

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRÍA Y LA RUGOSIDAD DEL  
PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD  
VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI – AV.  
TARAPACÁ – TACNA, 2019”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. MIGUEL SAMIR JINCHUÑA ALANOCA**

**TACNA – PERÚ**

**2020**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRÍA Y LA RUGOSIDAD DEL  
PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD  
VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI – AV.  
TARAPACÁ – TACNA, 2019”**

Tesis sustentada y aprobada el 2020, estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE:**

:



---

**MTRO. EDGAR HIPÓLITO CHAPARRO QUISPE**

**SECRETARIO**

:



---

**MTRO. ERICK FREDY CALDERÓN LOZANO**

**VOCAL**

:



---

**MTRO. ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERÓN JUÁREZ**

**ASESOR**

:



---

**MAG. ING. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Miguel Samir Jinchuña Alanoca, en calidad de: Bachiller en Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 71898281.

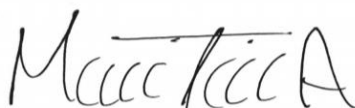
Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada: **“EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRÍA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI – AV. TARAPACÁ – TACNA, 2019”** la misma que presento para optar: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, del 2020



---

Bach. MIGUEL SAMIR JINCHUÑA ALANOCA  
DNI. 71898281

## **Dedicatoria**

La presente tesis se la dedico a mis padres *Néstor y Maribel*, por su inmenso cariño e invaluable amor, sacrificio y aliento de superación que siempre me brindaron incondicionalmente.

**A** mi esposa e hijo *Melisa y Samir André* que siempre estuvieron ahí apoyándome y alentándome para que alcance nuevas metas en mi vida profesional.

**A** mi hermano *jhon* que siempre estuvo aconsejándome y apoyándome para que cumpla con mis objetivos.

## **Agradecimiento**

Le agradezco a Dios por cuidarme y mantener la fe. Siempre estas presente y alegras mi corazón.

A la UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA y a todos los ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por compartir todos sus conocimientos libremente a lo largo de toda mi carrera profesional.

Gracias al Ing. Pedro Valeriano Maquera Cruz, por su apoyo en la culminación de la presente tesis.

## ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.1. Descripción del problema.....	12
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Justificación e importancia de la investigación. ....	15
1.4. Objetivos .....	16
1.4.1 Objetivo General .....	16
1.4.2 Objetivos Específicos.....	16
1.5. Hipótesis .....	16
1.5.1 Hipótesis General .....	16
1.5.2 Hipótesis Específicos .....	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes del estudio.....	18
2.2. Bases teóricas .....	21
2.3. Definición de términos .....	51
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	52
3.1. Tipo y diseño de la investigación .....	52
3.2. Población y/o muestra de estudio.....	52
3.3. Operacionalización de variables .....	52
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	54
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	54
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	55
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....	75
CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES .....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
ANEXOS	
ANEXO 1: Resultados de las deflexiones .....	83
ANEXO 2: Panel fotográfico - rugosímetro de MERLIN .....	85
ANEXO 3: Panel fotográfico - evaluación por deflectometría.....	87
ANEXO 4: Planos Ubicación - Localización y zonas de ensayo .....	89
ANEXO 5: Matriz de Consistencia.....	92

## INDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA N° 01: Zona de investigación 1.50 km .....	13
FIGURA N° 02: Zona de investigación, Av. Billinghamurst.....	13
FIGURA N° 03: Zona de investigación, condición del pavimento flexible.....	14
FIGURA N° 04: Fallas en pavimento flexible.....	24
FIGURA N° 05: Estructura basica de un pavimento flexible.....	26
FIGURA N° 06: Estructura basica de un pavimento rígido.....	26
FIGURA N° 07: Curva de comportamiento del pavimento.....	29
FIGURA N° 08: Curva de deterioro del pavimento.....	29
FIGURA N° 09: Curva de deterioro del pavimento.....	29
FIGURA N° 10: Costos relativos de mantenimiento preventivo.....	30
FIGURA N° 11: Deflexión del pavimento asfaltico .....	32
FIGURA N° 12: Esquema y principio de funcionamiento de la viga benkelman..	36
FIGURA N° 13: Configuración geometrica del sistema de carga.....	37
FIGURA N° 14: Esquema del proceso de medición.....	38
FIGURA N° 15: Grafico deflexiones admisibles.....	41
FIGURA N° 16: Significado cualitativo de los tipos de deflexiones.....	44
FIGURA N° 17: Uso del rugosimetro de MERLIN.....	47
FIGURA N° 18: Partes principales del rugosimetro de MERLIN.....	48
FIGURA N° 19: Detalles del rugosimetro de MERLIN.....	48
FIGURA N° 20: Formato para determinar la dispersión de las desviaciones....	49
FIGURA N° 21: Hoja de campo.....	50
FIGURA N° 22: Histograma de distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones.....	51
FIGURA N° 23: Distribución de frecuencia corregido, tramo 01.....	55
FIGURA N° 24: Distribución de frecuencia corregido, tramo 02.....	56
FIGURA N° 25: Distribución de frecuencia corregido, tramo 03.....	57
FIGURA N° 26: Distribución de frecuencia corregido, tramo 01.....	58
FIGURA N° 27: Distribución de frecuencia corregido, tramo 02.....	59
FIGURA N° 28: Distribución de frecuencia corregido, tramo 03.....	60
FIGURA N° 29: Curvas de deflexiones del margen derecho tramo 01.....	68
FIGURA N° 30: Curvas de deflexiones del margen izquierdo tramo 02.....	69
FIGURA N° 31: Deflectograma de la Av. Billinghamurst.....	74
FIGURA N° 32: Análisis comparativo de las deflexiones .....	77

## INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 01: Distancia del punto de ensayo.....	36
Tabla N° 02: Definición de deflexión característica.....	42
Tabla N° 03: Condiciones de pavimentos.....	45
Tabla N° 04: Corrección por estacionalidad.....	46
Tabla N° 05: Datos de campo de rugosidad, carril derecho T-1.....	55
Tabla N° 06: Datos de campo de rugosidad, carril derecho T-2.....	56
Tabla N° 07: Datos de campo de rugosidad carril derecho T-3.....	57
Tabla N° 08: Datos de campo de rugosidad carril izquierdo T-1.....	58
Tabla N° 09: Datos de campo de rugosidad carril izquierdo T-2.....	59
Tabla N° 10: Datos de campo de rugosidad carril izquierdo T-3.....	60
Tabla N° 11: Rugosidad con MERLIN, tramo 1, ensayo 1.....	61
Tabla N° 12: Rugosidad con MERLIN, tramo 1, ensayo 2.....	62
Tabla N° 13: Rugosidad con MERLIN, tramo 1, ensayo 3.....	63
Tabla N° 14: Rugosidad con MERLIN, tramo 2, ensayo 1.....	64
Tabla N° 15: Rugosidad con MERLIN, tramo 2, ensayo 2.....	65
Tabla N° 16: Rugosidad con MERLIN, tramo 2, ensayo 3.....	66
Tabla N° 17: Resultados corregidos por T <sup>0</sup> derecho, tramo 1.....	68
Tabla N° 18: Resultados corregidos por T <sup>0</sup> derecho, tramo 2.....	69
Tabla N° 19: Resultados deflectometría margen derecho.....	71
Tabla N° 20: Resultados deflectometría margen izquierdo.....	72
Tabla N° 21: Evaluaciones de la deflectometría margen derecho e izquierdo..	73
Tabla N° 22: Resumen cálculo de la rugosidad.....	75
Tabla N° 23: Determinación del estado y transitabilidad del pavimento.....	75
Tabla N° 24: Análisis de los resultados por deflectometría.....	76



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación realiza una evaluación estructural y superficial de las fallas en el pavimento asfáltico en la avenida Billingham, el tramo evaluado tiene la longitud aproximada de 1,500.00 metros y un ancho de calzada de 6.60 metros.

El objetivo de la investigación es evaluar por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billingham, tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá, Tacna - 2019, mediante la evaluación estructural por medio de la viga Benkelman se determina que la Deflexión Característica es mayor que la Deflexión Admisible,  $D_c > D_{adm}$ ,  $133.50 \times 10^{-2} \text{mm} > 72.30 \times 10^{-2} \text{mm}$ ., la estructura del pavimento tiene problemas o deficiencias en el diseño estructural, se clasifica al pavimento como “Deficiente”. Por otro lado, se obtiene un índice de rugosidad internacional utilizando el MERLIN, IRI =  $6.0645 \text{ m/km}$ , validándolo de “Malo” y para definir la transitabilidad se calcula el PSI = 1.66 en base al IRI promedio, calificación; “Transitabilidad Mala”.

Se concluye que de acuerdo a la evaluación estructural por deflectometría utilizando la viga Benkelman, se determina que las deflexiones en el pavimento son **deficientes**, por lo que la estructura del pavimento tiene problemas o deficiencias en el diseño estructural. Y los resultados de la rugosidad de ambos carriles, considerando su promedio obtenido del IRI, se califica el estado de pavimento y la transitabilidad, como pavimento **malo** y la transitabilidad **mala**.

**Palabras Claves:** Conservación, Mantenimiento vial, Rehabilitación, Reconstrucción, Serviciabilidad del pavimento, Patologías.

## ABSTRACT

This research work carries out a structural and superficial evaluation of the faults in the asphalt pavement on Billinghurst Avenue, the section evaluated has a length of approximately 1,500.00 meters and a width of road of 6.60 meters.

The objective of the investigation is to evaluate by deflectometry and the roughness of the flexible pavement to improve vehicular passability on Av. Billinghurst, section: Av. Bolognesi - Av. Tarapacá, Tacna - 2019, by means of structural evaluation using the Benkelman beam The Characteristic Deflection is determined to be greater than the Allowable Deflection,  $D_c > D_{adm}$ ,  $133.50 \times 10^{-2} \text{mm} > 72.30 \times 10^{-2} \text{mm}$ ., The pavement structure has problems or deficiencies in the structural design, the pavement is classified as "Poor " On the other hand, obtain an international roughness index using the MERLIN,  $IRI = 6.0645 \text{ m / km}$ , valid of "Bad" and to define the passability the  $PSI = 1.66$  is calculated based on the average IRI, qualification; "Bad passability".

If you conclude the agreement to the structural evaluation by deflectometry using the Benkelman beam, determine which deflections in the pavement are deficient, so the pavement structure has problems or deficiencies in the structural design. And the results of the roughness of both lanes, obtained their average obtained from the IRI, rated the state of pavement and passability, as bad pavement and bad passability.

**Key Words:** Conservation, Road maintenance, Rehabilitation, Reconstruction, Serviceability of the pavement, Pathologies.

## INTRODUCCIÓN

La importancia de conocer la evaluación estructural y superficial en el que se encuentra la avenida Billinghamurst, contando con un plan de mantenimiento, conservación y rehabilitación, que puede brindar a los usuarios seguridad y confort en las vías de la avenida. El análisis nace porque sirven de conectividad hacia el centro cívico y zona monumental de Tacna, la vía investigada, tienen una longitud aproximada de 1,500.00 m y una sección de 6.60 metros la calzada.

Mediante la evaluación estructural y superficial, se puede identificar y evaluar las fallas presentes en la superficie de rodadura del pavimento. Existe una serie de metodologías para la evaluación de pavimentos, entre ellas tenemos para la evaluación estructural la Viga Benkelman, para determinar las deflexiones, deflexiones características y la deflexión admisible, para luego calificar el estado actual en que se encuentra la superficie del pavimento. La otra metodología utilizada en la investigación es el rugosímetro de MERLIN para determinar el valor del IRI de ambos carriles y calcular el IRI promedio, que nos ayuda para calcular el PSI finalmente determinar la transitabilidad de la vía investigada.

Conociendo las condiciones estructurales y superficiales en que se encuentra el pavimento flexible, se propone alternativas de tratamiento como la rehabilitación y la reconstrucción en función a los resultados de la evaluación de la deflectometría y la rugosidad.

El trabajo de investigación está estructurado en 5 capítulos, en el primer capítulo identificamos la formulación del problema, los objetivos y la hipótesis; en el segundo capítulo, el marco teórico, donde se presentan los antecedentes, la base teórica y la definición de términos; en el tercer capítulo, la metodología de la investigación, donde se detalla el tipo y nivel de investigación, la población y muestra de estudio; cuarto capítulo, presentación de los resultados, análisis e interpretación, finalmente en el capítulo quinto la discusión acerca de los resultados obtenidos.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción del problema.**

Las calles y carreteras son muy importantes en el desarrollo socio económico de las regiones, también el transporte es un elemento de influencia en la economía de un país, ya sean en las zonas urbanas y rurales. Por lo indicado es necesario proyectar un programa de proyectos viales, un buen diseño y correcta ejecución en la instalación de pavimentos, sin embargo, no se garantiza que no existan molestias y problemas en la circulación, si no se realiza un adecuado mantenimiento de las calles y carreteras.

Actualmente a medida que las vías son utilizadas por el transporte de personas y carga, las vías van presentando daños, si las vías no presentan el mantenimiento adecuado, el deterioro del pavimento puede alcanzar niveles altos que pueden requerir su reconstrucción en periodos cortos con relación a la su vida útil.

Basado en la evaluación estructural del pavimento flexible, se realiza la investigación sobre el uso de la Viga Benkelman para su aplicación mediante cálculo de las deflexiones y el cálculo de la rugosidad utilizando el Rugosímetro de MERLIN, en la vía de investigación, el cual está basado en la obtención de datos por deflectometría y verificación de rugosidad, por unidades de muestreo del pavimento en la vía de la Av. Billinghurst, tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá, considerando una longitud de 1.50 KM.

El tránsito vehicular en la avenida Billinghurst es una causa del nivel de desgaste por la fatiga, reflexión de grietas, exceso de cargas, mezclas muy rígidas, falta de soporte lateral de la bermas, y muchas otras que sufren las capas asfálticas del pavimento flexible, por encontrarse en la línea de la zona de ingreso a instituciones educativas públicas, privadas como el Hotel Casandina, Empresas de venta de vehículos Hyundai y transporte urbano masivo de ingreso y salida del distrito Gregorio

Albarracín, actividades que usan para el transporte unidades pesados de 2 o más ejes, en la primera visita se observó tráfico de transporte pesado masivo produciendo congestión vehicular en la vía de investigación.

Se observa que el pavimento de la avenida en estudio tiene daños considerables en ciertos tramos, por lo que identificarlos será uno de los objetivos de la presente investigación, para conocer finalmente el estado de conservación y la rugosidad, por no conocerse con exactitud, para ello utilizaremos la Viga Benkelman y el rugosímetro de MERLIN.



Figura N° 01: Zona de investigación, 1.50 Km  
Fuente: Elaboración propia-Google Earth



Figura N° 02: Zona de investigación, Av. Billinghurst  
Fuente: Elaboración propia

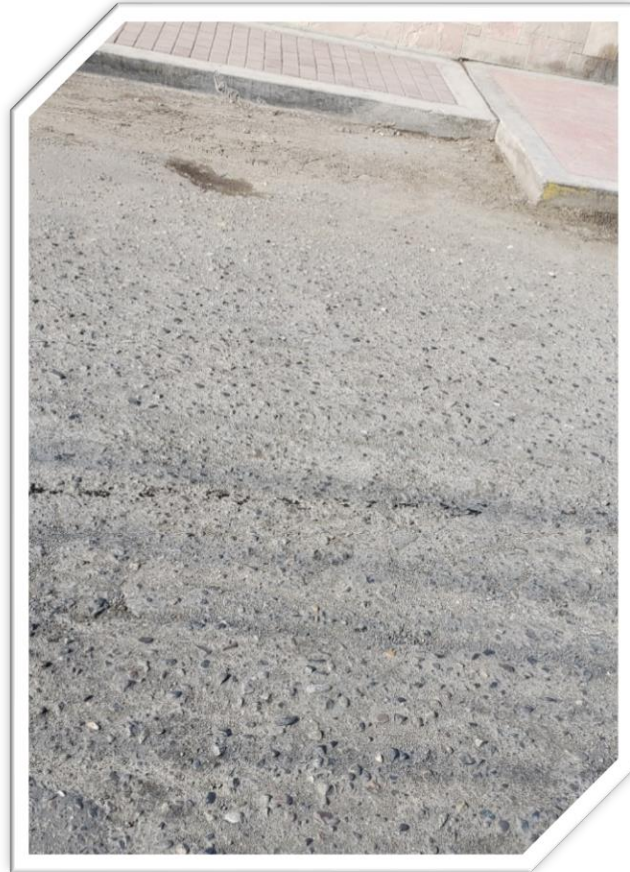


Figura N° 03: Zona de investigación, condiciones del pavimento flexible.  
Fuente: Elaboración propia

## 1.2. Formulación del Problema.

### 1.2.1. Problema general.

¿Cómo se evalúa por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghamurst, tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá, Tacna - 2019?

### 1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo se calcula las deflexiones del pavimento flexible que se presenta en la Av. Billinghamurst para mejorar la transitabilidad?
- b) ¿Cuál es el nivel de rugosidad del pavimento flexible en la Av.

Billingshurst para mejorar la transitabilidad vehicular?

- c) ¿Qué alternativas son necesarias para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billingshurst?

### **1.3. Justificación e importancia de la investigación.**

Para la evaluación estructural del pavimento flexible se utiliza la Viga Benkelman, donde se obtiene lecturas de deflexiones y deformaciones a nivel de superficie, mediante la aplicación de una carga en la superficie de rodadura, se trata de una metodología no destructiva, dentro de los modelos de conservación vial disponibles normados por el MTC. La metodología es de fácil aplicación e implementación solo requiere un camión calibrado y el equipo, por otro lado, la utilización del rugosímetro de MERLIN, es también de fácil aplicación el cual es autorizado por el Banco Mundial por su efectividad en sus resultados.

Con respecto a la parte social, los afectados vienen a ser los conductores y peatones, debido a que la avenida se encuentra en mal estado, generando incomodidad al momento de transitar por la avenida.

Desde el punto económico, los afectados viene a ser los conductores debido a la presencia de una serie de fallas de alta severidad que se extienden en la superficie del pavimento flexible, los que generan desgaste o averías en las unidades que transitan por la vía, los cuales generan mayor gasto a los conductores en el mantenimiento de sus unidades para tenerlos en buen estado, para prestar un buen servicio.

En la actualidad se desconoce de estudios ejecutados sobre la evaluación de la condición estructural y el cálculo de rugosidad del pavimento en la avenida Billingshurst, los datos obtenidos como resultados de esta investigación sirvan como base para determinar una alternativa de solución para mejorar las medidas de confort y seguridad en el trayecto de los vehículos para futuros proyectos de mantenimiento.

## **1.4. Objetivos de la investigación.**

### 1.4.1. Objetivo general.

Evaluar por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghamurst, tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá, Tacna - 2019.

### 1.4.2. Objetivos específicos.

- a) Calcular las deflexiones del pavimento flexible que se presenta en la Av. Billinghamurst, utilizando la Viga Benkelman.
- b) Calcular la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Billinghamurst, aplicando el rugosímetro de MERLIN.
- c) Analizar las alternativas necesarias para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghamurst.

## **1.5. Hipótesis.**

### **1.5.1 Hipótesis general**

La evaluación por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghamurst, tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá, Tacna - 2019; presenta un deficiente desempeño del pavimento.

### **1.5.2 Hipótesis específicas**

- a) El cálculo de las deflexiones del pavimento flexible en la Av. Billinghamurst, mediante la aplicación de la Viga Benkelman, son de mayor deterioro.
- b) El cálculo de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Billinghamurst, mediante la aplicación del rugosímetro de MERLIN, es deficiente.



- c) El análisis de las alternativas en la Av. Billinghamurst permitirá de manera óptima caracterizar las imperfecciones superficiales, para mejorar la transitabilidad vehicular.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del estudio.

Los antecedentes referidos al estudio de investigación, después de haberse realizado la búsqueda bibliográfica estuvo orientada a determinar a aquellas tesis que han efectuado estudios relacionados con la evaluación estructural utilizando la Viga Benkelman y cálculo de rugosidad del pavimento flexible utilizando el rugosímetro de MERLIN; los cuales se señalan a continuación:

La tesis “Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima”, desarrollado por Carlos Ignacio Almenara Cueto, en el año 2015. Tesis desarrollada para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Pontificia Universidad Católica del Perú, sostiene que se evaluó la rugosidad de la vía expresa en Lima utilizando la aplicación Roadroid, donde se analizó si la variación de la velocidad al momento del muestreo afecta los resultados obtenidos del IRI.

En esta tesis se ha concluido que el Roadroid se presenta como una alternativa muy favorable para la gestión vial, pues permite llevar un control de variación de la rugosidad en el tiempo que podrá ayudar a la toma de decisiones de cuándo y dónde intervenir una vía. Por otro lado se concluyó que las velocidades mayores a 60km/h son recomendables para realizar los ensayos ya que a esta velocidad los datos obtenidos se acercan más al IRI real de la carretera. (Almenara Cueto, 2015)

La tesis “Estudio de la rugosidad en pavimentos asfálticos de la ciudad de Puno”, desarrollado por Pari Luque en el año 2010. Tesis desarrollada para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional del Altiplano, sostiene que la investigación se focaliza en el estudio de la rugosidad de la superficie de rodadura asociado con los cambios en la serviciabilidad de los pavimentos, utilizando el Equipo de Rugosímetro de MERLÍN, donde hace el estudio respectivo en las principales vías de la ciudad de Puno conformado por: Av

circunvalación, Av. El Ejército, Av. El Sol, Av. Floral, salida a desaguadero (panamericana sur) y salida a Juliaca (panamericano norte) las cuales presentan superficies de concreto asfáltico.

Donde da a conocer la importancia del IRI para el mantenimiento respectivo de las principales vías de la ciudad de Puno, debido a la presencia de irregularidad en la superficie de rodadura, propios de un inadecuado proceso constructivo.

Al realizar el ensayo respectivo con el rugosímetro de MERLIN, nos informa sobre los valores correspondientes del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para las vías evaluadas en la ciudad de Puno conformado por: Av. Circunvalación, Av. El Ejército, Av. El Sol, Av. Floral, salida a desaguadero (panamericana sur) y salida a Juliaca (panamericano norte), las cuales son luego correlacionadas con la Serviciabilidad y de esta manera determinar la transitabilidad actual de las principales vías de la ciudad de Puno. (Pari Luque, 2010)

La tesis “Evaluación estructural usando Viga Benkelman aplicada a un pavimento”, desarrollado por Javier Balarezo. en el año 2017. Tesis desarrollada para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad de Piura, el trabajo de investigación se fundamenta en estrategias para la intervención y rehabilitación a través de un estudio estructural del pavimento utilizando la viga Benkelman, usando el modelo matemático de Hogg, el cual permite obtener el módulo de elasticidad de la subrasante. De esta forma se puede obtener el valor de CBR para analizar el estado del pavimento y según el caso diseñar una Sobrecarpeta.

De los resultados obtenidos del estudio del campo de la universidad de Piura fueron los siguientes, para el primer tramo se obtuvieron valores de CBR donde un 16% (Muy bueno), un 67% (Bueno) y un 17% (Regular). Para el segundo tramo se obtuvieron valores de 83% (Muy bueno) y 17% (Bueno).

Por lo tanto, el valor promedio obtenido es de 17.030 % (Buena subrasante) para el primer tramo y un 24.510% (Muy buena subrasante), según el análisis del autor los valores de CBR no deberían variar mucho, debido a que ambos pavimentos se encuentran muy cercanos. (Balarezo,

2017)

La tesis “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 José Luis Bustamante y Rivera – Arequipa”, desarrollado por Harold Meza en el año 2017. Tesis desarrollada para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Católica de Santa María - Arequipa, donde realizó una variedad de estudios como evaluación estructural, PCI y estudios de suelos, mediante la recopilación de información se rediseñó el subrasante.

