudian pavimentos flexibles de ámbito urbanos.

Por otro lado, Fernandez (2020) concluye que el comportamiento estructural del pavimento flexible Cajamarca – Celendin – Balsas, es bueno, debido a que la deflexión característica es menor que las deflexiones admisibles y críticas; y el radio de curvatura es mayor que el mínimo (100 m.), es de precisar que el tramo evaluado pertenece a la red vial nacional.



Respecto a los antecedentes regionales, Vilca & Cuba (2020) concluyen estadísticamente que los valores de la deflexión característica de las Avenidas Floral y El Sol, superan los valores de deflexión admisible para cada calzada, infiriendo que la deflexión y condición superficial del pavimento están en malas condiciones. Cabe precisar que este trabajo de investigación es sobre pavimentos flexibles de ámbito urbano.

Asimismo, Ramos (2017) sostiene que se obtuvo los valores de deflexión característica promedio de:  $69.22 \times 10^{-2}$  mm y radio de curvatura de 199.37m en el carril derecho;  $65.53 \times 10^{-2}$  mm y radio de curvatura de 197.39m en el carril izquierdo, lo que nos indica que las deflexiones características no superan la deflexión admisible la cual es de  $127.5 \times 10^{-2}$  mm, lo que conlleva a entender que el pavimento está en buenas condiciones en lo que se refiere a los controles deflectométricos, el trabajo corresponde a un tramo de la red vial departamental.

En síntesis, la metodología usada y la forma de análisis es similar en todos los trabajos de investigación, incluido el propio. Sin embargo, los autores citados que desarrollaron el estudio en pavimentos flexibles que no pertenecen al ámbito urbano, como es el caso del presente trabajo de investigación cuyo tramo evaluado pertenece a la red vial vecinal, concluyen resultados similares en cuanto a la capacidad estructural al precisar que el comportamiento estructural de los pavimentos es “bueno”.



## V. CONCLUSIONES

1. Las cargas de tránsito actuales y futuras se determinaron con la aplicación de la metodología propuesta en el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos aprobado aprobada mediante Resolución Directoral n.º 18-2016-MTC/14 de 3 de junio de 2016, obteniendo un IMDA de 273 vehículos por día, siendo así considerado, el tramo en estudio, una carretera de tercera clase.
2. Del cálculo de deflexiones mediante el ensayo MTC -1002 “Medida de la deflexión de un pavimento flexible empleando la Viga Benkelman”; la deflexión característica resulto ser menor a la deflexión admisible (aquella que alcanza el pavimento al final del tiempo de diseño) y el radio de curvatura es superior a ochenta (80) metros; lo que indica que el comportamiento del pavimento y la subrasante son buenos.
3. El comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani es “bueno”, conforme a los parámetros de deflexión y radio de curvatura; sin embargo, al existir patologías presentes en el tramo en estudio, corresponde corregir las fallas de origen superficial.



## VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar una evaluación superficial a la carretera Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani, con el fin de definir el tipo de patologías presentes y el tipo de intervención a adoptar en aras de contribuir con el desarrollo y reactivación económica del país.
2. Se recomienda el uso de equipos de protección personal en todo momento de la ejecución de ensayos o trabajos de campo, por nuestra integridad personal y moral; más aún en estos tiempos de pandemia en el que cualquier ciudadano de a pie es vulnerable.
3. Se recomienda implementar los mecanismos de evaluación estructural y superficial en los gobiernos locales y regionales, como una política de gestión de la infraestructura vial, en contribución con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
4. Se recomienda propiciar nuevas metodologías de evaluación estructural como el deflectómetro de impacto (FWD) o el Dynaflect, que permiten obtener y evaluar mayores parámetros de una forma más eficiente y dinámica.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, L. (2018). “Evaluación del deterioro del pavimento con método del índice de condición de pavimentos en la av. La cultura, distrito de laredo, provincia de trujillo, 2018”. Trujillo: Universidad Privada de Trujillo.
- Arias, F. (2012). El Proyecto de Investigacion - Introduccion a la Metodologia Cientifica. Caracas: EDITORIAL ESPISTEME C.A.
- Balarezo, J. (2017). Evaluación estructural usando viga benkelman aplicada a un pavimento. Piura: Universidad de Piura.
- Carrasco, S., & Vizhñay, C. (2019). Evaluación estructural vial para Azogues mediante el analisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Chambi, F. (2021). Modelo de gestión de conservación vial para reducir costos de mantenimiento vial y operación vehicular en la carretera Juliaca – Lampa, aplicando el programa HDM-4. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Chang, C. (4 de mayo de 2010). Evaluación de pavimentos: criterios y aplicaciones. Obtenido de <https://revistavial.com/evaluacion-de-pavimentos-criterios-y-aplicaciones-26154/#:~:text=>
- Choque, J. (2019). Estudio comparativo del método PCI y el manual de conservación vial MTC en la evaluación superficial de pavimento flexible, tramo EMP.PE-3S - Atuncolla, 2017. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Coila, O., & Ticona, W. (2021). Análisis comparativo de los métodos PCI y VIZIR en la evaluación de la fallas del pavimento flexible de la carretera Atuncolla - Complejo Arqueologico Sillustani - Puno, 2021. Lima: Universidad Cesar Vallejo.