Según los resultados que obtuvo una deflexión 75 mm<sup>2</sup> y es mayor a la deflexión admisible que es 64 mm<sup>2</sup>, el autor concluye que según estos resultados podrían ser productos de fallas de origen estructural en el pavimento.

Mediante el modelo Hogg se obtuvo un valor de 10.3% de CBR en la subrasante y usando las fórmulas de AASHTO 2008 se obtuvo un valor de 11366. Lb/pulg<sup>2</sup>. Finalmente se propusieron alternativas de reparación en determinadas zonas. (Meza, 2017)

La tesis “Determinación y evaluación de las patologías del concreto para obtener el índice de integridad estructural del pavimento rígido y condición operacional en la avenida Perú del distrito de Carmen Alto, provincia de Huamanga, Departamento de Ayacucho, agosto - 2016”, desarrollado por Flores Huamán, Edgar G. en el año 2016. Tesis desarrollada para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Católica los Ángeles Chimbote, sostiene que analizó la determinación y evaluación de las patologías del concreto para obtener el índice de integridad estructural del pavimento y condición operacional en la avenida Perú del distrito de Carmen Alto, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, cuyo objetivo principal fue determinar el índice de integridad estructural y así tener la condición operacional de la superficie del pavimento, a través de la evaluación de patologías presentadas en la vía, para lo cual se basó en investigaciones nacionales e internacionales relacionadas a la presente investigación, todo ello aportó para dar solución a la problemática de la investigación. Finalmente se

concluyó que la avenida Perú presentó un índice de integridad estructural de 14, la misma que según los rangos de condición operacional, nos muestra un pavimento en estado muy malo. (Flores, 2016)

## **2.2 Bases teóricas.**

### **2.2.1 Transitabilidad vehicular.**

Mejorar el nivel de servicio de la infraestructura vial, permitiendo un flujo regular durante un determinado periodo.

#### **2.2.1.1 Conservación Vial.**

Conjunto de actividades encaminadas a preservar tales vías en condiciones de circulación segura, cómoda y fluida a un mínimo costo global para la sociedad. (Moreno, L; Parrales, G; Cobos, D; Cordero, M; Peralta, J; Ponce, F; Baque, B, 2018)

La conservación vial tiene como objetivos:

- Preservar el patrimonio vial de forma eficiente.
- Garantizar una circulación lo más segura, cómoda y fluida en las carreteras existentes.

Las carreteras son un patrimonio nacional enorme y requieren conservación para mantenerlas en condiciones satisfactorias y ofrecer circulación segura y con bajo costo al usuario, con velocidad apropiada. Una conservación tardía o insuficiente aumentará el costo final de reparación, elevará los costos de funcionamiento para el usuario, aumentará molestias y reducirá seguridad. Precisamente en estos aspectos radica la importancia de la conservación vial.

#### **2.2.1.2 Evaluación de pavimentos.**

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie y estructura del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas necesarias de reparación y

mantenimiento. Con la evaluación se pretende determinar cómo intervenir un pavimento para prolongar su vida útil. La importancia de la evaluación radica en que permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima. Asimismo, con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto. Por último, la evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera gastos mayores.

Es resumen la evaluación de pavimentos permite conocer el estado situacional de la estructura y establecer medidas correctivas, ahorrando costos, para cumplir objetivos de serviciabilidad. (Leguía, P; Pacheco, H, 2016).

### **Importancia de Evaluación de pavimentos.**

La evaluación de pavimentos es importante, pues permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima.

Con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto.

La evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera gastos mayores.

### **Tipo de fallas en los pavimentos.**

Las fallas en los pavimentos pueden ser divididas en dos grandes grupos que son fallas de superficie y fallas en la estructura.

### a) Fallas de Superficie

Son las fallas en la superficie de rodamiento, debidos a las fallas en la capa de rodadura y que no guardan relación con la estructura de la calzada.

La corrección de estas se fallas se efectúa con solo regularizar su superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad.

### b) Fallas Estructurales

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento, cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir, de una o más capas constitutivas que deben resistir el complejo juego de solicitaciones que imponen el tránsito y el conjunto de factores climáticos.

Para corregir este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y futuro estimado. (Corros, 2015)



Figura N° 04: Fallas en pavimentos flexibles  
Fuente: (Corros, 2015)

#### 2.2.1.3 Pavimentos. (Gomez, 2014)

El pavimento es un elemento estructural conformado por una o varias capas de material clasificado el cual se ubica entre la subrasante y la superficie de rodadura, tiene la capacidad de soportar directamente cargas estáticas o móviles y transmitir las de manera

proporcional a las capas inferiores. Estas capas deben ser de material clasificado, adecuadamente compactado y tienen que descansar sobre un terreno con la capacidad de soportarlo.

El pavimento debe estar diseñado y construido para brindar al usuario comodidad y seguridad cuando se transmite sobre la superficie, asimismo el pavimento según el tipo debe ser capaz de soportar grandes esfuerzos aplicados por el tráfico vehicular, intemperismo, punzonamiento y debe presentar una regularidad superficial. Para ello, debe recibir un constante tratamiento que prolongue su vida de servicio y mantener la comodidad para los usuarios.

Una de las condiciones necesarias para tener una buena estructura del pavimento es el tipo de material que se va a utilizar, se tiene que ubicar en las capas superiores el material de que tenga mayor capacidad y en las capas inferiores material con menor capacidad, pues los esfuerzos directos que se aplican sobre el pavimento se van disipando conforme a mayor sea la profundidad.

### **Tipos de Pavimentos:**

Los pavimentos se pueden clasificar en asfálticos o flexibles, hidráulicos o rígido, mixtos entre otros, se diferencian principalmente cómo se comportan al momento de distribuir las cargas sobre su superficie.

#### **Pavimento flexible.**

También conocido como pavimento asfáltico, está conformado por una carpeta asfáltica de mezcla bituminosa con material granular, depositado en la superficie de rodadura en contacto directo con el tráfico, lo que permite pequeñas deformaciones adaptándose a las cargas. La construcción de la estructura del pavimento flexible se realiza a través de varias capas, donde la carpeta asfáltica descansa sobre una base granular y



subbase compactado mecánicamente.

El pavimento flexible tiende a ser un poco más económico a comparación del pavimento rígido en la etapa inicial de la construcción, también tiene un periodo de vida útil entre 10 a 15 años, pero tiene desventaja de requerir un constante mantenimiento para su conservación o puede ser afectado por el constante tráfico que se genera en la superficie.

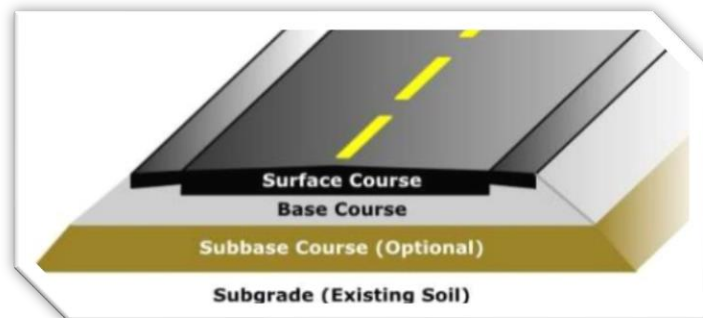


Figura N° 05: Estructura básica de un pavimento flexible  
Fuente: (Gomez, 2014)

### Pavimento Rígido.

El pavimento rígido o también conocido como pavimento hidráulico, se trata de losas de concreto y en algunos casos llevan refuerzos de acero. Este tipo de pavimento sufre deformaciones menores debido a la resistencia que le brinda el concreto (mayor rigidez), una de sus desventajas es que para la construcción de este pavimento resulta ser más costosa a comparación del pavimento flexible.

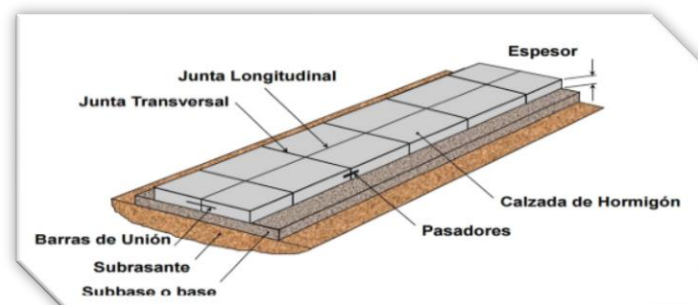


Figura N° 06: Estructura básica de un pavimento rígido.  
Fuente: Instituto del Cemento Portland Argentino (Calo, 2012)

### **Pavimento Semirrígido.**

El pavimento semirrígido o compuesto, tiene la misma estructura de un pavimento flexible, pero la diferencia es que se necesita rigidizar artificialmente las capas inferiores (base, subbase, subrasante), mediante aditivos como cal, cemento, emulsiones, permitiendo incrementar la capacidad de soporte de las capas inferiores.

#### **2.2.1.4 Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.**

##### **a) Mantenimiento.**

Son los trabajos, actividades, operaciones, acciones y cuidados rutinarios, periódicos o de emergencia, destinados a lograr que la infraestructura vial preserve la condición superficial, funcional, estructural y de seguridad requerida, a efectos de asegurar la satisfacción de los usuarios y en general atender de manera adecuada el tránsito.

##### **▪ Mantenimiento rutinario.**

Actividades y trabajos menores, permanentes y frecuentes, que se realizan con el propósito de proteger y preservar fundamentalmente la condición superficial y funcional de la infraestructura vial, contribuyendo así a que ésta cumpla con el periodo de vida para la que fue diseñada, sin incidir significativamente en la natural evolución de la disminución de su capacidad estructural producto de las solicitaciones de carga previstas en el diseño u otros agentes.

##### **▪ Mantenimiento periódico.**

Trabajos mayores, temporales de menor frecuencia y de carácter preventivo, que se ejecutan en forma programada o en respuesta a

cierta condición preestablecida, a fin de retardar en forma oportuna la natural evolución de la disminución de la condición estructural, de la condición funcional o calidad de capa de rodadura, y de las condiciones de seguridad de la infraestructura vial, para poder extender su vida útil más del periodo de diseño. El mantenimiento periódico comprende trabajos de tratamiento y trabajos de renovación de la superficie de rodadura.

- **Rehabilitación.**

Actividades necesarias para devolver a la estructura de pavimento las condiciones de soporte de carga con las que inicialmente se construyó, así como su nivel de servicio en términos de seguridad y comodidad. Un pavimento puede presentar dos tipos de rehabilitación, superficial y estructural. Una rehabilitación superficial, se orienta a la colocación sobre la superficie existente de una capa delgada de mezcla asfáltica en caliente o en frío. Esta viene a ser la solución más simple a un problema, debido a que el tiempo requerido para completar los trabajos es corto y existe un impacto mínimo sobre los usuarios de la vía. Una rehabilitación estructural puede orientarse a una reconstrucción total.

#### **2.2.1.5 Ciclo de vida de los pavimentos.**

La evaluación estructural de pavimentos flexibles consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad de soporte 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, cuando el pavimento se acerca a su fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función. Cuando se define un patrón de conservación (fisuras, desprendimientos de áridos,

baches, etc.) se impone un límite de deterioro al que es permisible que llegue el pavimento. (Camacho, 2015)

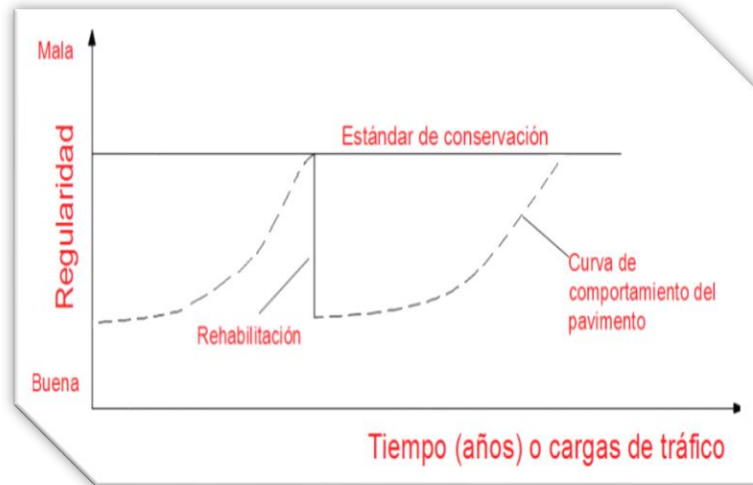


Figura N° 07: Curva de comportamiento del pavimento.  
Fuente: (Camacho, 2015)

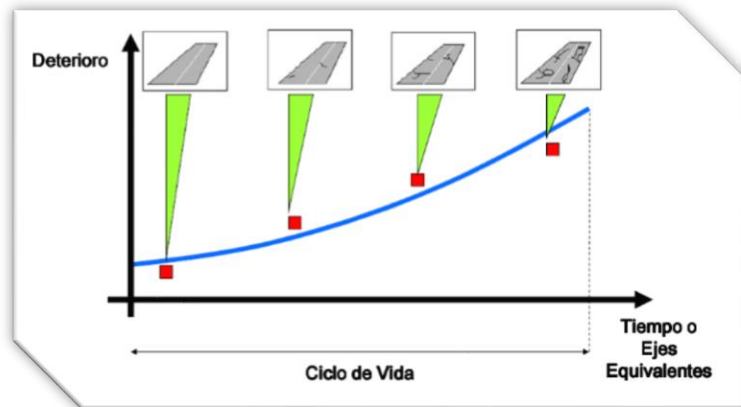


Figura N° 08: Curva de deterioro del pavimento.  
Fuente: (Carcial, 2015)

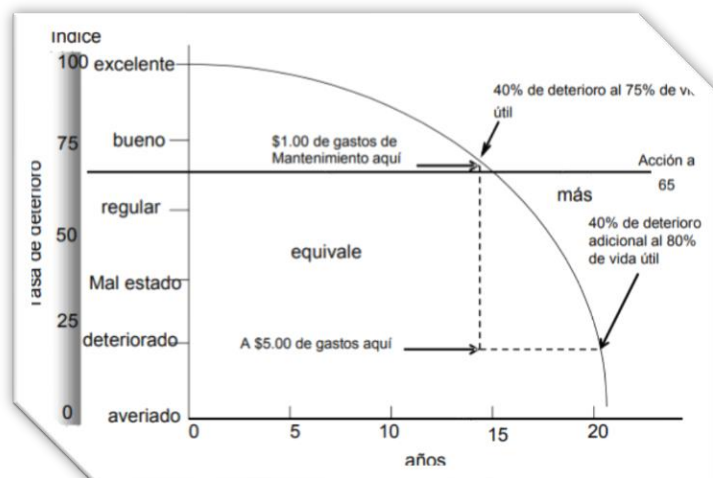


Figura N° 09: Curva de deterioro del pavimento.  
Fuente: (Delmar, 2004)

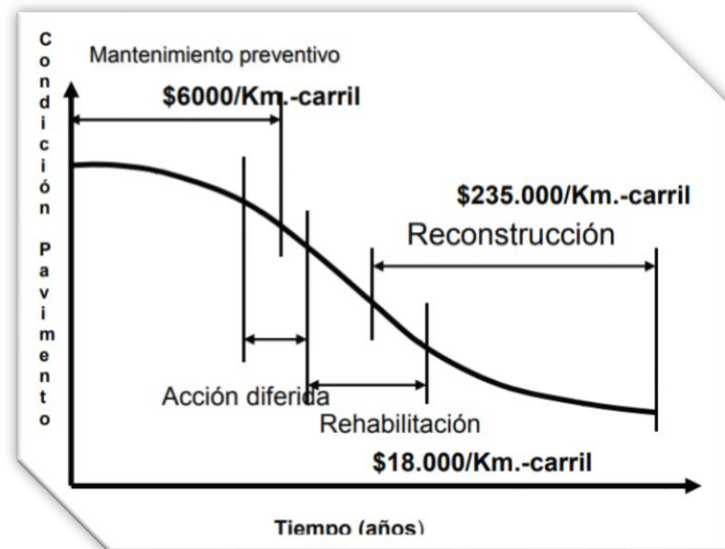


Figura N° 10: Costos relativos de mantenimiento preventivo, rehabilitación y reconstrucción.  
Fuente: (Delmar, 2004)

## 2.2.2 Evaluación de la condición estructural del Pavimento.

### 2.2.2.1 Métodos de evaluación.

La evaluación estructural del pavimento consiste en conocer la capacidad resistente de la estructura de las capas del pavimento, con el objetivo de determinar y monitorear si el pavimento tiene la capacidad de soportar cargas externas actuantes en su superficie (cargas de tráfico vehicular). Para realizar la evaluación estructural es necesario realizar algunas evaluaciones mediante técnicas o equipos especializados que determina las deflexiones o deformaciones elásticas que se generan en el pavimento. (Apaza, 2019)

Con el objetivo de determinar las características estructurales del pavimento, es necesario aplicar una serie de ensayos de los cuales se dividen en dos categorías como "Ensayos Destructivos y Ensayos No Destructivos", la elección del tipo de ensayo dependerá de las condiciones del pavimento o las condiciones de la zona de estudio.

**Ensayos destructivos:** Se trata de ensayos invasivos, es decir, que alteran la estructura del pavimento mediante la toma de muestras de cada capa como la base, sub base, asfalto y terreno de función, mediante la toma de muestra se puede determinar las características de cada capa que componen el pavimento, pero entre sus desventajas tenemos que altera el pavimento, perjudica el libre tránsito, el tiempo de ejecución y es más costoso (ejecución del ensayo y reparación del pavimento).

**Ensayos no destructivos:** Se trata de ensayos no invasivos, es decir, que no alteran la estructura del pavimento y se basan mediante equipos sofisticados que evalúan las deflexiones que se generan cuando se aplica una carga al pavimento, actualmente son los ensayos más usados por su fácil ejecución y no generan daños a la estructura del pavimento. Entre los equipos para evaluar la deflectometría del pavimento tenemos al Falling Weight Deflectometer –FWD, por impacto y viga Benkelman.

#### **2.2.2.2 La deflectometría para la evaluación estructural.**

Se trata de medición de la deflexión o deformación elástica que experimenta el pavimento ante una estimulación que genera una carga puntual en la superficie de rodadura. La deflexión que se genera en el pavimento produce un estado de tensión y deformación a la compresión del pavimento y en la subrasante, por lo tanto, las deformaciones que se generan es una respuesta a la capacidad de resistencia de las capas inferiores antes las cargas de tráfico que pasan por su superficie.

La deflexión es una medida de la respuesta del conjunto “pavimento-subrasante” frente a una determinada sollicitación, indicando la adecuabilidad del mismo desde

el punto de vista estructural. Esta capacidad estructural cumple en el diseño de refuerzos un rol en cierta forma semejante a la determinación del C.B.R. de suelos de subrasante en el diseño de estructuras nuevas. (CONREVIAL - Consorcio de Rehabilitación Vial, 1982, p. 87)

Dependiendo de la conformación de la estructural del pavimento, la subrasante resiste gran parte de las fuerzas que se aplican en la superficie, contribuyendo en las deflexiones entre un 70 % a 95%, por lo tanto, se puede afirmar que las deflexiones que se generan en el pavimento es a causa de la compresión elástica de la subrasante. A veces es necesario realizar trabajos como toma de muestras, calicatas, sondeos y ensayos de laboratorio para confirmar y comparar las hipótesis deducidas en la evaluación superficial del pavimento.

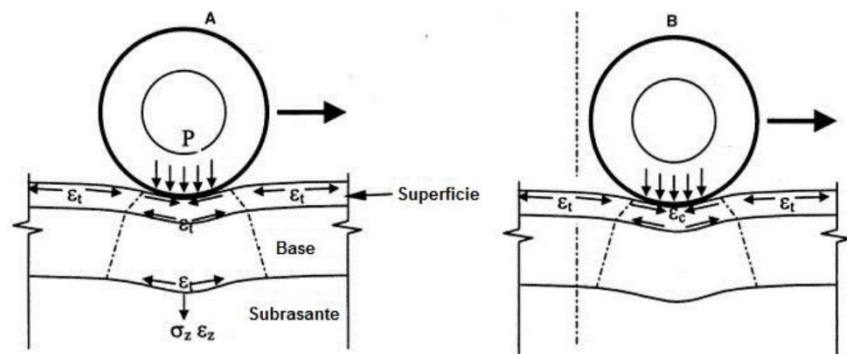


Figura N° 11: Deflexión del pavimento asfáltico.

Fuente: Deformaciones en pavimentos flexibles y distribución de cargas (Du et al., 2008)

Se debe tener en cuenta el grado de la deformación de los materiales de la estructura del pavimento, están relacionados con el estado triaxial de esfuerzos, es decir, si los esfuerzos verticales en la subrasante decrecen, entonces las deflexiones también los hacen. Por lo tanto, si incrementamos los espesores de las capas o incrementamos la rigidez, las deflexiones serán menores.

Considerando los aspectos mencionados, las deflexiones o deformaciones son resultados que miden la capacidad de la estructura del pavimento frente a determinada carga, realizando evaluaciones se puede determinar la relación entre las deflexiones y la presencia de fallas estructurales o de origen estructural, con el objetivo de elegir la estrategia más conveniente de intervención que se realizará al pavimento.

De las lecturas de las deflexiones se efectuarán un deflectograma que permite analizar y evaluar la variabilidad de la capacidad de la estructura del pavimento, determinando los sectores característicos (deflexión característica  $D_c$ ), el cual es un valor representativo de una determinada sección o tramo. En una evaluación deflectométrica de un pavimento, la deflexión admisible de diseño ( $D_{adm}$ ) debe ser mayor a la deflexión característica ( $D_c$ ), si ocurriera todo lo contrario, entonces estaríamos frente a un pavimento que no cumple cuenta con la suficiente capacidad de soportar la demanda vehicular.

### **2.2.2.3 Medición de las deflexiones con la viga Benkelman.**

Las deflexiones que se generan en el pavimento es un indicador de como se viene comportando la estructura del pavimento ante determinada carga o sollicitación, mediante las evaluaciones estructurales por deflectometría se puede determinar el origen de las fallas y carencias estructurales del pavimento, de tal forma nos permitirá decidir qué acciones de intervención se tienen que realizar, ya sea trabajos de mantenimiento o de reconstrucción.

Uno de los equipos estáticos que permite conocer la deflexión del pavimento, es el deflectómetro conocido



como “Viga Benkelman”, que se encuentra estandarizado por el Manual de Carreteras “*Ensayos de materiales del ministerio de Transporte y Comunicaciones, MTC -2016*” y también adopta criterios de la normativa internacional del ASTM D-4695 “*Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements*”.

La Viga Benkelman fue desarrollado por el ingeniero Alvin Carlton Benkelman, quien en 1952 desarrollo el equipo cuando realizaba ensayos de carreteras WASHO, actualmente es un equipo que se viene usando en varios países para la auscultación de las deflexiones en el pavimento flexible. El equipo de fácil manejo que funciona mediante la “regla de palanca” donde se mide las deflexiones o desplazamientos verticales del pavimento ante la aplicación de una carga estática o de una carga que se desplaza lentamente.

Básicamente el ensayo consiste en colocar el extremo de la viga entre las dos ruedas de un vehículo de pesado (o vehículos con carga) con un peso en su eje trasero de 18000 libras (un aproximado de 8200 kg), la viga Benkelman va midiendo como se recupera verticalmente la superficie del pavimento, mientras el vehículo se va alejando lentamente del punto inicio.

#### **2.2.2.4 Equipos necesarios para el ensayo.**

Los equipos complementarios para la medición de las deflexiones del pavimento flexible son los siguientes:

- Deflectómetro viga Benkelman.
- Extensómetro a dial con indicador de divisiones a cada 0.01 mm.
- Vehículo pesado y que sus ejes traseros tengan un peso 18000 libras o un aproximado de 8200 Kg, además las llantas dobles traseras deben tener una presión de inflado entre 75 a 85 psi.

- Balanza con capacidad de 10 toneladas para determinar el peso del vehículo pesado.
- Termómetro con escala de -10 °C a 50 °C, con una precisión de 1°C.
- Manómetro con boquilla para medir la presión de inflado de los neumáticos.
- Equipos de protección y seguridad como cascos, chaleco reflectante, conos y señales de seguridad.
- Martillos y clavos de acero o taladra, para realizar orificio al pavimento hasta una profundidad de 5 cm.
- Tizas y pintura para marcar el pavimento
- Accesorios de medición como cinta métrica de 10 m, lapiceros, tiralíneas, plomada, destornillador, termómetro, hojas de apunte, etc.

#### 2.2.2.5 Funcionamiento de la Viga Benkelman

El funcionamiento del deflectómetro Benkelman se basa en el principio de palanca, es un equipo sofisticado y de fácil manejo. La viga Benkelman consta de dos partes (cuerpo de sostén y el brazo móvil), como se puede apreciar en la Figura 11 y estas partes trabajan de la siguiente manera:

- **Cuerpo de sostén:** Es el que se sitúa directamente en contacto con el pavimento o terreno mediante 3 apoyos (2 apoyos delanteros fijos en el punto "A" y 1 apoyo trasero regulable "B").
- **Brazo móvil:** Está acoplado al cuerpo de sostén mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de sus extremos se apoya sobre el pavimento o terreno (punto "D") y el otro extremo se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E").

Los factores de relación de brazos varían según el equipo que se esté utilizando, como se observa en la

Figura 11 (b) donde la relación de brazo es de 1:4, dependerá del modelo que se vaya a utilizar, por ejemplo, se tiene otras relaciones como 1:3, 1:2, etc.

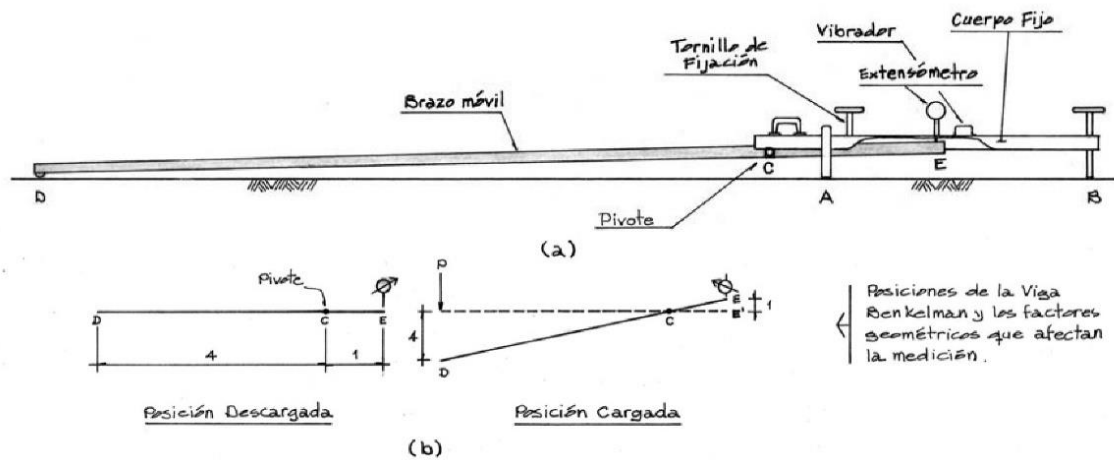


Figura N° 12: Esquema y principio de funcionamiento de la Viga Benkelman  
Fuente: (Hoffman, M.; Del Agula, P., 1985)

### 2.2.2.6 Procedimiento del ensayo con la Viga Benkelman.

Antes de realizar el ensayo se tiene que definir los puntos donde se medirá las deflexiones, se recomienda que las lecturas se hagan a cada 50 m o 100 m de distancia alternando por cada carril, los puntos tienen que localizarse a una distancia prefijada del borde del pavimento mediante la siguiente Tabla 12 propuesta por el MTC-2016.

Tabla N° 01: Distancia del punto de ensayo.

Ancho de Carril	Distancia desde el Borde del Pavimento
2.7 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: Manual de Ensayos de Materiales  
(Ministerio de Transporte y Comunicaciones - MTC, 2016).

Luego de identificar los puntos donde se realizarán las lecturas, la rueda dual externa del camión se deberá posicionar sobre el punto seleccionado, seguidamente se

tiene estacionar el extremo de la viga Benkelman por debajo y centrarlo entre los dos neumáticos (centro de gravedad del neumático), se tiene una tolerancia aceptable de 3 pulgadas alrededor del punto de lectura.

Cabe señalar que los criterios que se van detallando están en función a lo expuesto en el “Manual de Ensayos de Materiales del MTC – 2016” y “Configuración geométrica del sistema de carga en ensayos con la viga Benkelman” por Hoffman y Del Aguila, 1985, donde prácticamente comparten los mismos criterios para la realización del ensayo de la viga Benkelman. (Apaza, 2019)

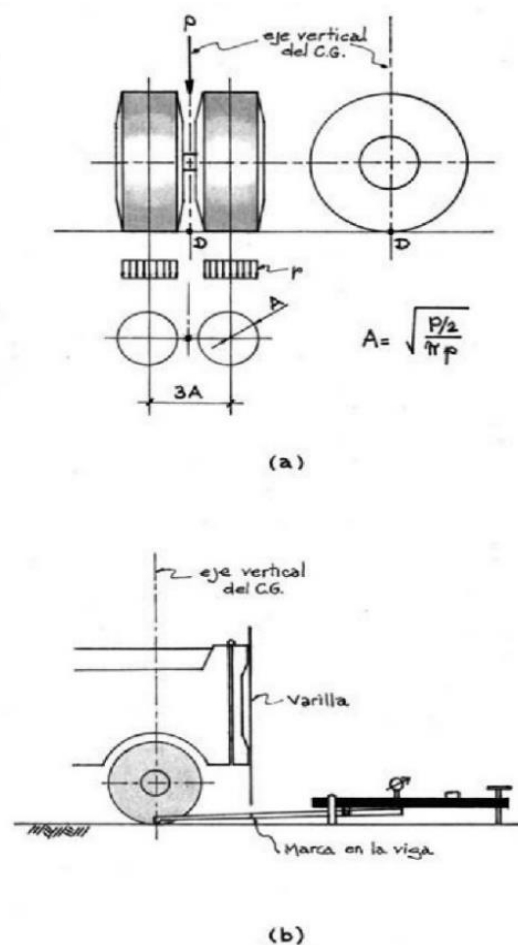


Figura N° 13: Configuración Geométrica del Sistema de Carga en Ensayos con la Viga Benkelman.

Fuente: (Hoffman y Del Aguila, 1985).

Según el “Manual de Ensayos de Materiales - 2016” del MTC, indica lo siguientes:

De igual forma con la finalidad de obtener el *cuenco de deflexiones* (conjunto de dichas deflexiones registradas), se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 70 cm). Para la metodología de 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. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones - MTC, 2016, p. 964)

Según el manual de “Configuración Geométrica del Sistema de Carga en Ensayos con la Viga Benkelman” recomienda lecturas a cada 25, 30, 40 o 50cm. Se recomienda que para esta metodología se realice por lo menos 3 lecturas, también se puede realizar más lecturas con fines de verificación o si se requiere obtener la gráfica del tipo de curvatura de la deflexión que se genera.

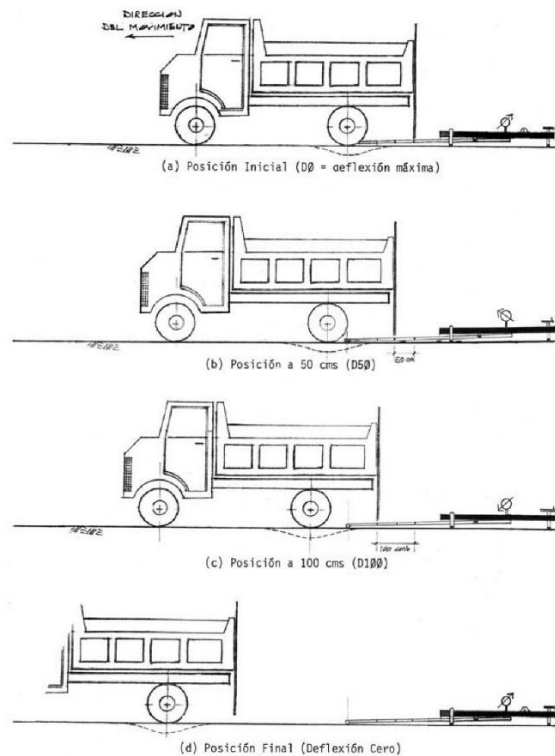


Figura N° 14: Esquema del proceso de medición con la viga Benkelman.  
Fuente: (Hoffman y Del Aguila, 1985).

### 2.2.2.7 Cálculo de las deflexiones.

Para determinar las lecturas de la *Deflexión Recuperable* (D) utilizando la viga Benkelman, se debe encontrar la diferencia entre la lectura inicial y final o simplemente realizar la lectura y multiplicar por el factor de relación de brazo. Además, para el cálculo de  $D_0$  y  $D_{25}$  se usará un factor que está comprendida en la relación de longitud de brazo en 1:2 o 1:4 para determinar las deflexiones, en el caso que se tenga una relación diferente se tendrá que aplicar la relación de brazo que le corresponda.

- La deflexión bajo el eje de la carga ( $D_0$ ), se determina de la siguiente manera.

- Para una Viga simple (un solo brazo)

$$D_0 = RB \times (L_0 - L_R) \quad (1)$$

- Para una Viga doble (doble brazo)

$$D_0 = RB \times L_0 \quad (2)$$

- La deflexión a 25 cm del eje de la carga ( $D_{25}$ ), se determina de la siguiente manera.

- Para una Viga simple (un solo brazo)

$$D_{25} = RB \times (L_0 - L_{25}) \quad (3)$$

- Para una Viga doble (doble brazo)

$$D_{25} = RB \times L_{25} \quad (4)$$

Donde:

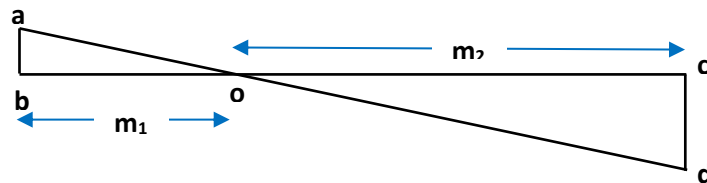
RB : Relación de brazos de la viga Benkelman (lo normal es 1:2 o 1:4)

L0 : Lectura inicial máxima, expresado en 0.01 mm.

L25 : Lectura a 25 cm del eje de la carga, expresado en 0.01 mm.

LR : Lectura a una distancia cualquiera, por ejemplo: 30,40 y 70 cm.

- El factor de relación del brazo (RB) “2 o 4” se obtiene de la semejanza de triángulos tal como se indica a continuación.



$$\frac{ab}{bo} = \frac{cd}{oc}$$

Entonces:

$$Deformacion\ Real\ (D_0) = \frac{m_2}{m_1} \times L_0$$

$$Deformacion\ Real\ (D_{25}) = \frac{m_2}{m_1} \times L_{25}$$

#### 2.2.2.8 Deformación admisible (Dadm.)

La deflexión admisible (Dadm), es un valor tolerable (valor permisible o limite que puede admitir) que garantiza un comportamiento satisfactorio del pavimento en función al tráfico que va a soportar, permite evaluar la capacidad estructural del pavimento en relación a la carga de diseño. Se puede mencionar algunas fórmulas propuestas para el cálculo de la deflexión admisible  $D_{adm}$ .

- Según el “Manual de Carreteras del 2014 “del MTC, propone lo siguiente:

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{N}\right)^{0.25} \quad (5)$$

Donde:

$D_{adm}$  : Deflexión admisible (milímetros mm) – (a comparar con deflexiones viga Benkelman).

$N$  : ESAL (el número de repeticiones de ejes equivalentes en millones) – carril de diseño.

Según el Instituto del Asfalto (Asphalt institute) propone la siguiente formula:

$$D_{adm} = 25.64 N^{-0.2383} \quad (6)$$

Estas fórmulas están sujeto a ciertos parámetros como el tráfico, espesor de la carpeta asfáltica y características de los materiales, la zona donde se evaluará, etc. Para la presente tesis se optó por la fórmula propuesta por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

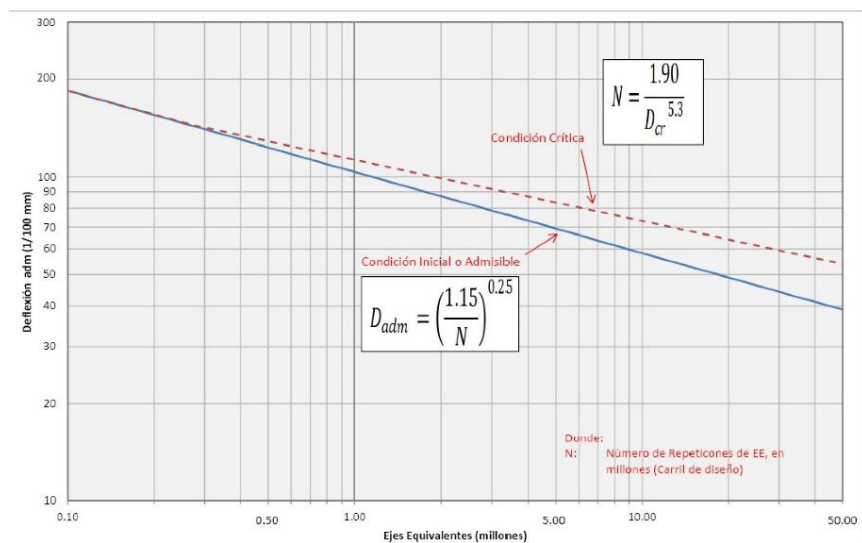


Figura N° 15: Gráfico de deflexiones admisibles

Fuente: (Manual de Carreteras: Mantenimiento o conservación vial RD N° 08-2014-MTC/14 , 2014)

### 2.2.2.9 Deflexión característica (Dc).

La deflexión característica representa el comportamiento homogéneo del pavimento, se considera un valor mejor representativo de la sección o del tramo que viene siendo evaluado, se obtiene median el valor medio, la desviación estándar y según el tipo de carretera. Mediante el siguiente cuadro propuestos por el MTC se puede



apreciar la variación de la fórmula según las características de la vía.

Tabla N° 02: Definición de Deflexión Característica - Según Tipo de Carretera

Tipo de Carretera	Deflexión Característica Dc	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$D_c = D_m + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$D_c = D_m + 1.645xds$	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.	$D_c = D_m + 1.645xds$	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.	$D_c = D_m + 1.282xds$	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.	$D_c = D_m + 1.282xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq 200$ veh/día, de una calzada.	$D_c = D_m + 1.036xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 85%

Fuente: (Manual de Carreteras: Mantenimiento o conservación vial RD N° 08-2014-MTC/14, 2014)

$$D_c = D_m + t * \sigma \quad (7)$$

Donde:

- Dc : Deflexión característica.  
Dm : Deflexión media o promedio de los valores individuales del Do, corregidos por temperatura.  
t : Son coeficientes representativos al porcentaje de área total con la probabilidad de presentar deflexiones por encima a la deflexión característica Dc. Ver Tabla 13.  
σ : Desviación estándar.

### 2.2.2.10 Radio de Curvatura.

El radio de curvatura es la línea elástica de deflexión que presenta la superficie del pavimento durante la

aplicación de la carga, permitiendo determinar la magnitud de la deformación lineal por tracción. Durante la aplicación de la carga se generan curvas aproximada a una parábola a una distancia de 25 cm del eje de la carga, para luego sufrir una inflexión. Entonces la fórmula del radio de curvatura quedaría de la siguiente manera.

$$D_c = \frac{10 * (25^2)}{2(D_o - D_{25})} = \frac{6250}{2(D_o - D_{25})} = \frac{3125}{(D_o - D_{25})} \quad (8)$$

Donde:

- R : Radio de Curvatura (m).  
 Do : Deflexión recuperable bajo el eje vertical de la carga en centésimos de milímetros (0.01mm).  
 D<sub>25</sub> : Deflexión recuperable a 25 cm del eje vertical de la carga en centésimos de milímetros (0.01mm).  
 10 : Coeficiente por cambio de unidad

Según los resultados de la viga Benkelman, las deflexiones y radio de curvatura se puede interpretar de las siguientes maneras:

**TIPO I:**

- **Bajas deflexiones + grandes radios de curvatura:** Corresponden a pavimentos en buen estado tanto en capas superiores como inferiores, por lo tanto, cumple con las exigencias establecidos (deflexión menor al admisible).

**TIPO II:**

- **Bajas deflexiones + pequeños radios de curvatura:** Se da cuando la capa superior del pavimento es de mala calidad, puede que se deba a la granulometría, la compactación del material, el CBR, etc. Por ende, el problema no está en la subrasante por las bajas deflexiones.

**TIPO III:**

- **Altas deflexiones + grandes radios de curvatura:** Cuando se generan altas deflexiones en el pavimento el problema parte en la capacidad

de la subrasante y puede deberse por la mala calidad de los materiales, mala compactación o excesiva humedad de los materiales. Pero las capas superiores tienen una calidad aceptable por el grande radio de curvatura.

**TIPO IV:**

- **Altas deflexiones + pequeños radios de curvatura:** Simplemente la capacidad del pavimento es insuficiente, no cumple con la calidad y capacidad de resistencia en las capas superiores e inferiores (Subrasante). Puede deberse a que se cuenta con materiales inadecuados, una mala compactación o un mal drenaje el cual afecta la estructura del pavimento.

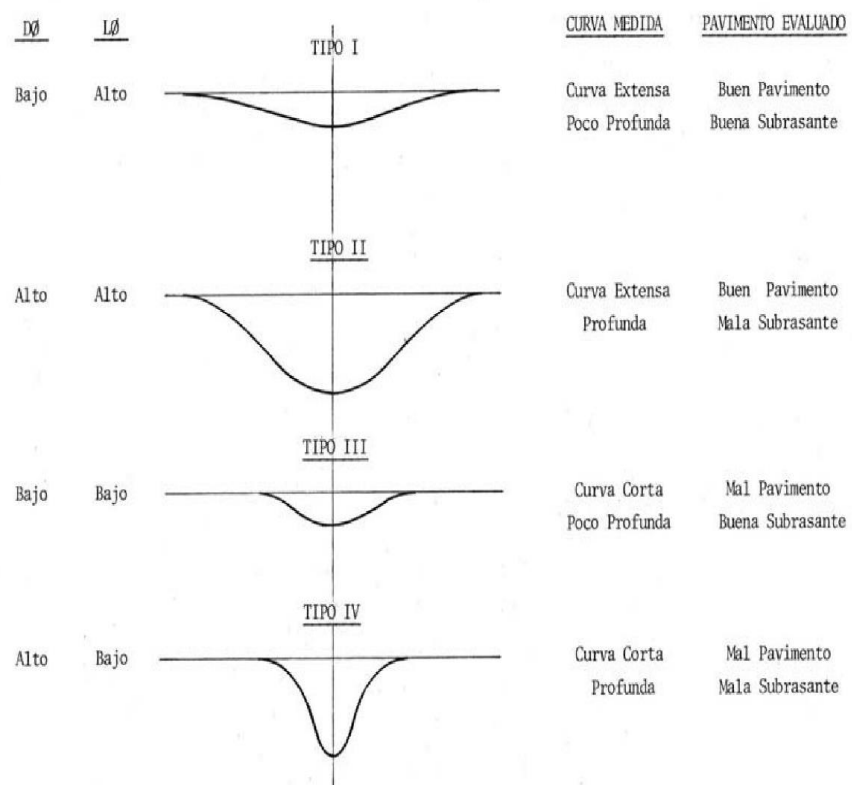


Figura N° 16: Significado cualitativo de los diferentes tipos de Curvas de Deflexiones  
Fuente: (Hoffman, M.; Del Agula, P., 1985)

Tabla N° 03: *Condición del pavimento de acuerdo al Tipo de Deflexión y Radio de Curvatura.*

Tipo de Deflexión	Comportamiento de la Subrasante	Comportamiento del Pavimento
<b>Tipo I</b>	Bueno D < Da	Bueno Ro > 100
<b>Tipo II</b>	Malo D > Da	Bueno Ro > 100
<b>Tipo III</b>	Bueno D < Da	Malo Ro < 100
<b>Tipo IV</b>	Malo D > Da	Malo Ro > 100

*Fuente:* (CONREVIAl , 1982)

#### 2.2.2.11 Comparación de la deflexión característica y admisible.

En relación a las deflexiones medidas en campo al pavimento se puede evaluar si cuenta con la capacidad adecuada para resistir la demanda vehicular del tráfico de diseño, por consiguiente, se entiende que la deflexión característica debe ser menor que la deflexión admisible ( $D_c < D_{adm}$ ), lo que indicaría que el pavimento cuenta aún con la capacidad de soportar para la demanda vehicular.

#### 2.2.2.12 Corrección de la deflexión por temperatura.

Hay que tener en cuenta que el aumento de la temperatura en la carpeta asfáltica especialmente cuando el espesor es mayor de 5 cm, influye en los valores de lectura de la deflexión debido a que disminuye la rigidez de mezcla asfáltica, por consiguiente, se debe realizar lecturas de la temperatura del asfalto con el transcurrir de cada ensayo, además se recomienda que las temperaturas de trabajo estén dentro de los rangos de 5°C a 35°C. Para corregir la deflexión con respecto a la temperatura del pavimento, se empleará la siguiente fórmula a una temperatura estándar de 20°C.

$$D_c = \frac{Dt}{[K * (T - 20^\circ\text{C}) * e] + 1} \quad (9)$$

Donde:

- Dc : Deflexión corregida por temperatura (mm).  
Dt : Deflexiones a temperatura T, "lectura obtenida en campo" (0.01mm).  
K : Coeficiente igual a  $1 \cdot 10^{-3}$  (1/cm $\cdot$ C $^{\circ}$ )  
T : Temperatura de la carpeta asfáltica obtenido por cada ensayo en campo ( $^{\circ}$ C).  
E : Espesor medido o teórico de la carpeta asfáltica, medido del borde el pavimento (cm).

### 2.2.2.13 Corrección de la deflexión por estacionalidad.

Para una correcta evaluación estructural del pavimento resulta de gran importancia el valor de las deflexiones en el periodo más desfavorable del año, durante el cual la estructura se encuentra más solicitada. (CONREVIAl - Consorcio de Rehabilitación Vial, 1982, p. 181)

Se tiene que considerar la capacidad de deformación que tiene el suelo está relacionado con el grado de saturación que presenta, por lo tanto, según las comparaciones experimentales de CONREVIAl recomienda que las evaluaciones de las deflexiones del pavimento se hagan en estaciones de lluvia, donde las capas inferiores del pavimento se encuentran en una situación más crítica.

Asumiendo este criterio se dispone como referencia de las experiencias realizadas en Brasil, que recomienda los siguientes coeficientes de corrección, según el periodo en el que se lleven a cabo las mediciones. (CONREVIAl - Consorcio de Rehabilitación Vial, 1982, p. 182).

Tabla N $^{\circ}$  04: Corrección por estacionalidad

Tipo de suelo subrasante	Estación lluviosa	Estación seca
Arenosa - permeable	1.00	1.10 a 1.30
Arcillosa - sensible al agua	1.00	1.20 a 1.40

*Fuente:* Adaptación de la tabla de (CONREVIAl , 1982)

### 2.2.3 Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

La sociedad americana de ensayos y materiales (ASTM) en la norma E-867 define la rugosidad como la desviación de la

superficie del pavimento respecto a una superficie plana que afecta la dinámica de los vehículos, la calidad de los viajes, las cargas dinámicas y el drenaje. La rugosidad también puede ser definida como la distorsión de la superficie de la vía que causa aceleraciones verticales indeseables contribuyendo a la incomodidad del viaje (Perera & Kohn, 2002).