- Cruz, O., & Ocaña, F. (2019). Evaluación estructural de pavimentos flexibles construidos en la localidad de Usme utilizando el deflectómetro de impacto FWD. Bogotá: Universidad Santo Tomas.
- Cubas, R. (2017). Comportamiento estructural del pavimento flexible en la via de evitamiento sur – Cajamarca utilizando las deflexiones medidas con la viga Benkelman. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Diaz, S. (2016). Factores Que Influyen En El Deterioro Del Pavimento Flexible De La Avenida Universitaria Del Cantón Babahoyo De La Provincia De Los Ríos. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Encalada, J., & Galecio, S. (2021). Evaluación Estructural del Pavimento Flexible en la Carretera Piura – Catacaos del km 133+500 al km 137+500 por Medio de la Viga Benkelman Para Formular un Plan de Mantenimiento. Piura: Universidad Nacional de Piura.
- Escobar, P., & Bilbao, J. (2020). Investigacion y Educacion Superior. Estados Unidos: LULU.COM.
- Fernandez, M. (2020). Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Cajamarca-Celendín Balsas, tramo Chaquilpampa-Santa Rosa de Chaquil, mediante el análisis deflectométrico. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Hernández, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2014). Metodologia de la Investigacion. Mexico: Mc Graw - Hill.
- Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No



- Destructivos). Lima: Louis Berger Internacional inc. LAGESA Ingenieros Consultores.
- Julca, M. (2019). Análisis de la Confiabilidad del Ensayo de Viga Benkelman para Establecer la Condición Estructural del Pavimento de la Av. El Sol del Distrito de Ate, 2019. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Leguía, P., & Pacheco, H. (2016). Evaluación superficial del pavimento flexible por el método pavement condition index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima). Lima: Universidad de San martin de Porres.
- Masselli, G., & Paiva, C. (2019). Influencia de la deflexión superficial en pavimentos flexibles con subrasante de baja resistencia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 613-624.
- Medina Palacios, A., & De la Cruz Puma, M. (2015). Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Medina, J., & Motta, I. (2015). *Mecanica dos pavimentos*. Rio de Janeiro: Interciência Ltda.
- Meza, H. (2017). Evaluación deflectométrica obtenida con la viga Benkelman y diseño de estructuras de pavimentos por el metodo AASHTO 2008 en la avenida Hartley del distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa. Arequipa: Universidad Católica de Santa Maria.
- Minaya, S., & Ordoñez, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. Lima: ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia.



- MINCETUR. (2011). Guia para la formulacion de proyectos de inversion exitosos. Lima: Editorial Arkabas.
- Montejo, A. (2002). Ingenieria de pavimentos para carreteras. Bogotá: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- MTC. (2014). Manual de Carreteras, Suelos, Geologia, Geotecnia y Pavimentos. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC. (2017). Manual de Ensayo de Materiales. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Paredes, J. (2019). Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la via: Cevallos-Quero en el tramo km 5+800 al km 9+100 de la provincia de Tungurahua. Ambato: Universidad Tecnica de Ambato.
- Ramos, W. (2017). Evaluación del estado del pavimento por deflectometría e Indice de Rugosidad Internacional de la carretera: Puno – Vilque – Mañazo – 4Km críticos - 2015. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Silva, J. (2019). Evaluación visual y estructural del pavimento flexible de la urbanizacion Los Jardines, Barranca-2017. Huaraz: Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo".
- Silva, O. (2020). Obtenido de Comunidad 360 en Concreto: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/durabilidad-fibras-de-acero-para-pavimentos-de-concreto>
- Thenoux, G., & Gaete, R. (2019). Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico. Ingenieria de Construccion, 22.



- Vidaurre, B. (2018). Evaluación para la reconstrucción del Pavimento Flexible del Jr. José Santos Chocano del Distrito de los Olivos - Lima 2018. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Vilca, R., & Cuba, A. (2020). Evaluación superficial en pavimentos flexibles aplicando la metodología PCI, IRI y deflectometría en las Avs. Floral y El Sol de la ciudad de Puno 2019. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Yarango, E. (2014). Rehabilitación de la carretera de acceso a la sociedad minera Cerro Verde (S.M.C.V) desde la prog. Km 0+000 hasta el km 1+900, en el distrito de Uchumayo, Arequipa, Arequipa. Empleando el sistema Bitufor para reducir la reflexión de grietas y prolongar la vida útil del pavimento . Lima: Universidad Ricardo Palma.



## ANEXOS

**ANEXO 1:** Matriz de Consistencia y operacionalización de las Variables

**ANEXO 2:** Estudio de Transito

**ANEXO 3:** Calculo de las deflexiones con Viga Benkelman

**ANEXO 4:** Certificado de Calibración Viga Benkelman

**ANEXO 5:** Tratamiento Estadístico

**ANEXO 6:** Panel Fotográfico