El IRI es una escala de la regularidad superficial de una vía, propuesta por el Banco Mundial como estadística estándar de la rugosidad que determina la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura, se expresa en metros por kilómetros. (Sayers, Michel; Karamihas, Steven, 1998)

#### 2.2.4 Rugosímetro MERLIN

Es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. Fue introducido en el Perú en 1993, existiendo para junio 1999) más de 15 unidades pertenecientes a otras tantas empresas constructoras y consultoras. El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ( $R^2=0.98$ ). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros.



Figura N°17: Uso del Rugosímetro Merlin  
Fuente: Elaboración propia

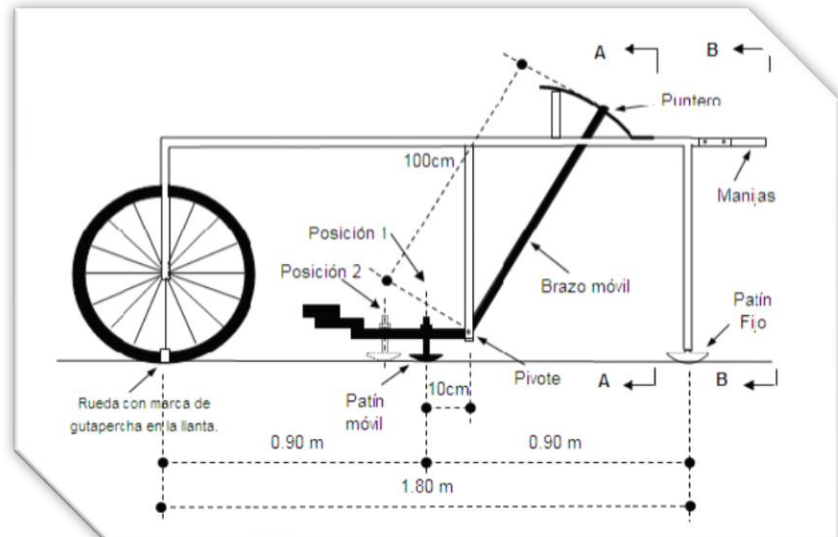


Figura N°18: Partes principales del instrumento MERLIN  
Fuente: Del Águila Rodríguez, Pablo, 1999

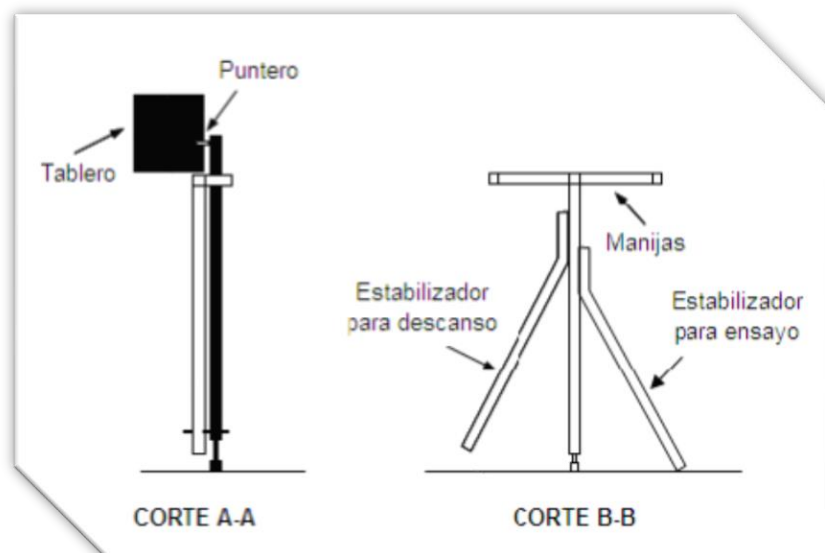


Figura N°19: Detalles del instrumento MERLIN  
Fuente: Del Águila Rodríguez, Pablo, 1999

**RUGOSIMETRO MERLIN**

1 DIVISION = 5 mm

DEPRESIONES

ELEVACIONES

49
48
47
46
45
44
43
42
41
40
39
38
37
36
35
34
33
32
31
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

Figura N° 20: Formatos para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie de pavimento.  
Fuente: Del Águila Rodríguez, Pablo, 1999

### 2.2.5 Modo de Uso.

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajen conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que los anota. Asimismo, debe seleccionarse un tramo de 400m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuales son detectadas por el patín móvil del MERLÍN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero,



generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia, en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLÍN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo.

La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como es mostrado en la figura. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. (Del Aguila Rodriguez, 1999)

ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN (HOJA DE CAMPO)											
PROYECTO :	_____				OPERADOR :	_____					
SECTOR :	_____				SUPERVISOR :	_____					
TRAMO :	_____				FECHA :	_____					
CARRIL :	_____										
ENSAYO N°	<input type="text"/>	KM	<input type="text"/>	+	HORA	<input type="text"/>	:	<input type="text"/>			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPO DE PAVIMENTO :
2											AFERMADO <input type="checkbox"/>
3											BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
4											BASE IMPERMEADA <input type="checkbox"/>
5											TRAT. BICAPA <input type="checkbox"/>
6											CARPETA EN FRIO <input type="checkbox"/>
7											CARP. EN CALIENTE <input type="checkbox"/>
8											RECAPAS ASPHALTICO <input type="checkbox"/>
9											SELO <input type="checkbox"/>
10											OTROS <input type="checkbox"/>
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
OBSERVACIONES : _____											
_____											

Figura N° 21: Hoja de campo  
Fuente: Del Águila Rodríguez, Pablo, 1999

### 2.2.6 Cálculo de la Rugosidad.

Como se ha explicado, para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea

una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del rugosímetro, la que sirve para registrar las doscientas posiciones que adopta el puntero del brazo móvil. La división N<sup>o</sup> 25 debe ser tal que corresponda a la posición central del puntero sobre el tablero cuando el perfil del terreno coincide con la línea o cuerda promedio. En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con alguna cercana (dispersión baja), el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea recta (baja rugosidad). Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la división N<sup>o</sup>25 (dispersión alta), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (Figura siguiente). Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior. (Del Aguila Rodriguez, 1999)

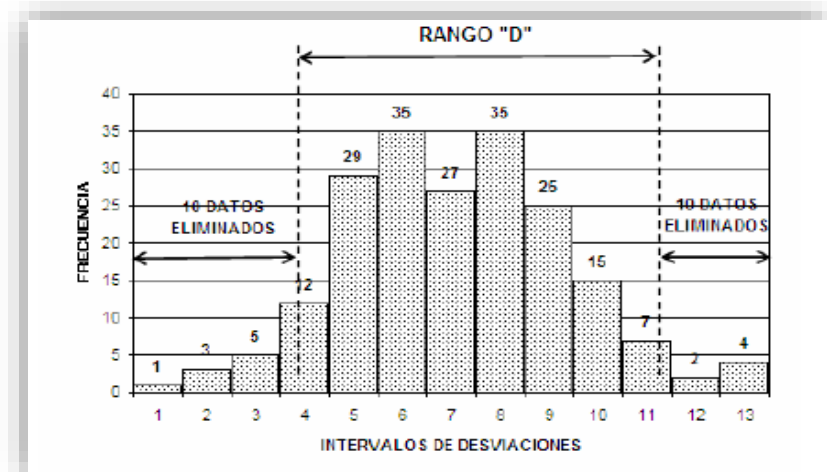


Figura N<sup>o</sup> 22: Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones.

Fuente: Del Águila Rodríguez, Pablo, 1999

## **2.3 Definición de términos básicos.**

### **2.3.1 Conservación.**

Conjunto de trabajos que se ejecutan para obtener la durabilidad, seguridad y eficiencia máxima y mantener las características estéticas de la construcción.

Manual internacional de conservación de carreteras, *“Engloba aquel conjunto de actividades encaminadas a preservar tales vías en condiciones de circulación segura, cómoda y fluida a un mínimo costo global para la sociedad”*.

### **2.3.2 Mantenimiento vial.**

Conjunto de actividades que se tienen que realizar para conservar sus condiciones físicas, de tal modo, que se puedan garantizar la funcionalidad. Lo que se busca principalmente es preservar el financiamiento invertido en la vía y evitar o postergar su deterioro físico prematuro.

### **2.3.3 Rehabilitación.**

Son actividades con el que se busca mejorar o restaurar las condiciones actuales presentes en la edificación, pavimento, puentes, etc. El objetivo es recuperar su funcionalidad (seguridad, serviciabilidad y confort) extendiendo así su vida útil.

### **2.3.4 Reconstrucción.**

Se refiere la actividad de volver a construir un elemento ya existente o que presente severos daños que afecten su funcionalidad.

### **2.3.5 Serviciabilidad del pavimento.**

Es la capacidad de proveer al usuario seguridad y confort durante su recorrido

### **2.3.6 Patologías.**

La patología en la ingeniería, lo definen como lesiones, fallas o daños presentes en las obras como edificaciones, puentes, carreteras, etc. Pueden surgir en la etapa de construcción o por agentes atmosféricos, ocasionando problemas durante o después de la construcción, también pueden provocar pérdidas económicas y a veces humanas cuando es de alta severidad.

## **CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO**

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

#### **3.1.1 Tipo de investigación.**

La investigación es de tipo Aplicada con enfoque cuantitativo, porque tiene la finalidad de orientar a lograr un nuevo conocimiento de manera sistémica y metódica, con el único objetivo de ampliar el conocimiento.

#### **3.1.2 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es de nivel Descriptivo – Exploratoria, Descriptivo, tiene el propósito de describir los niveles de severidad, tipos de fallas presentadas en el pavimento flexible, además de detallar el procedimiento de inspección visual a realizarse. Exploratoria, porque pretende ahondar con la investigación alcances poco antes estudiada, estableciendo prioridades para futuras investigaciones. La base de la investigación está en la toma de datos en campo a través de un formato de evaluación de registro, cuyos resultados se representan en formatos de cálculo, diagramas de sectores y gráficos de barras.

### **3.2 Población y/o muestra de estudio.**

#### **3.2.1 Población.**

La población para la investigación comprende únicamente la Av. Billinghamurst, tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá.

#### **3.2.2 Muestra**

La muestra de estudio es la avenida Billinghamurst, exclusivamente el tramo comprendido Av. Bolognesi – Av. Tarapacá, los cuales presentan fallas de la capa de rodadura.

### **3.3 Operacionalización de variables.**

#### **3.3.1 Variable dependiente:**

##### **Mejorar la transitabilidad vehicular.**

- Definición conceptual.

Mejorar el nivel de servicio de la infraestructura vial, permitiendo un flujo regular durante un determinado periodo.

- Definición operacional.  
Ejecución de obras necesarias para elevar el estándar de la vía.

Indicadores:

- Transitabilidad vehicular.
- Serviciabilidad.
- Parámetros de evaluación.
- Pavimentos, tipos
- Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.
- Ciclo de vida de los pavimentos

### 3.3.1 Variable Independiente:

#### **Evaluación por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible**

- Definición conceptual.  
La deflectometría es la deformación elástica que experimenta el pavimento ante una simulación que genera una carga puntual en la superficie de rodadura. La rugosidad medida por el rugosímetro de MERLIN determina el estado de conservación del pavimento flexible.

- Definición operacional.  
Para determinar las lecturas de la deflexión, utilizando la Viga Benkelman, se debe encontrar la diferencia entre la lectura inicial y final o simplemente realizar la lectura y multiplicar por el factor de relación de brazo.

IRI, Índice de rugosidad internacional, cuyo rango va de 0 (un pavimento ideal, sin ninguna imperfección) hasta 12 (una carretera completamente intransitable) normalmente.

Indicadores:

- Deflectometría del pavimento
- Medición de deflexiones, Viga Benkelman
- Deflexión característica (Dc).
- Deflexión admisible (Dadm).
- Rugosidad
- Rugosímetro de MERLIN.

- Esquema del rugosímetro.
- Cálculo del índice de rugosidad.

### **3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.**

#### **3.4.1 Técnicas**

La metodología y técnicas utilizadas es el uso del Rugosímetro de MERLIN, y el uso de la VIGA BENKELMAN, para la obtener los datos de campo y el cálculo de la rugosidad internacional y las deflexiones en la avenida Billinghamurst en todo el tramo que comprende Av. Bolognesi – Av. Tarapacá.

Para la elaboración de la investigación se procede con la búsqueda de la avenida que cumpla con las condiciones necesarias para ser analizada, referidos al estado superficial y estructural mediante el conocimiento de las deflexiones y el índice de rugosidad internacional, para conocer el estado de conservación del pavimento flexible. Una vez realizado el trabajo de campo se pasa a gabinete a realizar los cálculos para determinar las deflexiones presentes y los valores del índice de rugosidad internacional, utilizando los equipos indicados.

#### **3.4.2 Instrumentos**

- Rugosímetro de MERLIN.
- Viga Benkelman.
- Ficha o formulario de campo para MERLIN
- Guías de observación y formatos de campo
- Cámara fotográfica.
- Flexómetro de 100 m

### **3.5 Procesamiento y análisis de datos.**

En base a los datos obtenidos de campo para la Viga Benkelman, lecturas de campo  $L_{max}$ ,  $L_{25}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{75}$  y  $L_{100}$ , para luego calcular las deflexiones del pavimento y para el rugosímetro de MERLIN, se determina en ambos márgenes en tramos de 400 m, para calcular el índice de rugosidad internacional (IRI), para el procesamiento de datos y calculo respectivo se utiliza la Hoja Electrónica EXCEL.

## CAPITULO IV RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN.

De acuerdo a los resultados obtenidos del levantamiento de datos con la utilización del rugosímetro de MERLIN, evaluando el carril derecho y el carril izquierdo considerando 3 tramos de evaluación.

*Tabla N°05:* Datos de campo para medición de la rugosidad, carril derecho - Tramo 01

EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN										
PROYECTO: EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019										
SECTOR: 0+000 al 0+400					N° DE ENSAYO: 1					
CARRIL: DERECHA					FECHA: 17/08/2020					
LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	23	6	0	27	26	18	35	36	27	38
2	0	17	40	23	28	35	38	27	38	33
3	50	26	38	31	25	45	26	25	30	27
4	40	29	22	30	29	31	26	35	24	39
5	19	40	48	26	16	23	37	13	21	39
6	22	22	34	20	31	29	27	27	0	21
7	30	32	35	40	20	25	34	42	43	29
8	22	18	39	29	24	26	22	34	35	28
9	18	36	50	28	16	31	38	50	19	33
10	32	9	0	38	28	0	27	18	36	32
11	28	3	15	29	37	30	24	12	20	32
12	23	27	24	15	34	33	36	28	25	22
13	29	36	15	35	12	19	14	33	50	29
14	28	27	34	31	16	33	25	33	26	26
15	18	27	26	16	30	27	28	28	22	24
16	28	30	34	17	25	31	38	24	30	36
17	30	19	33	35	25	20	50	27	34	21
18	50	0	23	28	50	28	39	22	27	25
19	4	41	37	31	21	35	35	34	22	46
20	13	34	26	29	28	34	20	33	27	26
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

TIPO DE PAVIMENTO:

AFIRMADO

BASE GRANULAR

BASE IMPRIMADA

TRAT. EN CAPA

CARPETA EN FRIO

CARPETA EN CALIENTE

RECAPEO ASFÁLTICO

SELLO

OTROS

Fuente: Elaboración propia.

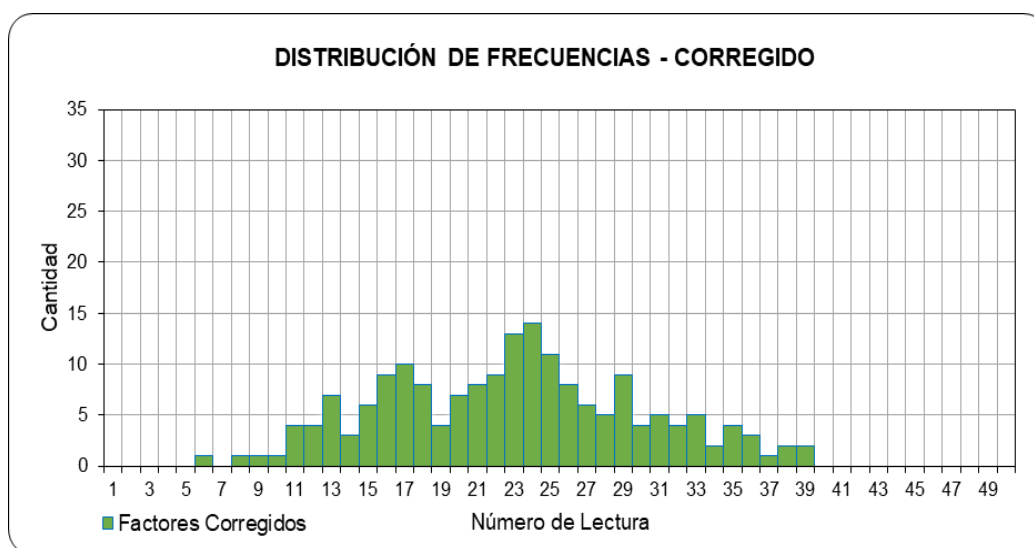


Figura N° 23. Distribución de frecuencia corregido, tramo 01.  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 06: Datos de campo para medición de la rugosidad, carril derecho - Tramo 02

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN

**PROYECTO:** EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019

**SECTOR:** 0+400 al 0+800      **N° DE ENSAYO:** 2  
**CARRIL:** DERECHA      **FECHA:** 17/08/2020

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN											TIPO DE PAVIMENTO:	
1	23	6	0	27	26	18	35	36	27	38	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	0	17	40	23	28	35	38	27	38	33	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	50	26	38	31	25	45	26	25	30	27	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	40	29	22	30	29	31	26	35	24	39	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	19	40	48	26	16	23	37	13	21	39	CARPETA EN FRIO	<input type="checkbox"/>
6	22	22	34	20	31	29	27	27	0	21	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	30	32	35	40	20	25	34	42	43	29	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	22	18	39	29	24	26	22	34	35	28	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	18	36	50	28	16	31	38	50	19	33	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	32	9	0	38	28	0	27	18	36	32		
11	28	3	15	29	37	30	24	12	20	32		
12	23	27	24	15	34	33	36	28	25	22		
13	29	36	15	35	12	19	14	33	50	29		
14	28	27	34	31	16	33	25	33	26	26		
15	18	27	26	16	30	27	28	28	22	24		
16	28	30	34	17	25	31	38	24	30	36		
17	30	19	33	35	25	20	50	27	34	21		
18	50	0	23	28	50	28	39	22	27	25		
19	4	41	37	31	21	35	35	34	22	46		
20	13	34	26	29	28	34	20	33	27	26		

Fuente: Elaboración propia.

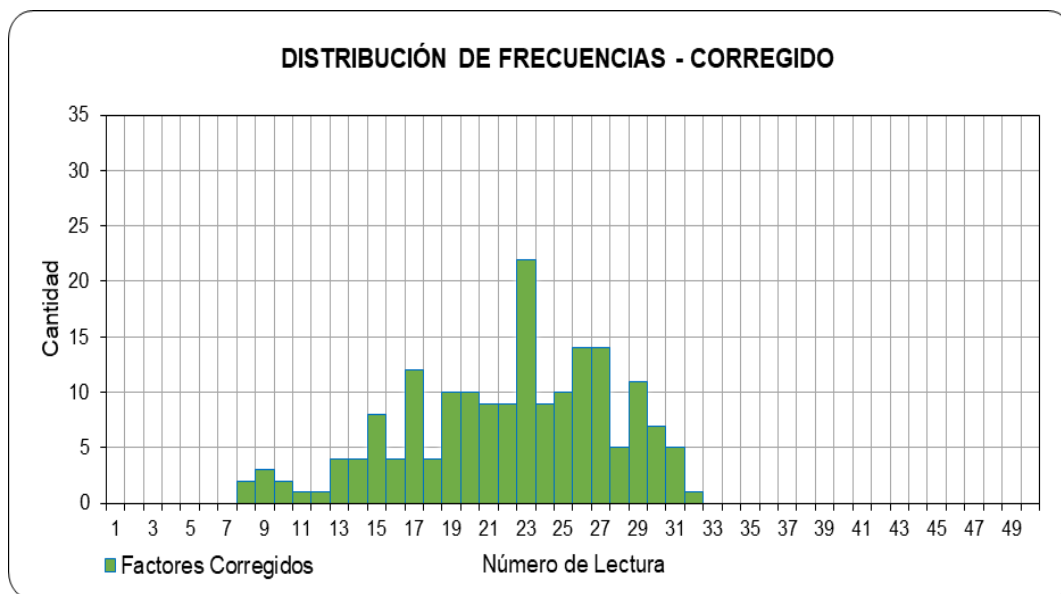


Figura N° 24. Distribución de frecuencia corregido, tramo 02.  
Fuente: Elaboración propia.



Tabla N° 07: Datos de campo para medición de la rugosidad, carril derecho - Tramo 03

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019

**SECTOR:** 0+800 al 0+1200      **N° DE ENSAYO:** 3  
**CARRIL:** DERECHA      **FECHA:** 17/08/2020

		LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										TIPO DE PAVIMENTO:	
1		23	6	0	27	26	18	35	36	27	38	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2		0	17	40	23	28	35	38	27	38	33	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3		50	26	38	31	25	45	26	25	30	27	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4		40	29	22	30	29	31	26	35	24	39	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5		19	40	48	26	16	23	37	13	21	39	CARPETA EN FRIO	<input type="checkbox"/>
6		22	22	34	20	31	29	27	27	0	21	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7		30	32	35	40	20	25	34	42	43	29	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8		22	18	39	29	24	26	22	34	35	28	SELLO	<input type="checkbox"/>
9		18	36	50	28	16	31	38	50	19	33	OTROS	<input type="checkbox"/>
10		32	9	0	38	28	0	27	18	36	32		
11		28	3	15	29	37	30	24	12	20	32		
12		23	27	24	15	34	33	36	28	25	22		
13		29	36	15	35	12	19	14	33	50	29		
14		28	27	34	31	16	33	25	33	26	26		
15		18	27	26	16	30	27	28	28	22	24		
16		28	30	34	17	25	31	38	24	30	36		
17		30	19	33	35	25	20	50	27	34	21		
18		50	0	23	28	50	28	39	22	27	25		
19		4	41	37	31	21	35	35	34	22	46		
20		13	34	26	29	28	34	20	33	27	26		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

Fuente: Elaboración propia.

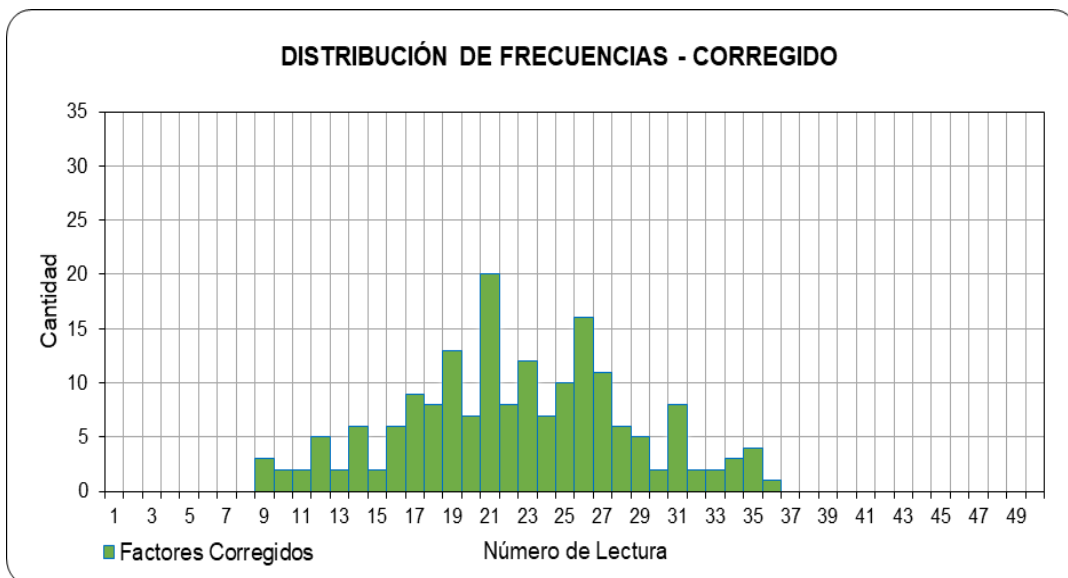


Figura 25: Distribución de frecuencia corregido, tramo 03.  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 08: Datos de campo para medición de la rugosidad, carril izquierdo - Tramo 01

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019

**SECTOR:** 0+000 al 0+400      **N° DE ENSAYO:** 1  
**CARRIL:** IZQUIERDA      **FECHA:** 17/08/2020

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN											TIPO DE PAVIMENTO:
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
23	6	0	27	26	18	35	36	27	38		
0	17	40	23	28	35	38	27	38	33	AFIRMADO	
50	26	38	31	25	45	26	25	30	27	BASE GRANULAR	
40	29	22	30	29	31	26	35	24	39	BASE IMPRIMADA	
19	40	48	26	16	23	37	13	21	39	TRAT. EN CAPA	
22	22	34	20	31	29	27	27	0	21	CARPETA EN FRIO	
30	32	35	40	20	25	34	42	43	29	CARPETA EN CALIENTE	
22	18	39	29	24	26	22	34	35	28	RECAPEO ASFÁLTICO	
18	36	50	28	16	31	38	50	19	33	SELLO	
32	9	0	38	28	0	27	18	36	32	OTROS	
28	3	15	29	37	30	24	12	20	32		
23	27	24	15	34	33	36	28	25	22		
29	36	15	35	12	19	14	33	50	29		
28	27	34	31	16	33	25	33	26	26		
18	27	26	16	30	27	28	28	22	24		
28	30	34	17	25	31	38	24	30	36		
30	19	33	35	25	20	50	27	34	21		
50	0	23	28	50	28	39	22	27	25		
4	41	37	31	21	35	35	34	22	46		
13	34	26	29	28	34	20	33	27	26		

Fuente: Elaboración propia.

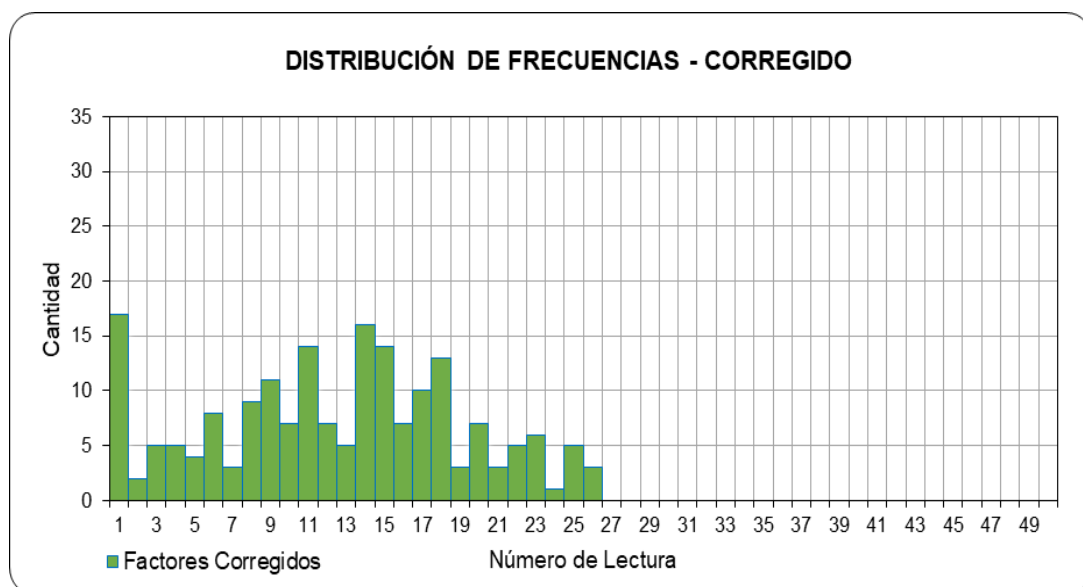


Figura 26. Distribución de frecuencia corregido, tramo 01.  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 09: Datos de campo para medición de la rugosidad, carril izquierdo - Tramo 02

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
 HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019

**SECTOR:** 0+400 al 0+800 **N° DE ENSAYO:** 2  
**CARRIL:** IZQUIERDA **FECHA:** 17/08/2020

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	23	6	0	27	26	18	35	36	27	38
2	0	17	40	23	28	35	38	27	38	33
3	50	26	38	31	25	45	26	25	30	27
4	40	29	22	30	29	31	26	35	24	39
5	19	40	48	26	16	23	37	13	21	39
6	22	22	34	20	31	29	27	27	0	21
7	30	32	35	40	20	25	34	42	43	29
8	22	18	39	29	24	26	22	34	35	28
9	18	36	50	28	16	31	38	50	19	33
10	32	9	0	38	28	0	27	18	36	32
11	28	3	15	29	37	30	24	12	20	32
12	23	27	24	15	34	33	36	28	25	22
13	29	36	15	35	12	19	14	33	50	29
14	28	27	34	31	16	33	25	33	26	26
15	18	27	26	16	30	27	28	28	22	24
16	28	30	34	17	25	31	38	24	30	36
17	30	19	33	35	25	20	50	27	34	21
18	50	0	23	28	50	28	39	22	27	25
19	4	41	37	31	21	35	35	34	22	46
20	13	34	26	29	28	34	20	33	27	26

- TIPO DE PAVIMENTO:**
- AFIRMADO
  - BASE GRANULAR
  - BASE IMPRIMADA
  - TRAT. EN CAPA
  - CARPETA EN FRIO
  - CARPETA EN CALIENTE
  - RECAPEO ASFÁLTICO
  - SELLO
  - OTROS

Fuente: Elaboración propia.

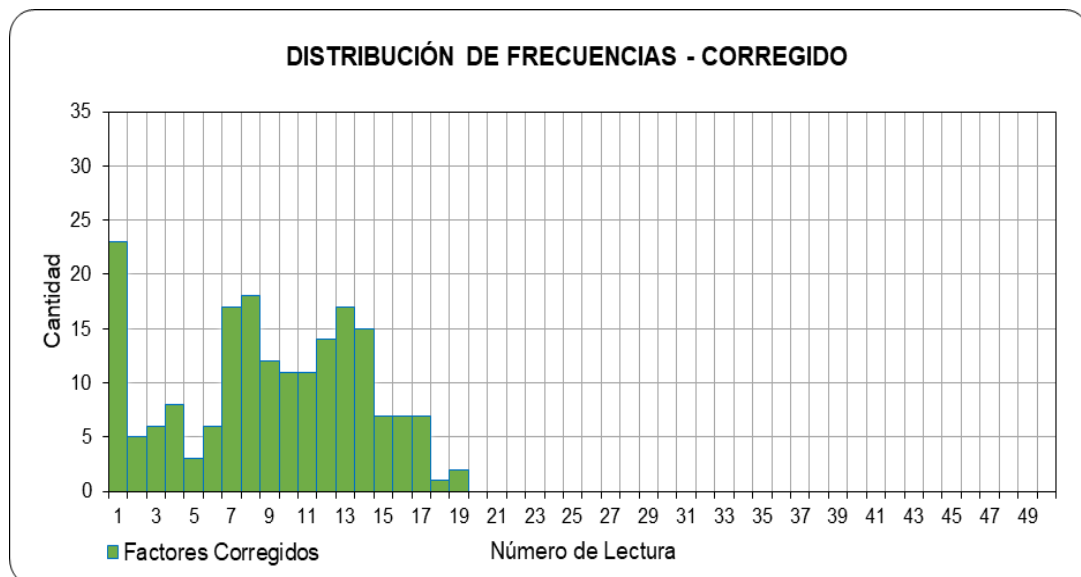


Figura N° 27. Distribución de frecuencia corregido, tramo 02.  
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 10: Datos de campo para medición de la rugosidad, carril izquierdo - Tramo 03

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019

**SECTOR:** 0+800 al 0+1200      **N° DE ENSAYO:** 3  
**CARRIL:** IZQUIERDA      **FECHA:** 17/08/2020

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	23	6	0	27	26	18	35	36	27	38
2	0	17	40	23	28	35	38	27	38	33
3	50	26	38	31	25	45	26	25	30	27
4	40	29	22	30	29	31	26	35	24	39
5	19	40	48	26	16	23	37	13	21	39
6	22	22	34	20	31	29	27	27	0	21
7	30	32	35	40	20	25	34	42	43	29
8	22	18	39	29	24	26	22	34	35	28
9	18	36	50	28	16	31	38	50	19	33
10	32	9	0	38	28	0	27	18	36	32
11	28	3	15	29	37	30	24	12	20	32
12	23	27	24	15	34	33	36	28	25	22
13	29	36	15	35	12	19	14	33	50	29
14	28	27	34	31	16	33	25	33	26	26
15	18	27	26	16	30	27	28	28	22	24
16	28	30	34	17	25	31	38	24	30	36
17	30	19	33	35	25	20	50	27	34	21
18	50	0	23	28	50	28	39	22	27	25
19	4	41	37	31	21	35	35	34	22	46
20	13	34	26	29	28	34	20	33	27	26

- TIPO DE PAVIMENTO:**
- AFIRMADO
  - BASE GRANULAR
  - BASE IMPRIMADA
  - TRAT. EN CAPA
  - CARPETA EN FRIO
  - CARPETA EN CALIENTE
  - RECAPEO ASFÁLTICO
  - SELLO
  - OTROS

Fuente: Elaboración propia.

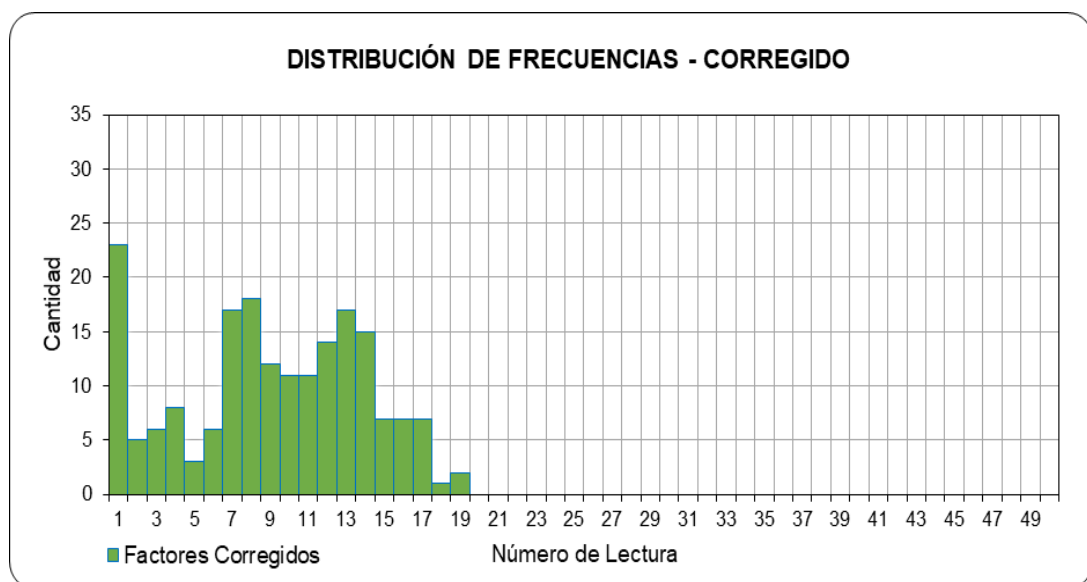


Figura N° 28. Distribución de frecuencia corregido, tramo 03.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 11: Resultados del cálculo de la rugosidad con MERLIN, tramo 1, ensayo 1.

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN**



<b>PROYECTO:</b>	EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019						
<b>TRAMO:</b>	I	<b>N° DE ENSAYO:</b>	1	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 0+0.00 al Km 0+400.00	<b>CARRIL:</b>	DERECHO
<b>LONGITUD:</b>	1500 m.	<b>FECHA:</b>	6/06/2020	<b>OPERADOR:</b>	LPD	<b>AUXILIAR:</b>	MGUEL JINCHUÑA ALANCOCA

LECTURA INICIAL: 23  
 LECTURA FINAL: 7

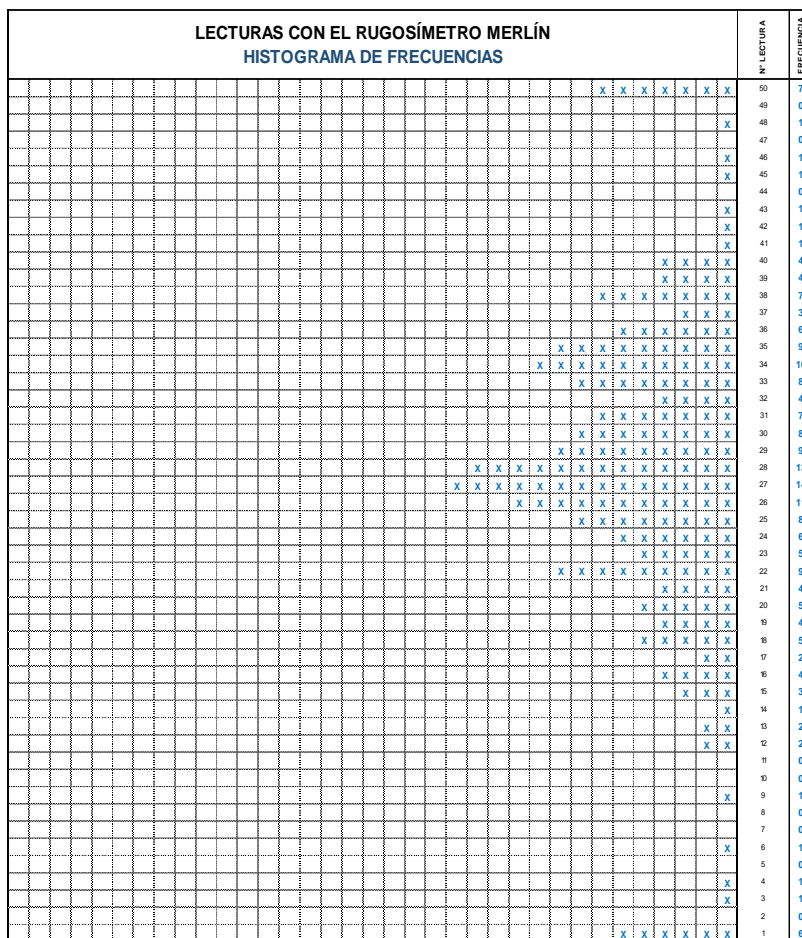
LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	23	6	0	27	26	18	35	36	27	38
2	0	17	40	23	28	35	38	27	38	33
3	50	26	38	31	25	45	26	25	30	27
4	40	29	22	30	29	31	26	35	24	39
5	19	40	48	26	16	23	37	13	21	39
6	22	22	34	20	31	29	27	27	0	21
7	30	32	35	40	20	25	34	42	43	29
8	22	18	39	29	24	26	22	34	35	28
9	18	36	50	28	16	31	38	50	19	33
10	32	9	0	38	28	0	27	18	36	32
11	28	3	15	29	37	30	24	12	20	32
12	23	27	24	15	34	33	36	28	25	22
13	29	36	15	35	12	19	14	33	50	29
14	28	27	34	31	16	33	25	33	26	26
15	18	27	26	16	30	27	28	28	22	24
16	28	30	34	17	25	31	38	24	30	36
17	30	19	33	35	25	20	50	27	34	21
18	50	0	23	28	50	28	39	22	27	25
19	4	41	37	31	21	35	35	34	22	46
20	13	34	26	29	28	34	20	33	27	26

**FACTOR DE CORRECCION** FC = 0.75

**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI = EXTREMO INFERIOR CE = CENTRO ES = EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $D > 40 \text{ mm}$        $D < 40 \text{ mm}$   
 IRI = 0.593 + 0.0471D      IRI = 0.0485D

RESULTADOS	
<b>Datos:</b>	
NÚMERO DE DATOS:	200.00
DATOS DESCARTADOS:	20.00
RELACIÓN DE BRAZOS:	1.00
FACTOR DE CORRECCIÓN:	0.75
<b>Resultado del IRI:</b>	
RANGO "D":	165.000 mm
RANGO CORREGIDO "Dcr":	123.750 mm
<b>RUGOSIDAD IRI:</b>	<b>6.422 m/Km</b>
<b>Observaciones:</b>	



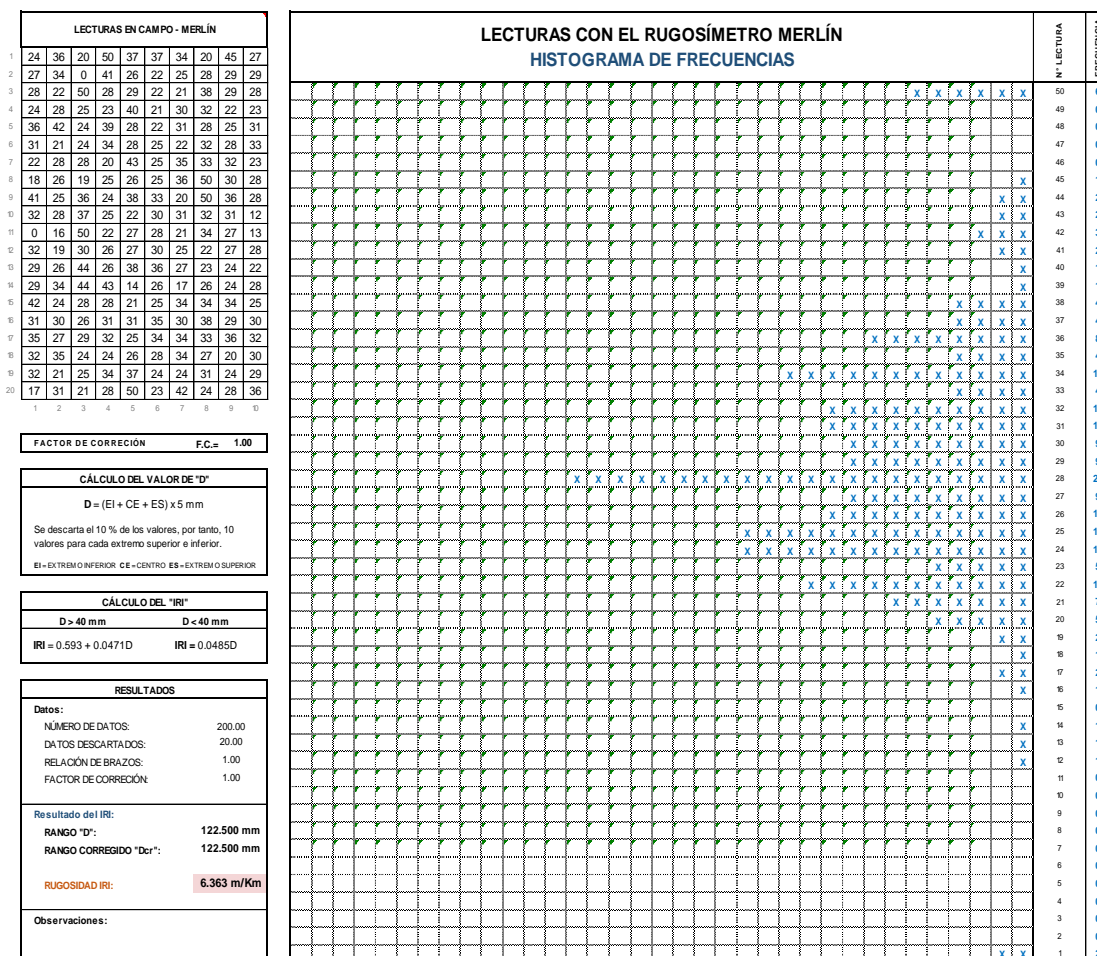
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 12: Resultados del cálculo de la rugosidad con MERLIN, tramo 1, ensayo 2.

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN



PROYECTO:	EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019						
TRAMO:	I	N° DE ENSAYO:	2	PROGRESIVA:	Km 0+400.00 al Km 0+800.00	CARRIL:	DERECHO
LONGITUD:	1500 m.	FECHA:	6/06/2020	OPERADOR:	LPD	AUXILIAR:	MGUEL JINCHUÑA ALANCOCA



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 13: Resultados del cálculo de la rugosidad con MERLIN, tramo 1, ensayo 3.

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN**



<b>PROYECTO:</b>	EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019						
<b>TRAMO:</b>	I	<b>N° DE ENSAYO:</b>	3	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 0+88.00 al Km 1+200.00	<b>CARRIL:</b>	DERECHO
<b>LONGITUD:</b>	1500 m.	<b>FECHA:</b>	6/06/2020	<b>OPERADOR:</b>	LPD	<b>AUXILIAR:</b>	MIGUEL JINCHUÑA ALANCOCA

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	22	30	32	39	22	36	33	37	28	21
2	35	31	47	44	31	36	33	25	13	24
3	24	25	32	33	17	35	34	20	25	30
4	31	25	30	20	25	37	32	46	29	20
5	37	32	16	30	25	20	20	27	34	30
6	22	30	26	39	28	27	28	18	27	26
7	28	18	25	32	37	44	34	27	26	29
8	19	28	42	40	35	46	32	30	33	12
9	39	26	30	26	31	32	32	25	39	16
10	25	20	30	23	25	29	33	23	29	22
11	28	15	29	26	30	34	30	38	14	30
12	41	27	14	17	24	26	25	34	33	31
13	37	32	24	23	20	28	29	14	35	33
14	26	35	41	33	17	23	28	25	23	28
15	37	26	30	29	16	30	24	32	32	15
16	32	24	38	23	27	30	30	24	27	24
17	24	39	0	16	26	20	42	42	21	22
18	34	19	47	5	25	24	30	31	5	25
19	31	0	47	34	30	25	24	32	25	28
20	30	28	48	28	40	35	29	34	30	34

FACTOR DE CORRECIÓN F.C.= 1.00

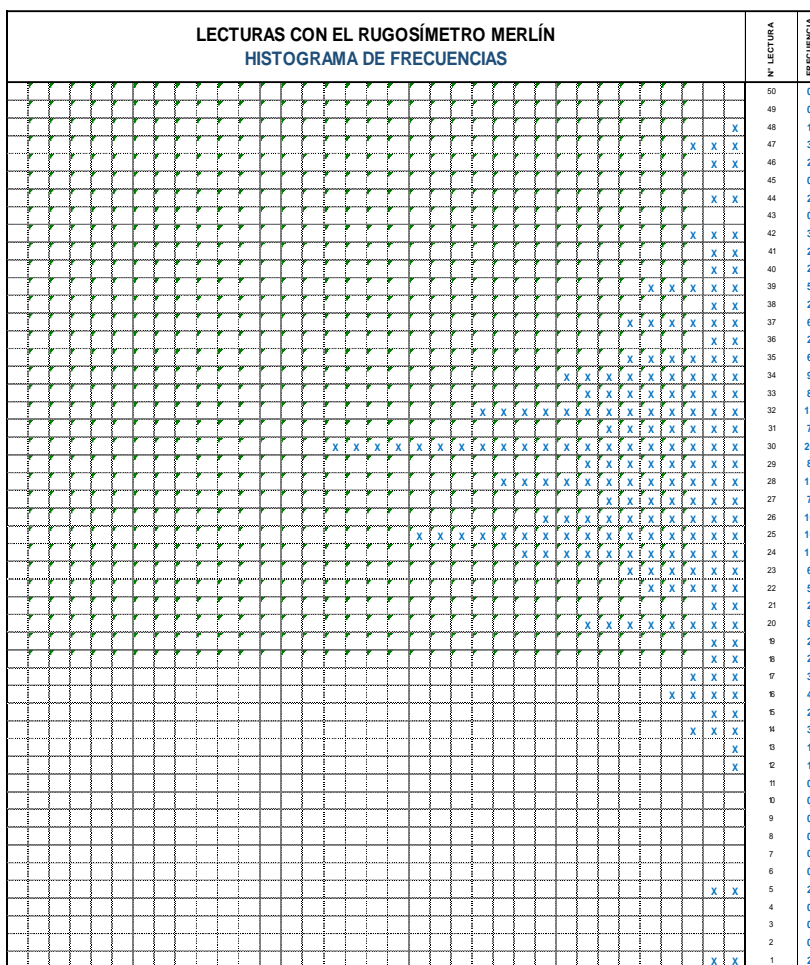
**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI - EXTREMO INFERIOR CE - CENTRO ES - EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $IRI = 0.593 + 0.0471D$        $IRI = 0.0485D$

**RESULTADOS**

Datos:  
 NÚMERO DE DATOS: 200.00  
 DATOS DESCARTADOS: 20.00  
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00  
 FACTOR DE CORRECIÓN: 1.00

Resultado del IRI:  
 RANGO "D": 137.500 mm  
 RANGO CORREGIDO "Dcr": 137.500 mm  
 RUGOSIDAD IRI: 7.069 m/Km



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 14: Resultados del cálculo de la rugosidad con MERLIN, tramo 2, ensayo 1.

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN



PROYECTO:	EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019				
-----------	---	--	--	--	--

TRAMO:	II	N° DE ENSAYO:	1	PROGRESIVA:	Km 0+0.00 al Km 0+400.00	CARRIL:	IZQUIERDO
LONGITUD:	1500 m.	FECHA:	6/06/2020	OPERADOR:	LPD	AUXILIAR:	MGUEL JINCHUÑA ALANCOA

LECTURA INICIAL: 25  
 LECTURA FINAL: 9

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	25	42	21	31	36	35	50	33	27	29
2	41	50	34	33	43	50	44	50	24	40
3	40	42	45	45	32	50	36	25	48	40
4	47	47	43	26	33	36	31	47	30	45
5	34	40	47	38	36	46	49	28	36	43
6	41	37	36	38	29	38	44	26	37	37
7	26	38	49	42	45	40	26	34	37	40
8	37	45	35	30	40	18	40	50	46	32
9	36	48	40	37	41	48	48	43	40	35
10	42	40	43	37	30	37	39	39	37	28
11	34	50	42	36	28	36	40	39	33	37
12	29	26	29	35	44	46	8	29	42	50
13	34	12	21	33	39	35	33	42	18	37
14	33	42	33	43	33	43	48	50	22	34
15	39	33	34	50	50	41	31	50	25	32
16	50	45	37	42	33	46	50	25	35	37
17	43	36	33	42	31	40	50	45	38	41
18	28	36	40	36	34	28	31	42	37	50
19	36	33	34	41	47	50	43	31	31	39
20	37	34	45	28	21	35	37	39	36	41
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

FACTOR DE CORRECCIÓN F.C.= 0.75

**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI = EXTREMO INFERIOR CE = CENTRO ES = EXTREMO SUPERIOR

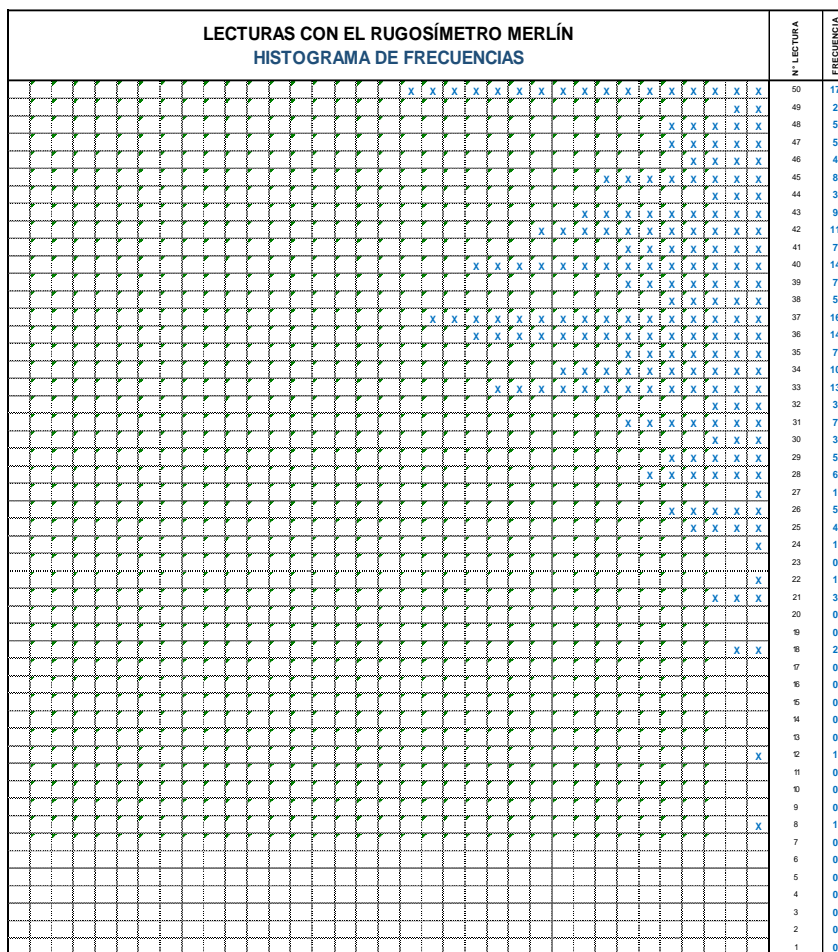
**CÁLCULO DEL "IRI"**  

D > 40 mm	D < 40 mm
IRI = 0.593 + 0.0471D	IRI = 0.0485D

**RESULTADOS**  
 Datos:  
 NÚMERO DE DATOS: 200.00  
 DATOS DESCARTADOS: 20.00  
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00  
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 0.75

Resultado del IRI:  
 RANGO "D": 128.750 mm  
 RANGO CORREGIDO "Dcr": 96.563 mm  
**RUGOSIDAD IRI: 5.141 m/Km**

Observaciones:



Fuente: Elaboración propia.



Tabla N° 15: Resultados del cálculo de la rugosidad con MERLIN, tramo 2, ensayo 2.

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN



PROYECTO:	EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019				
TRAMO:	II	N° DE ENSAYO:	2	PROGRESIVA:	Km 0+400.00 al Km 0+800.00
LONGITUD:	1500 m.	FECHA:	6/06/2020	OPERADOR:	LPD
				CARRIL:	IZQUIERDO
				AUXILIAR:	MIGUEL JINCHUÑA ALANCOCA

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										LECTURAS CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN																				H. LECTURA	FRECUENCIA	
1	50	42	42	40	50	47	50	42	42	42	[Grid with 'X' marks]																				50	23
2	42	38	44	36	50	38	47	40	37	43	[Grid with 'X' marks]																				49	5
3	50	43	41	44	34	39	48	35	44	39	[Grid with 'X' marks]																				48	6
4	36	37	40	35	50	34	33	41	35	49	[Grid with 'X' marks]																				47	8
5	50	39	42	37	35	38	48	37	37	44	[Grid with 'X' marks]																				46	3
6	28	37	38	38	49	39	48	48	32	43	[Grid with 'X' marks]																				45	6
7	50	44	37	50	44	37	45	40	46	43	[Grid with 'X' marks]																				44	17
8	39	47	34	43	45	44	49	44	50	50	[Grid with 'X' marks]																				43	18
9	32	34	42	40	46	50	43	37	50	39	[Grid with 'X' marks]																				42	12
10	50	36	45	44	43	50	37	40	36	41	[Grid with 'X' marks]																				41	11
11	49	39	30	37	36	48	36	35	44	44	[Grid with 'X' marks]																				40	11
12	43	41	39	38	28	40	41	38	47	43	[Grid with 'X' marks]																				39	14
13	49	41	47	41	37	37	32	35	50	43	[Grid with 'X' marks]																				38	17
14	50	36	38	34	34	42	40	39	50	34	[Grid with 'X' marks]																				37	15
15	39	43	40	32	40	44	42	44	38	43	[Grid with 'X' marks]																				36	7
16	37	32	41	50	45	38	45	43	42	32	[Grid with 'X' marks]																				35	7
17	38	47	38	48	40	43	43	38	42	50	[Grid with 'X' marks]																				34	1
18	46	43	44	0	44	41	44	47	38	50	[Grid with 'X' marks]																				33	7
19	41	38	39	31	43	38	47	35	50	44	[Grid with 'X' marks]																				32	6
20	45	37	50	13	39	43	39	41	39	38	[Grid with 'X' marks]																				31	1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	[Grid with 'X' marks]																				30	0
											[Grid with 'X' marks]																				29	0
											[Grid with 'X' marks]																				28	0
											[Grid with 'X' marks]																				27	0
											[Grid with 'X' marks]																				26	0
											[Grid with 'X' marks]																				25	0
											[Grid with 'X' marks]																				24	0
											[Grid with 'X' marks]																				23	0
											[Grid with 'X' marks]																				22	0
											[Grid with 'X' marks]																				21	0
											[Grid with 'X' marks]																				20	0
											[Grid with 'X' marks]																				19	0
											[Grid with 'X' marks]																				18	0
											[Grid with 'X' marks]																				17	0
											[Grid with 'X' marks]																				16	0
											[Grid with 'X' marks]																				15	0
											[Grid with 'X' marks]																				14	0
											[Grid with 'X' marks]																				13	1
											[Grid with 'X' marks]																				12	0
											[Grid with 'X' marks]																				11	0
											[Grid with 'X' marks]																				10	0
											[Grid with 'X' marks]																				9	0
											[Grid with 'X' marks]																				8	0
											[Grid with 'X' marks]																				7	0
											[Grid with 'X' marks]																				6	0
											[Grid with 'X' marks]																				5	0
											[Grid with 'X' marks]																				4	0
											[Grid with 'X' marks]																				3	0
											[Grid with 'X' marks]																				2	0
											[Grid with 'X' marks]																				1	1

FACTOR DE CORRECCIÓN F.C.<sub>m</sub> 1.00

**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI=EXTREMO INFERIOR; CE=CENTRO; ES=EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $D > 40 \text{ mm}$        $D < 40 \text{ mm}$   
 $IRI = 0.593 + 0.0471D$        $IRI = 0.0485D$

**RESULTADOS**

Datos:  
 NÚMERO DE DATOS: 200.00  
 DATOS DESCARTADOS: 20.00  
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00  
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 1.00

Resultado del IRI:  
 RANGO "D": 91.667 mm  
 RANGO CORREGIDO "Dcr": 91.667 mm  
 RUGOSIDAD IRI: 4.911 m/Km

Observaciones:

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 16: Resultados del cálculo de la rugosidad con MERLIN, tramo 2, ensayo 3.

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN



PROYECTO:	EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019						
TRAMO:	II	N° DE ENSAYO:	3	PROGRESIVA:	Km 0+800.00 al Km 1+200.00	CARRIL:	IZQUIERDO
LONGITUD:	1500 m.	FECHA:	6/06/2020	OPERADOR:	LPD	AUXILIAR:	MIGUEL JINCHUÑA ALANCOA

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	44	35	34	33	28	39	33	38	36	45
2	43	50	38	39	36	41	46	50	41	45
3	44	43	39	41	48	28	47	41	50	16
4	42	50	44	46	45	40	40	42	24	48
5	42	39	41	47	41	46	30	37	45	36
6	43	39	48	35	49	32	47	42	50	29
7	40	18	47	50	26	46	36	40	50	42
8	42	19	49	50	50	49	36	41	47	50
9	37	46	33	25	36	40	41	34	43	42
10	37	48	29	50	50	27	42	33	50	16
11	48	38	48	34	38	32	49	42	37	45
12	41	43	47	16	41	33	36	35	42	44
13	30	43	40	50	44	38	50	42	50	30
14	40	39	40	45	45	50	39	42	50	18
15	33	42	39	42	43	48	38	42	44	30
16	50	42	31	35	50	41	37	43	38	32
17	41	41	38	31	49	41	33	36	44	34
18	44	42	40	36	45	33	38	47	48	50
19	45	38	44	48	43	36	47	32	42	33
20	38	38	40	21	48	44	24	39	26	38

FACTOR DE CORRECIÓN F.C.= 1.00

**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI-EXTREMO INFERIOR CE-CENTRO ES-EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $IRI = 0.593 + 0.0471D$        $IRI = 0.0485D$

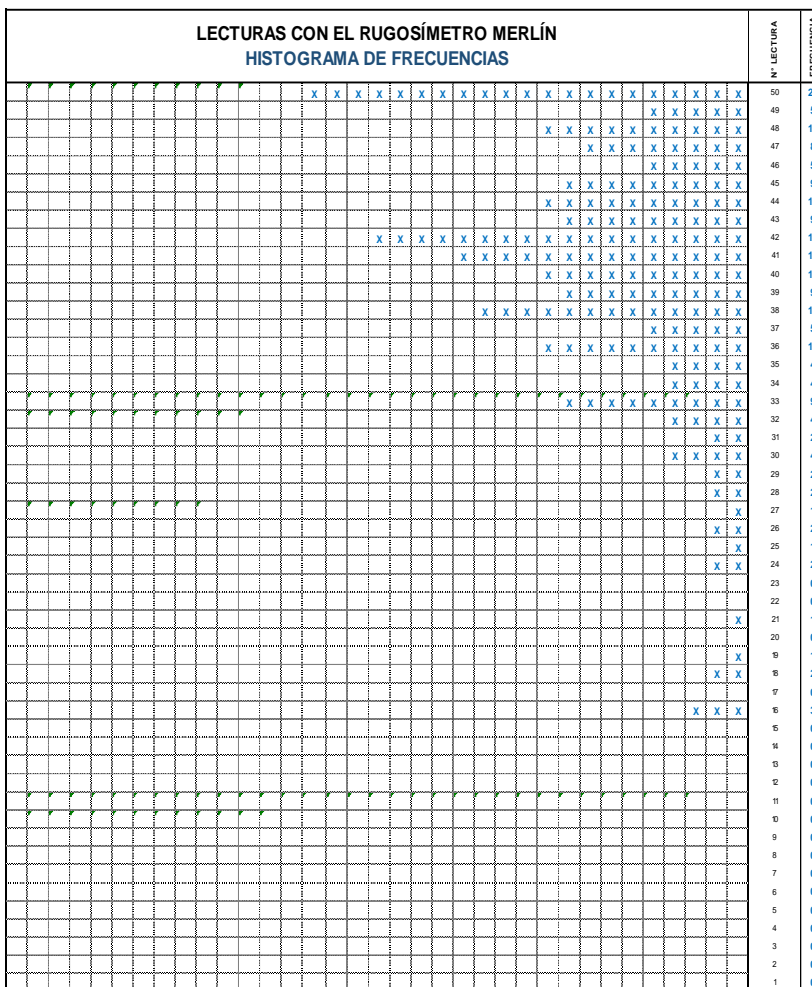
**RESULTADOS**

Datos:  
 NÚMERO DE DATOS: 200.00  
 DATOS DESCARTADOS: 20.00  
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00  
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 1.00

Resultado del IRI:  
 RANGO "D": 125.000 mm  
 RANGO CORREGIDO "Dcr": 125.000 mm

**RUGOSIDAD IRI: 6.481 m/Km**

Observaciones:



Fuente: Elaboración propia.

## **4.2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA**

### **4.2.1 RESULTADOS DE LA VIGA BENKELMAN DEL TRAMO 1 Y TRAMO 2.**

Para la evaluación de las deflexiones se utilizó una viga Benkelman de doble brazo con una relación de 1:4, además se utilizó un vehículo de carga con un peso en el eje trasero de 8200 kg, el ensayo se desarrolló el día 18 de julio del 2020 desde 6:30 am a 11:00 pm y una temperatura del pavimento de 20°C.

Los puntos de lectura se tienen que ubicar a una determinada distancia medido del borde del pavimento, como el ancho de cada carril de la Av. Billinghamurst es de 3.30 metros, entonces los puntos de lectura se ubicarían a 0.75 metros medido desde el borde del pavimento.

La toma de lecturas de las deflexiones del pavimento con la viga Benkelman, se realizaron a cada  $L_{max}$ ,  $L_{25}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{75}$  y  $L_{100}$  cm por cada punto de estación, además se está considerando para determinar la “Deflexión Admisible” un valor de ESAL de  $4.20 \times 10^6$ , obtenido de un estudio cercano al área de estudio que realicé en la Av. Billinghamurst de la ciudad de Tacna. Finalmente, para el cálculo de la “Deflexión Característica” se consideró como una carretera de Primera Clase con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, según el manual de carreteras, recomienda que para determinar la deflexión característica se utilice  $D_c = D_m + 1.645\sigma$  con una confiabilidad al 95%. Para mayor detalle se puede revisar la Tabla 02.

### **4.2.2 RESULTADOS DE LAS DEFLEXIONES EN EL CARRIL DERECHO TRAMO 1**

Para la evaluación de las deflexiones en la av. Billinghamurst del Tramo N°01, se utilizó el equipo de la empresa “IngeServicios S.A.C.”, además los resultados corregidos por temperatura fueron verificados y certificados por la misma empresa, se muestra los resultados del margen derecho e izquierdo a cada 50 m., sin la corrección por estacionalidad proporcionada por la empresa “INGESERVICIOS SAC”. Ver Anexo N°01.

Tabla N° 17: Resultados corregidos por temperatura del margen derecho, tramo 01

Progresiva (Km)	Margen	Temp. (°C)	Lectura de campo (E <sup>2</sup> mm)						Deflexiones (E <sup>2</sup> mm)					Radio de curvatura
			L <sub>max</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	D <sub>max</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	
0+000	Derecho	20	8.0	0.0	1.0	2.0	4.0	5.0	32.0	28.0	24.0	16.0	12.0	781.25
0+100	Derecho	20	13.0	0.0	3.0	5.0	9.0	10.0	52.0	40.0	32.0	16.0	12.0	260.42
0+200	Derecho	20	20.0	0.0	3.0	7.0	9.0	15.0	80.0	68.0	52.0	44.0	20.0	260.42
0+400	Derecho	20	7.0	0.0	1.0	3.0	4.0	6.0	28.0	24.0	16.0	12.0	4.0	781.25
0+500	Derecho	20	18.0	0.0	2.0	4.0	5.0	8.0	72.0	64.0	56.0	52.0	40.0	390.63
0+600	Derecho	20	11.0	0.0	3.0	5.0	8.0	9.0	44.0	32.0	24.0	12.0	8.0	260.42
0+700	Derecho	20	10.0	0.0	3.0	5.0	6.0	8.0	40.0	28.0	20.0	16.0	8.0	260.42
0+800	Derecho	20	12.0	0.0	1.0	3.0	5.0	9.0	48.0	44.0	36.0	28.0	12.0	781.25
0+900	Derecho	20	28.0	0.0	2.0	7.0	11.0	24.0	112.0	104.0	84.0	68.0	16.0	390.63
1+000	Derecho	20	13.0	0.0	1.0	5.0	9.0	10.0	52.0	48.0	32.0	16.0	12.0	781.25
1+100	Derecho	20	20.0	0.0	2.0	8.0	12.0	16.0	80.0	72.0	48.0	32.0	16.0	390.63
1+200	Derecho	20	8.0	0.0	2.0	3.0	5.0	6.0	32.0	24.0	20.0	12.0	8.0	390.63
1+300	Derecho	20	23.0	0.0	1.0	5.0	9.0	15.0	92.0	88.0	72.0	56.0	32.0	781.25
1+400	Derecho	20	18.0	0.0	2.0	7.0	9.0	15.0	72.0	64.0	44.0	36.0	12.0	390.63
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Promedio:	20	14.9	0.0	1.9	4.9	7.5	11.1	59.7	52.0	40.0	29.7	15.1	492.9	
Desviación estandar:	8.6	8.5	0.0	1.1	2.6	3.9	6.6	33.8	31.3	24.8	20.8	10.8	291.1	
Moda:	20.0	8.0	0.0	1.0	5.0	9.0	15.0	32.0	28.0	24.0	16.0	12.0	781.3	
Valor máximo:	20.0	28.0	0.0	3.0	8.0	12.0	24.0	112.0	104.0	84.0	68.0	40.0	781.3	
Valor mínimo:	20.0	7.0	0.0	1.0	2.0	4.0	5.0	28.0	24.0	16.0	12.0	4.0	260.4	

Fuente: Empresa IngeServicios S.A.C

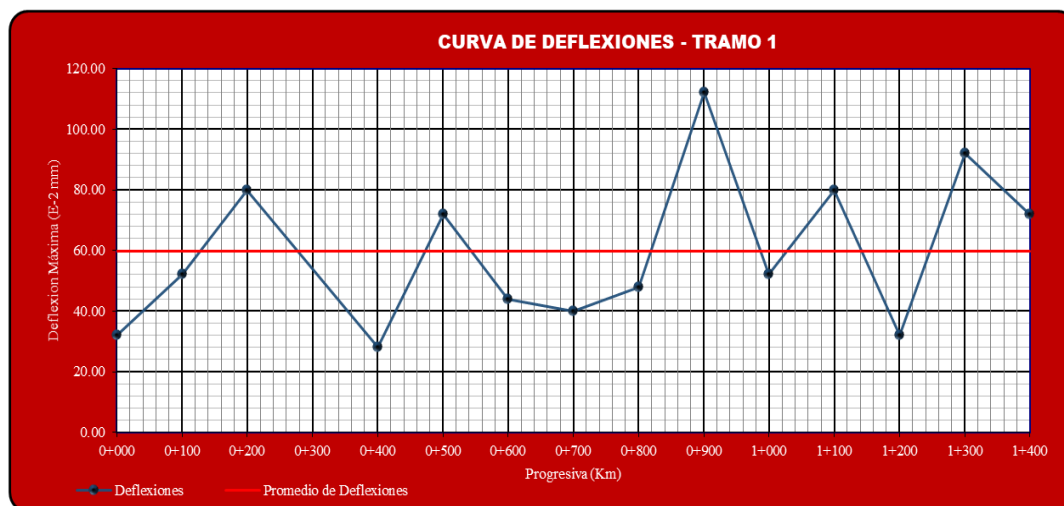


Figura N° 29: Curvas de deflexiones del margen derecho – Tramo N°01

Fuente: Empresa IngeServicios S.A.C

#### 4.2.3 RESULTADOS DE LAS DEFLEXIONES EN EL CARRIL IZQUIERDO TRAMO 2

Tabla N° 18: Resultados corregidos por temperatura del margen izquierdo, tramo 02

Progresiva (Km)	Margen	Temp. (°C)	Lectura de campo ( $E^{-2}$ mm)						Deflexiones ( $E^{-2}$ mm)					Radio de curvatura
			$L_{max}$	$L_0$	$L_{25}$	$L_{50}$	$L_{75}$	$L_{100}$	$D_{max}$	$D_{25}$	$D_{50}$	$D_{75}$	$D_{100}$	
0+050	Izquierdo	20	15.0	0.0	3.0	6.0	8.0	12.0	60.0	48.0	36.0	28.0	12.0	260.42
0+150	Izquierdo	20	24.0	0.0	6.0	8.0	14.0	20.0	96.0	72.0	64.0	40.0	16.0	130.21
0+250	Izquierdo	20	15.0	0.0	4.0	6.0	8.0	11.0	60.0	44.0	36.0	28.0	16.0	195.31
0+350	Izquierdo	20	40.0	0.0	4.0	9.0	20.0	25.0	160.0	144.0	124.0	80.0	60.0	195.31
0+450	Izquierdo	20	22.0	0.0	3.0	8.0	13.0	18.0	88.0	76.0	56.0	36.0	16.0	260.42
0+550	Izquierdo	20	24.0	0.0	3.0	5.0	11.0	18.0	96.0	84.0	76.0	52.0	24.0	260.42
0+650	Izquierdo	20	32.0	0.0	3.0	9.0	18.0	25.0	128.0	116.0	92.0	56.0	28.0	260.42
0+750	Izquierdo	20	18.0	0.0	3.0	5.0	10.0	15.0	72.0	60.0	52.0	32.0	12.0	260.42
0+850	Izquierdo	20	10.0	0.0	1.0	3.0	7.0	9.0	40.0	36.0	28.0	12.0	4.0	781.25
0+950	Izquierdo	20	12.0	0.0	3.0	5.0	7.0	10.0	48.0	36.0	28.0	20.0	8.0	260.42
1+050	Izquierdo	20	20.0	0.0	1.0	7.0	12.0	15.0	80.0	76.0	52.0	32.0	20.0	781.25
1+150	Izquierdo	20	13.0	0.0	3.0	5.0	6.0	10.0	52.0	40.0	32.0	28.0	12.0	260.42
1+250	Izquierdo	20	20.0	0.0	1.0	8.0	13.0	18.0	80.0	76.0	48.0	28.0	8.0	781.25
1+350	Izquierdo	20	25.0	0.0	1.0	12.0	18.0	22.0	100.0	96.0	52.0	28.0	12.0	781.25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Promedio:</b>	20	20.7	0.0	2.8	6.9	11.8	16.3	82.9	71.7	55.4	35.7	17.7	390.6	
<b>Desviación estándar:</b>	8.6	11.4	0.0	1.7	3.6	6.4	8.5	45.5	41.3	33.4	21.4	14.2	281.6	
<b>Moda:</b>	20.0	15.0	0.0	3.0	5.0	8.0	18.0	60.0	76.0	52.0	28.0	12.0	260.4	
<b>Valor máximo:</b>	20.0	40.0	0.0	6.0	12.0	20.0	25.0	160.0	144.0	124.0	80.0	60.0	781.3	
<b>Valor mínimo:</b>	20.0	10.0	0.0	1.0	3.0	6.0	9.0	40.0	36.0	28.0	12.0	4.0	130.2	

Fuente: Empresa IngeServicios S.A.C

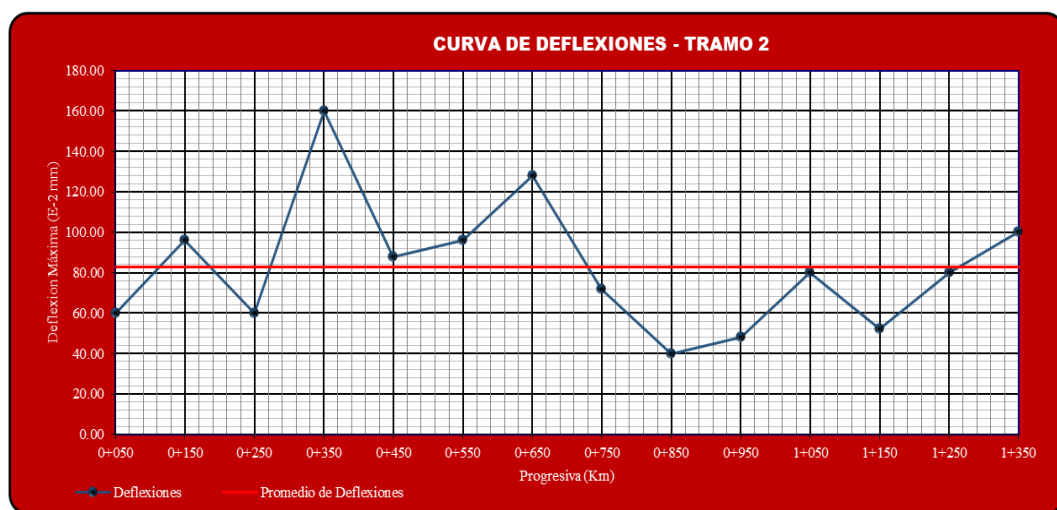


Figura 7: Curvas de deflexiones del margen izquierdo – Tramo N°02

Fuente: Empresa IngeServicios S.A.C

#### 4.2.4 RESULTADO POR DEFLECTOMETRIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Con los datos proporcionados por la empresa IngeServicios S.A.C., se realizó la corrección por estacionalidad según lo indicado en el manual de ensayo de materiales, 2016 del MTC.

En la siguiente aplicación se muestra los cálculos efectuados de las deflexiones en las lecturas,  $L_{max}$ ,  $L_{25}$  y  $L_{50}$ , para calcular  $D_{max}$ ,  $D_{25}$  y  $D_{50}$  para ello se aplica el mismo procedimiento para las demás lecturas.

<b>PROGRESIVA Km 0+000.00</b>		
<b>Lecturas de la viga Benkelman (<math>10^{-2}mm</math>)</b>		
$D_{max}$	$D_{25}$	$D_{50}$
8	1	2
<b>Deflexiones sin corregir (<math>10^{-2}mm</math>)</b>		
$D_{max}$	$D_{25}$	$D_{50}$
$8 \times 4 = 32$	$(8 - 1) \times 4 = 28$	$(8 - 2) \times 4 = 24$
<b>Correccion por temperatura (<math>10^{-2}mm</math>) = <math>20^{\circ}C</math></b>		
$D_c = \frac{32}{[10^{-3} * (20 - 20^{\circ}C) * 5cm] + 1} = 32$	$D_c = \frac{28}{[10^{-3} * (20 - 20^{\circ}C) * 5cm] + 1} = 28$	$D_c = \frac{24}{[10^{-3} * (20 - 20^{\circ}C) * 5cm] + 1} = 24$
<b>Factor de Correccion por Estacionalidad F. C. E. = 1.10 (estación seca)</b>		
$D_c = 32 * 1.10 = 35.20$	$D_c = 28 * 1.10 = 30.80$	$D_c = 24 * 1.10 = 26.40$
<b>Deflexiones Corregidas (<math>10^{-2}mm</math>)</b>		
$D_c = 35.20$	$D_c = 30.80$	$D_c = 26.40$
<b>Radio de Curvatura (m)</b>		
$D_c = \frac{10 * (25^2)}{2(35.20 - 30.80)} = 710.23$		


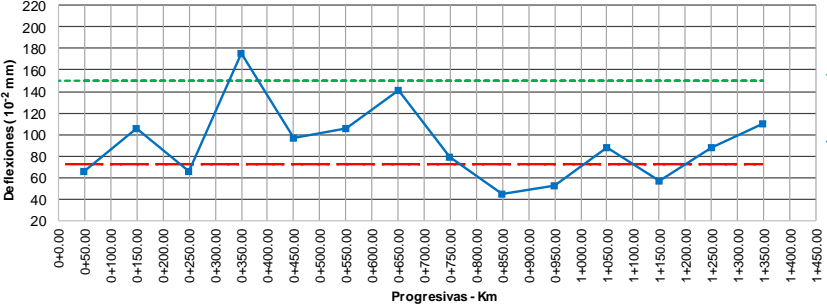
Finalmente, en las tablas subsiguientes se muestra los resultados de las deflexiones corregidas por la estacionalidad, también los cálculos de la deflexión admisible, deflexión característica y la gráfica del deflectograma del pavimento.

Tabla N° 19: Resultados corregidos de la evaluación de la deflectometría Km 0+000.0 al Km 1+300.0, margen derecho

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL EVALUACIÓN DE LA DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO																		
<b>PROYECTO :</b>		EVALUACION POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ, TACNA - 2019																
<b>AVENIDA :</b>	Av. BILLINGHURST											<b>INICIO :</b>	Km 0+0.00					
<b>TRAMO :</b>	Tramo N° 01											<b>FIN :</b>	Km 0+950.00					
<b>LUGAR :</b>	Tacna - Tacna											<b>EVALUADOR :</b>	M. JINCHUÑA					
<b>EQUIPO :</b>		Viga Benkelman - Dso brazos										<b>RELACIÓN DE BRAZO :</b>		1:4				
<b>FECHA :</b>		18/07/2020										<b>SEPARACIÓN CADA :</b>		100.00 m				
DATOS DE CAMPO - VIGA BENKELMAN																		
N°	PROGRESIVA	MARGEN	e <sub>c.a.</sub> cm.	Temp Pavim °C	LECTURA DE CAMPO					F.C.E.	DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDOS					RADIO DE CURVATURA m		
					E <sup>2</sup> mm						E <sup>2</sup> mm							
					L MAX.	L25	L50	L75	L100		D MAX.	D25	D50	D75	D100			
1	Km 0+0.00	DER	5	20°	8.0	1.0	2.0	4.0	5.0	1.1	35.2	30.8	26.4	17.6	13.2	710.23		
2	Km 0+100.00	DER	5	20°	13.0	3.0	5.0	9.0	10.0	1.1	57.2	44.0	35.2	17.6	13.2	236.74		
3	Km 0+200.00	DER	5	20°	20.0	3.0	7.0	9.0	15.0	1.1	88.0	74.8	57.2	48.4	22.0	236.74		
4	Km 0+300.00	DER	5	20°	7.0	1.0	3.0	4.0	6.0	1.1	30.8	26.4	17.6	13.2	4.4	710.23		
5	Km 0+400.00	DER	5	20°	18.0	2.0	4.0	5.0	8.0	1.1	79.2	70.4	61.6	57.2	44.0	355.11		
6	Km 0+500.00	DER	5	20°	11.0	3.0	5.0	8.0	9.0	1.1	48.4	35.2	26.4	13.2	8.8	236.74		
7	Km 0+600.00	DER	5	20°	10.0	3.0	5.0	6.0	8.0	1.1	44.0	30.8	22.0	17.6	8.8	236.74		
8	Km 0+700.00	DER	5	20°	12.0	1.0	3.0	5.0	9.0	1.1	52.8	48.4	39.6	30.8	13.2	710.23		
9	Km 0+800.00	DER	5	20°	28.0	2.0	7.0	11.0	24.0	1.1	123.2	114.4	92.4	74.8	17.6	355.11		
10	Km 0+900.00	DER	5	20°	13.0	1.0	5.0	9.0	10.0	1.1	57.2	52.8	35.2	17.6	13.2	710.23		
11	Km 1+000.00	DER	5	20°	20.0	2.0	8.0	12.0	16.0	1.1	88.0	79.2	52.8	35.2	17.6	355.11		
12	Km 1+100.00	DER	5	20°	8.0	2.0	3.0	5.0	6.0	1.1	35.2	26.4	22.0	13.2	8.8	355.11		
13	Km 1+200.00	DER	5	20°	23.0	1.0	5.0	9.0	15.0	1.1	101.2	96.8	79.2	61.6	35.2	710.23		
14	Km 1+300.00	DER	5	20°	18.0	2.0	7.0	9.0	15.0	1.1	79.2	70.4	48.4	39.6	13.2	355.11		
<b>ESTADÍSTICA</b>																		
PROMEDIO			5	20.0°	14.9	1.9	4.9	7.5	11.1		65.7	57.2	44.0	32.7	16.7	448.12		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR			-	-	-	-	-	-	-		27.85	-	-	-	-	-		
MÁXIMO			5	20°	28.0	3.0	8.0	12.0	24.0		123.2	114.4	92.4	74.8	44.0	710.23		
MÍNIMO			5	20°	7.0	1.0	2.0	4.0	5.0		30.8	26.4	17.6	13.2	4.4	236.74		
<b>DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Dc)</b>					111.50 E <sup>2</sup> mm													
<b>DATOS INICIALES</b>		N° DE EJES EQUIVALENTES 20 ejes (N)					4.2 E <sup>6</sup>					<b>OBSERVACIONES:</b> La avenida se ubica en el distrito capital de Tacna y se observó que el tipo de suelo que predomina es el SM (Arena Limosa).						
		DEFORMACIÓN ADMISIBLE (Dadm)					72.3 E <sup>2</sup> mm											
		FACTOR DE CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD (F.C.E.)					1.10 Est. Seca											
		PESO DEL EJE TRASERO					8200 kg 18078 Lb.											
DEFLECTOGRAMA - TRAMO N° 01																		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 20: Resultados corregidos de la evaluación de la deflectometría Km 0+050.0 al Km 1+350.0, margen izquierdo

 <b>UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>EVALUACIÓN DE LA DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO</b>																		
<b>PROYECTO :</b>		EVALUACION POR DEFLECTOMETRÍA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ, TACNA - 2019																
<b>AVENIDA :</b>	Av. BILLINGHURST											<b>INICIO :</b>	Km 0+0.00					
<b>TRAMO :</b>	Tramo N° 01											<b>FIN :</b>	Km 1+400.00					
<b>LUGAR :</b>	Tacna - Tacna											<b>EVALUADOR :</b>	M. JINCHUÑA					
<b>EQUIPO :</b>		Viga Benkelman - Dso brazos										<b>RELACIÓN DE BRAZO :</b>		1:4				
<b>FECHA :</b>		18/07/2020										<b>SEPARACIÓN CADA :</b>		50.00 m.				
DATOS DE CAMPO - VIGA BENKELMAN																		
N°	PROGRESIVA	MÁRGEN	e c.a.	Temp Pavim °C	LECTURA DE CAMPO E <sup>2</sup> mm					F.C.E.	DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDOS E <sup>2</sup> mm					RADIO DE CURVATURA A m		
					L <sub>MÁX.</sub>	L25	L50	L75	L100		D <sub>MÁX.</sub>	D25	D50	D75	D100			
21	Km 0+50.00	IZQ	5	20°	15.0	3.0	6.0	8.0	12.0	1.1	66.0	52.8	39.6	30.8	13.2	236.74		
22	Km 0+150.00	IZQ	5	20°	24.0	6.0	8.0	14.0	20.0	1.1	105.6	79.2	70.4	44.0	17.6	118.37		
23	Km 0+250.00	IZQ	5	20°	15.0	4.0	6.0	8.0	11.0	1.1	66.0	48.4	39.6	30.8	17.6	177.56		
24	Km 0+350.00	IZQ	5	20°	40.0	4.0	9.0	20.0	25.0	1.1	176.0	158.4	136.4	88.0	66.0	177.56		
25	Km 0+450.00	IZQ	5	20°	22.0	3.0	8.0	13.0	18.0	1.1	96.8	83.6	61.6	39.6	17.6	236.74		
26	Km 0+550.00	IZQ	5	20°	24.0	3.0	5.0	11.0	18.0	1.1	105.6	92.4	83.6	57.2	26.4	236.74		
27	Km 0+650.00	IZQ	5	20°	32.0	3.0	9.0	18.0	25.0	1.1	140.8	127.6	101.2	61.6	30.8	236.74		
28	Km 0+750.00	IZQ	5	20°	18.0	3.0	5.0	10.0	15.0	1.1	79.2	66.0	57.2	35.2	13.2	236.74		
29	Km 0+850.00	IZQ	5	20°	10.0	1.0	3.0	7.0	9.0	1.1	44.0	39.6	30.8	13.2	4.4	710.23		
30	Km 0+950.00	IZQ	5	20°	12.0	3.0	5.0	7.0	10.0	1.1	52.8	39.6	30.8	22.0	8.8	236.74		
31	Km 1+050.00	IZQ	5	20°	20.0	1.0	7.0	12.0	15.0	1.1	88.0	83.6	57.2	35.2	22.0	710.23		
32	Km 1+150.00	IZQ	5	20°	13.0	3.0	5.0	6.0	10.0	1.1	57.2	44.0	35.2	30.8	13.2	236.74		
33	Km 1+250.00	IZQ	5	20°	20.0	1.0	8.0	13.0	18.0	1.1	88.0	83.6	52.8	30.8	8.8	710.23		
34	Km 1+350.00	IZQ	5	20°	25.0	1.0	12.0	18.0	22.0	1.1	110.0	105.6	57.2	30.8	13.2	710.23		
<b>ESTADÍSTICA</b>																		
PROMEDIO			5	20	20.7143	2.78571	6.85714	11.7857	16.2857	1.1	91.1429	78.8857	60.9714	39.2857	19.4857	355.1136364		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR			-	-	-	-	-	-	-	-	35.89	-	-	-	-	-		
MÁXIMO			5	20	40	6	12	20	25	1.1	176	158.4	136.4	88	66	710.2272727		
MÍNIMO			5	20°	10	1	3	6	9		44	39.6	30.8	13.2	4.4	118.37		
<b>DATOS INICIALES</b>																		
DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Dc)					150.18		E <sup>2</sup> mm											
N° DE EJES EQUIVALENTES 20 EJES (N)					4.2		E <sup>6</sup>											
DEFORMACIÓN ADMISIBLE (Dadm)					72.3		E <sup>2</sup> mm											
FACTOR DE CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD (F.C.E.)					1.10		Est. Seca											
PESO DEL EJE TRASERO					8200 kg													
					18078 Lb.													
<b>OBSERVACIONES:</b>																		
La avenida se ubica en el límite del distrito de Alto de la alianza y se observó que el tipo de suelo que predomina es el SM (Arena Limosa).																		
<b>DEFLECTOGRAMA MARGEN IZQUIERDO - TRAMO N° 02</b>																		
																		

Fuente: Elaboración propia.



Tabla N° 21: Todas las evaluaciones de la deflectometría del Km 0+000 al Km 1+400.0, margen derecho e izquierdo.

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL EVALUACIÓN DE LA DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO																			
PROYECTO :		EVALUACION POR DEFLECTOMETRIA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ, TACNA - 2019																	
AVENIDA :		Av. BILLINGHURST										INICIO :		Km 0+0.00					
TRAMO :		Tramo N° 01										FIN :		Km 1+400.00					
LUGAR :		Tacna - Tacna										EVALUADOR :							
EQUIPO :		Viga Benkelman - Dso brazos										RELACIÓN DE BRAZO :		1:4					
FECHA :		18/07/2020										SEPARACIÓN CADA :		50.00 m.					
DATOS DE CAMPO - VIGA BENKELMAN																			
N°	PROGRESIVA	MARGEN	e c.A. cm.	Temp Pavim °C	LECTURA DE CAMPO					F.C.E	DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDOS					RADIO DE CURVATURA m			
					E² mm						E² mm								
					L MAX.	L25	L50	L75	L100		L MAX.	L25	L50	L75	L100				
1	Km 0+0.00	DER	5	20°	8.0	1.0	2.0	4.0	5.0	1.1	35.2	30.8	26.4	17.6	13.2	710.23			
2	Km 0+50.00	IZQ	5	20°	15.0	3.0	6.0	8.0	12.0	1.1	66.0	52.8	39.6	30.8	13.2	236.74			
3	Km 0+100.00	DER	5	20°	13.0	3.0	5.0	9.0	10.0	1.1	57.2	44.0	35.2	17.6	13.2	236.74			
4	Km 0+150.00	IZQ	5	20°	24.0	6.0	8.0	14.0	20.0	1.1	105.6	79.2	70.4	44.0	17.6	118.37			
5	Km 0+200.00	DER	5	20°	20.0	3.0	7.0	9.0	15.0	1.1	88.0	74.8	57.2	48.4	22.0	236.74			
6	Km 0+250.00	IZQ	5	20°	15.0	4.0	6.0	8.0	11.0	1.1	66.0	48.4	39.6	30.8	17.6	177.56			
7	Km 0+300.00	DER	5	20°	7.0	1.0	3.0	4.0	6.0	1.1	30.8	26.4	17.6	13.2	4.4	710.23			
8	Km 0+350.00	IZQ	5	20°	40.0	4.0	9.0	20.0	25.0	1.1	176.0	158.4	136.4	88.0	66.0	177.56			
9	Km 0+400.00	DER	5	20°	18.0	2.0	4.0	5.0	8.0	1.1	79.2	70.4	61.6	57.2	44.0	355.11			
10	Km 0+450.00	IZQ	5	20°	22.0	3.0	8.0	13.0	18.0	1.1	96.8	83.6	61.6	39.6	17.6	236.74			
11	Km 0+500.00	DER	5	20°	11.0	3.0	5.0	8.0	9.0	1.1	48.4	35.2	26.4	13.2	8.8	236.74			
12	Km 0+550.00	IZQ	5	20°	24.0	3.0	5.0	11.0	18.0	1.1	105.6	92.4	83.6	57.2	26.4	236.74			
13	Km 0+600.00	DER	5	20°	10.0	3.0	5.0	6.0	8.0	1.1	44.0	30.8	22.0	17.6	8.8	236.74			
14	Km 0+650.00	IZQ	5	20°	32.0	3.0	9.0	18.0	25.0	1.1	140.8	127.6	101.2	61.6	30.8	236.74			
15	Km 0+700.00	DER	5	20°	12.0	1.0	3.0	5.0	9.0	1.1	52.8	48.4	39.6	30.8	13.2	710.23			
16	Km 0+750.00	IZQ	5	20°	18.0	3.0	5.0	10.0	15.0	1.1	79.2	66.0	57.2	35.2	13.2	236.74			
17	Km 0+800.00	DER	5	20°	28.0	2.0	7.0	11.0	24.0	1.1	123.2	114.4	92.4	74.8	17.6	355.11			
18	Km 0+850.00	IZQ	5	20°	10.0	1.0	3.0	7.0	9.0	1.1	44.0	39.6	30.8	13.2	4.4	710.23			
19	Km 0+900.00	DER	5	20°	13.0	1.0	5.0	9.0	10.0	1.1	57.2	52.8	35.2	17.6	13.2	710.23			
20	Km 0+950.00	IZQ	5	20°	12.0	3.0	5.0	7.0	10.0	1.1	52.8	39.6	30.8	22.0	8.8	236.74			
21	Km 1+000.00	DER	5	20°	20.0	2.0	8.0	12.0	16.0	1.1	88.0	79.2	52.8	35.2	17.6	355.11			
22	Km 1+050.00	IZQ	5	20°	20.0	1.0	7.0	12.0	15.0	1.1	88.0	83.6	57.2	35.2	22.0	710.23			
23	Km 1+100.00	DER	5	20°	8.0	2.0	3.0	5.0	6.0	1.1	35.2	26.4	22.0	13.2	8.8	355.11			
24	Km 1+150.00	IZQ	5	20°	13.0	3.0	5.0	6.0	10.0	1.1	57.2	44.0	35.2	30.8	13.2	236.74			
25	Km 1+200.00	DER	5	20°	23.0	1.0	5.0	9.0	15.0	1.1	101.2	96.8	79.2	61.6	35.2	710.23			
26	Km 1+250.00	IZQ	5	20°	20.0	1.0	8.0	13.0	18.0	1.1	88.0	83.6	52.8	30.8	8.8	710.23			
27	Km 1+300.00	DER	5	20°	18.0	2.0	7.0	9.0	15.0	1.1	79.2	70.4	48.4	39.6	13.2	355.11			
28	Km 1+350.00	IZQ	5	20°	25.0	1.0	12.0	18.0	22.0	1.1	110.0	105.6	57.2	30.8	13.2	710.23			
29	Km 1+400.00	DER	5	20°	18.0	2.0	7.0	9.0	15.0	1.1	79.2	70.4	48.4	39.6	13.2	355.11			
ESTADÍSTICA		PROMEDIO	5	20.0°	17.83	2.34	5.93	9.62	13.76		78.44	68.12	52.34	36.11	17.90	400.01			
		DESVIACIÓN ESTÁNDAR	-	-	-	-	-	-	-		33.47	-	-	-	-	-			
		MÁXIMO	5	20°	40.0	6.0	12.0	20.0	25.0		176.0	158.4	136.4	88.0	66.0	710.23			
		MÍNIMO	5	20°	7.0	1.0	2.0	4.0	5.0		30.8	26.4	17.6	13.2	4.4	118.37			
		DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Dc)			133.50						E² mm								
DATOS INICIALES		N° DE EJES EQUIVALENTES 20 AROS (N)			4.2	E²													
		DEFORMACIÓN ADMISIBLE (Dadm)			72.3	E² mm													
		FACTOR DE CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD (F.C.E.)			1.10	Est. Seca													
		PESO DEL EJE TRASERO			8200 kg														
					18078	Lb.													
OBSERVACIONES: La avenida se ubica en el distrito capital de Tacna y se observó que el tipo de suelo que predomina es el SM (Arena Limosa).																			

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de las deflexiones del pavimento realizados cada 50 metros, se determina que la deflexión característica ( $D_c$ ), es igual a  $133.50 \times 10^{-2}$  mm. el cual es mayor que la deflexión admisible ( $D_{adm}$ ),  $72.30 \times 10^{-2}$  mm.  $D_c > D_{adm}$ .

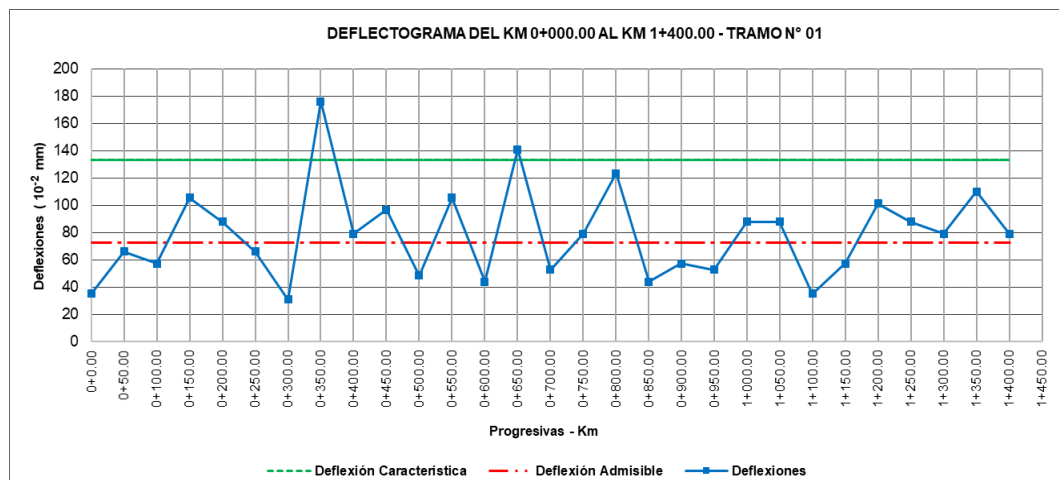


Figura N° 31: Deflectograma de la Av. Billinghamurst

Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO V DISCUSIÓN

### 5.1 ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN POR RUGOSIDAD UTILIZANDO MERLIN

Luego de obtener los resultados del índice de rugosidad internacional del carril derecho e izquierdo de la avenida Billinghamurst donde se obtiene el estado del pavimento MALO con un valor de IRI = 6.618 m/km, para el carril derecho y en carril izquierdo estado del pavimento MALO con un valor IRI = 5.511 m/km, con una longitud de 1500.00 metros por cada calzada y una sección de 6.60 metros. Con la investigación se logró determinar el estado del pavimento flexible aplicando el cálculo de la rugosidad utilizando MERLIN.

Tabla 1: *Resumen cálculo de la rugosidad.*

<b>CUADRO RESUMEN DE LA RUGOSIDAD</b>					
<b>CARRIL DERECHO</b>			<b>CARRIL IZQUIERDO</b>		
PROGRESIVA	RUGOSIDAD (m/km)	ESTADO DEL PAVIMENTO	PROGRESIVA	RUGOSIDAD (m/km)	ESTADO DEL PAVIMENTO
0+000 al 0+400	6.422	Malo	0+000 al 0+400	5.141	Malo
0+400 al 0+800	6.363	Malo	0+400 al 0+800	4.911	Malo
0+800 al 1+200	7.069	Malo	0+800 al 1+200	6.481	Malo
	<b>6.618</b>			<b>5.511</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: *Determinación del estado y transitabilidad del pavimento.*

PAIS	ESTADO DEL PAVIMENTO			PSI	TRANSITABILIDAD
	BUENO	REGULAR	MALO		
EE.UU.	< 2.4	2.4 - 4.7	> 4.7	0 - 1	MUY MALA
CHILE	0 - 3.0	3.0 - 4.0	> 4.0	1 - 2	MALA
HONDURAS	< 3.5	3.5 - 6.0	> 6.0	2 - 3	REGULAR
URUGUAY	< 3.9	4.0 - 4.6	> 4.6	3 - 4	BUENA
PERÚ	< 2.5	2.5 - 4.5	> 4.5	4 - 5	MUY BUENA

Fuente: Elaboración propia

Comparando los resultados de ambos carriles de la avenida Billinghamurst se obtiene un IRI promedio igual de 6.0645 m/km, con cuyo dato podemos calificar el estado del pavimento y definir la transitabilidad.

<b>IRI PROMEDIO:</b>	6.0645 m/km	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><b>IRI</b></td> <td style="text-align: center;">6.0645 m/km</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Conversión a PSI en función del IRI</td> <td style="text-align: center;"><b>1.66</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Clasificación del PSI</td> <td style="text-align: center;"><b>TRANSITABILIDAD MALA</b></td> </tr> </table>	<b>IRI</b>	6.0645 m/km	Conversión a PSI en función del IRI	<b>1.66</b>	Clasificación del PSI	<b>TRANSITABILIDAD MALA</b>
<b>IRI</b>	6.0645 m/km							
Conversión a PSI en función del IRI	<b>1.66</b>							
Clasificación del PSI	<b>TRANSITABILIDAD MALA</b>							

Finalmente analizando todos los resultados e indicadores de la rugosidad se obtiene la calificación de la TRANSITABILIDAD, es decir la calidad de servicio que brinda la avenida Billinghamurst en el momento determinado de la investigación, las cuales se evaluaron en función de los valores PSI = 1.66, calculado en base al IRI promedio: TRANSITABILIDAD MALA.

## 5.2 ANALISIS DE LA EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRIA

De los resultados de las deflexiones del pavimento que se realizaron cada 50 metros, se determina que la deflexión característica es igual a  $133.50 \times 10^{-2}$  mm. ( $D_c$ ) es mayor que la deflexión admisible ( $D_{adm}$ ),  $72.30 \times 10^{-2}$  mm.  $D_c > D_{adm}$ , por lo tanto, el pavimento no cuenta con la suficiente capacidad en función a la demanda vehicular que requiere en la vía. Si solo consideramos los resultados de la evaluación por deflectometría, se puede concluir en el que se debe realizar una reconstrucción total de la vía en estudio con mejoramiento de la subrasante.

Tabla N° 24: Análisis de los resultados de la evaluación estructural por deflectometría.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA DEFLECTOMETRÍA								
N°	PROGRESIVA	MARGEN	DEFLEXION MÁXIMA	RADIO DE CURVATURA	DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA ( $D_c$ )	DEFLEXIÓN ADMISIBLE ( $D_{adm}$ )	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	RECOMENDACIONES SEGÚN MTC
			E-2 mm.	m.	E-2 mm.	E-2 mm.	$D_c > D_{adm}$ .	
1	Km 0+0.00	DER	35.20	710.23	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
2	Km 0+50.00	IZQ	66.00	236.74	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
3	Km 0+100.00	DER	57.20	236.74	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
4	Km 0+150.00	IZQ	105.60	118.37	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
5	Km 0+200.00	DER	88.00	236.74	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
6	Km 0+250.00	IZQ	66.00	177.56	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
7	Km 0+300.00	DER	30.80	710.23	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
8	Km 0+350.00	IZQ	176.00	177.56	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
9	Km 0+400.00	DER	79.20	355.11	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
10	Km 0+450.00	IZQ	96.80	236.74	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
11	Km 0+500.00	DER	48.40	236.74	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
12	Km 0+550.00	IZQ	105.60	236.74	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
13	Km 0+600.00	DER	44.00	236.74	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
14	Km 0+650.00	IZQ	140.80	236.74	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
15	Km 0+700.00	DER	52.80	710.23	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
16	Km 0+750.00	IZQ	79.20	236.74	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
17	Km 0+800.00	DER	123.20	355.11	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
18	Km 0+850.00	IZQ	44.00	710.23	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
19	Km 0+900.00	DER	57.20	710.23	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
20	Km 0+950.00	IZQ	52.80	236.74	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
21	Km 1+000.00	DER	88.00	355.11	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
22	Km 1+050.00	IZQ	88.00	710.23	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
23	Km 1+100.00	DER	35.20	355.11	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
24	Km 1+150.00	IZQ	57.20	236.74	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
25	Km 1+200.00	DER	101.20	710.23	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
26	Km 1+250.00	IZQ	88.00	710.23	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
27	Km 1+300.00	DER	79.20	355.11	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
28	Km 1+350.00	IZQ	110.00	710.23	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total
29	Km 1+400.00	DER	79.20	355.1	133.50	72.30	DEFICIENTE	Reconstrucción Parcial o Total

Fuente: Elaboración propia

Analizando los resultados de la evaluación estructural por deflectometría, se determinó que la deflexión característica ( $D_c = 133.50 \times 10^{-2} \text{mm}$ ) es mayor que la deflexión admisible ( $D_{adm} = 72.30 \times 10^{-2} \text{mm}$ ), la estructura del pavimento tiene problemas o deficiencias en el diseño estructural, la capacidad de la sección del pavimento es inferior a la solicitud requerida, por consiguiente, según el reglamento del MTC clasifica al pavimento como "DEFICIENTE" y que se debe

realizar trabajos de reconstrucción parcial o total, teniendo en cuenta un mejoramiento de la subrasante.

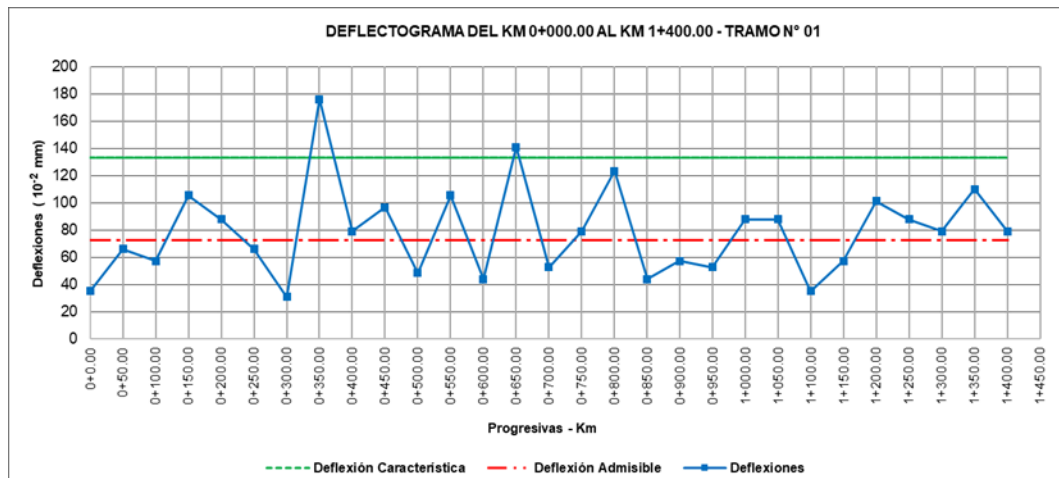


Figura N° 32. Análisis comparativo de las deflexiones en la Av. Billinghamurst.  
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los radios de curvaturas resaltados en la evaluación por deflectometría, son indicadores que el pavimento distribuye los esfuerzos de una manera eficiente, según lo indicado por (CONREVIAl , 1982), Cuando se tiene un radio de curvatura mayor a 100, los esfuerzos que se aplican en la superficie del pavimento se distribuyen y abarcan una gran longitud, de esta manera el pavimento no tiene que soportar grandes esfuerzos. Pero el constante, carga y descarga de esfuerzos donde se generan grandes deflexiones, han generado el surgimiento de fisuras longitudinales o transversales, huecos, baches y desgastes en la superficie del pavimento, lo que contribuyó al rápido deterioro y surgimiento de nuevas fallas en la carpeta asfáltica.

## CONCLUSIONES

1. De la investigación realizada en la avenida Billinghamurst, se cumple con calcular la rugosidad y la evaluación estructural para mejorar la transitabilidad, cuyos datos nos permite calificar el estado del pavimento y la transitabilidad respectiva en la vía de investigación.
2. Los resultados de la rugosidad de ambos carriles, considerando su promedio obtenido, un valor del IRI igual a 6.0645 m/km y un PSI igual a 1.66, con el cual calificamos el estado de pavimento y la transitabilidad, finalmente, se indica, estado del pavimento **malo** y la transitabilidad **malo**.
3. De acuerdo a la evaluación estructural por deflectometría utilizando la viga Benkelman, se logró determinar que las deflexiones en el pavimento son **deficientes**, donde la deflexión característica ( $D_c$ ) y las deflexiones en general son mayores a la deflexión admisible ( $D_{adm}$ ),  $D_c = 133.50 \times 10^{-2} \text{mm}$   $> D_{adm} = 72.30 \times 10^{-2} \text{mm}$ , por lo que la estructura del pavimento tiene problemas o deficiencias en el diseño estructural.
4. La presencia de fallas en la superficie del pavimento flexible de la avenida Billinghamurst está relacionada con la capacidad estructural del pavimento “Deformación – recuperación”, con cada aplicación de carga al pavimento en la superficie de rodadura, se ha ido deformando y se han generado una serie de fallas en todos los tramos evaluados, de ahí el resultado con el MERLIN y Viga Benkelman.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Tacna a tomar en cuenta los resultados de la evaluación superficial y estructural, referidos a la rugosidad y deflexiones del pavimento flexible, contenidos en la presente investigación, datos que se pueden utilizar para elaborar los planes de mantenimiento, con el único objetivo de garantizar un flujo libre vehicular, confort y comodidad para el usuario.
2. De acuerdo a los resultados de la evaluación estructural con la viga Benkelman, en concordancia con el manual del MTC, se recomienda a las entidades responsables, realizar una reconstrucción parcial o total de la avenida Billinghamurst, a nivel de carpeta asfáltica.
3. Se recomienda que para la evaluación de un pavimento flexible utilizando los métodos de rugosidad con MERLIN y la Viga Benkelman, deben realizarse con personal capacitado, especializado y responsable para la fácil identificación y obtención de datos en campo.
4. Para los trabajos de reconstrucción se recomienda realizar reforzamiento en algunas zonas, la subrasante y para el resto de los tramos evaluados cambio de la carpeta asfáltica, para ello pueden utilizar los resultados obtenidos en la presente investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almenara Cueto, C. (2015). *Aplicación de telefonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima*. Lima-Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Apaza, O. (2019). *Incidencias de las patologías en la superficie y estructura del pavimento flexible, en la Av. Jorge Basadre Grohmann Tramo: calle 22 - Av. Pinto - Tacna, 2018*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Balarezo, J. (2017). *Evaluación estructural usando Viga Benkelman aplicada a un pavimento*. Piura: Universidad de Piura.
- Calo, D. (2012). *Diseño de Pavimento Rígido*. San Salvador de Jujuy-Argentina: Instituto del Cemento Portland Argentino.
- Camacho, J. (2015). *Analisis del ciclo de vida de los pavimentos asfálticos. Life cycle analysis of asphalt pavements*. Nueva Granada-Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Carcial, P. (2015). *Planificación y gestión de la Infraestructura Vial. Modelación del comportamiento de Pavimentos/Pérdida de sercviabilidad*. España: 3ing Arquitectura, Ingeniería y Construcción.
- CONREVIAl . (1982). *Estudio de rehabilitación de carreteras en el pais - Capítulo VI*. Lima: Ministerio de transporte y Comunicaciones. Consorcio de Rehabilitación Vial.
- Corros, M. (2015). *Manual de Evaluación de Pavimentos*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Del Aguila Rodriguez, P. (1999). *Manual del Usuario Merliner, Merlin Equipo para Rugosidad*. Merliner.
- Delmar, S. (2004). *Conservación de pavimentos: Metodología y Estrategias*. USA: Pavement Preservation System, L.L.C. USA.
- Flores, H. (2016). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto para obtener el índice de integridad estructural del pavimento rígido y condición*



*operacional en la avenida Perú del distrito de Carmen Alto, provincia de Huamanga, Departamento de Ayacucho-2016.* Huamanga: Universidad Católica los Angeles Chimbote.

Gomez, S. (2014). *Diseño estructural del pavimento flexible para el anillo vial del óvalo Grau - Trujillo, La Libertad.* Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.

Hoffman, M.; Del Agula, P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos no destructivos).* Louis Berger Internacional INC.

Leguía, P; Pacheco, H. (2016). *Evaluación superficial del pavimento flexible por el método Pavemente Condition Index (PCI) en las vías arteriales: cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima).* Lima: Universidad de San Martín de Porres.

Meza, H. (2017). *Evaluación deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y diseño de estructuras de pavimento por el método AASHTO 2008 en la avenida Hartley del distrito de José Luis Bustamante y Rivero.* Arequipa: Universidad Católica de Santa María.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones - MTC. (2014). *Manual de Carreteras: Mantenimiento o conservación vial RD N° 08-2014-MTC/14.* Lima, Perú: Dirección de Normatividad Vial.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones - MTC. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales.* Perú: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.


Moreno, L; Parrales, G; Cobos, D; Cordero, M; Peralta, J; Ponce, F; Baque, B. (2018). *Mantenimiento y conservación de carreteras.* Manabí - Ecuador: Área de innovación y desarrollo, S.L. Primera Edición marzo 2018.

Pari Luque. (2010). *Estudio de la rugosidad en pavimentos asfálticos de la ciudad de Puno.* Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.

Sayers, Michel; Karamihas, Steven. (1998). *The Little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles.* Washington, USA.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1.- RESULTADOS DE LAS DEFLEXIONES UTILIZANDO VIGA BENKELMAN, CERTIFICADO POR LA EMPRESA INGESERVICIOS SAC.

 <b>LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS</b>	<b>REGISTRO</b>		CÓDIGO: LSCP-01-ING	
	<b>INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS</b>		Version: 01	Fecha: 15/02/2015
			Página	1 de 1
			Aprobado:	JRH

Informe N°: LSCP - 20 - 468

Fecha Emision: 18/07/2020

### MEDIDA DE LA DEFLEXION DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN

PROYECTO : Evaluación por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghurst,  
Tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá – Tacna, 2019

SOLICITANTE : Bach. Miguel Samir Jinchuña Alanoca

ESTUDIO : Deflexión

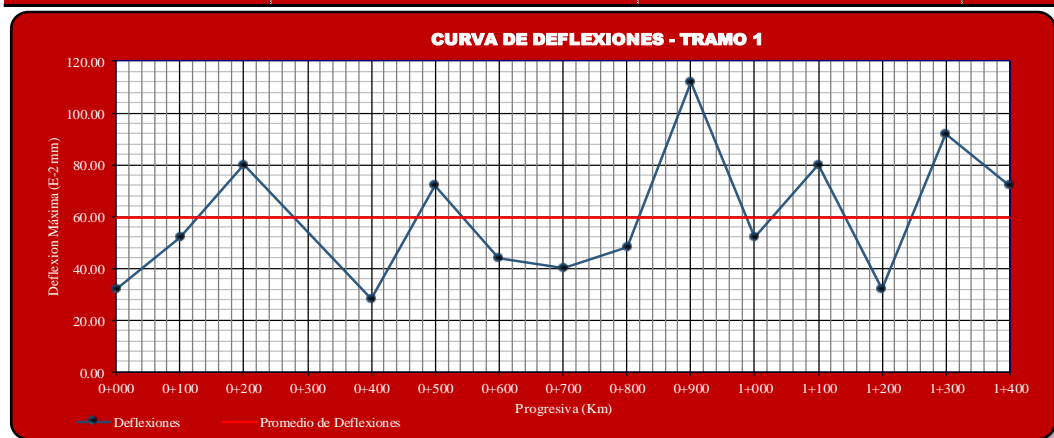
UBICACIÓN : Tacna - Tacna - Tacna


MUESTRA : Km 0+000 - 1+400 - (Av. Billinghurst)

FECHA : 18 de Julio de 2020

Relación de brazo: 1: 4

Progresiva (Km)	Margen	Temp. (°C)	Lectura de campo (E <sup>2</sup> mm)						Deflexiones (E <sup>2</sup> mm)					Radio de curvatura
			L <sub>max</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	D <sub>max</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	
0+000	Derecho	20	8.0	0.0	1.0	2.0	4.0	5.0	32.0	28.0	24.0	16.0	12.0	781.25
0+100	Derecho	20	13.0	0.0	3.0	5.0	9.0	10.0	52.0	40.0	32.0	16.0	12.0	260.42
0+200	Derecho	20	20.0	0.0	3.0	7.0	9.0	15.0	80.0	68.0	52.0	44.0	20.0	260.42
0+400	Derecho	20	7.0	0.0	1.0	3.0	4.0	6.0	28.0	24.0	16.0	12.0	4.0	781.25
0+500	Derecho	20	18.0	0.0	2.0	4.0	5.0	8.0	72.0	64.0	56.0	52.0	40.0	390.63
0+600	Derecho	20	11.0	0.0	3.0	5.0	8.0	9.0	44.0	32.0	24.0	12.0	8.0	260.42
0+700	Derecho	20	10.0	0.0	3.0	5.0	6.0	8.0	40.0	28.0	20.0	16.0	8.0	260.42
0+800	Derecho	20	12.0	0.0	1.0	3.0	5.0	9.0	48.0	44.0	36.0	28.0	12.0	781.25
0+900	Derecho	20	28.0	0.0	2.0	7.0	11.0	24.0	112.0	104.0	84.0	68.0	16.0	390.63
1+000	Derecho	20	13.0	0.0	1.0	5.0	9.0	10.0	52.0	48.0	32.0	16.0	12.0	781.25
1+100	Derecho	20	20.0	0.0	2.0	8.0	12.0	16.0	80.0	72.0	48.0	32.0	16.0	390.63
1+200	Derecho	20	8.0	0.0	2.0	3.0	5.0	6.0	32.0	24.0	20.0	12.0	8.0	390.63
1+300	Derecho	20	23.0	0.0	1.0	5.0	9.0	15.0	92.0	88.0	72.0	56.0	32.0	781.25
1+400	Derecho	20	18.0	0.0	2.0	7.0	9.0	15.0	72.0	64.0	44.0	36.0	12.0	390.63
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Promedio:</b>	20	14.9	0.0	1.9	4.9	7.5	11.1	59.7	52.0	40.0	29.7	15.1	492.9	
<b>Desviación estándar:</b>	8.6	8.5	0.0	1.1	2.6	3.9	6.6	33.8	31.3	24.8	20.8	10.8	291.1	
<b>Moda:</b>	20.0	8.0	0.0	1.0	5.0	9.0	15.0	32.0	28.0	24.0	16.0	12.0	781.3	
<b>Valor máximo:</b>	20.0	28.0	0.0	3.0	8.0	12.0	24.0	112.0	104.0	84.0	68.0	40.0	781.3	
<b>Valor mínimo:</b>	20.0	7.0	0.0	1.0	2.0	4.0	5.0	28.0	24.0	16.0	12.0	4.0	260.4	



 <b>LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS</b>	<b>REGISTRO</b>		CÓDIGO: LSCP-01-ING	
	<b>INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS</b>			
	Version:	01	Fecha:	15/02/2015
	Página:	1 de 1	Aprobado:	JRH

Informe N°: LSCP - 20 - 467

Fecha Emisión: 18/07/2020

### MEDIDA DE LA DEFLEXION DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN

**PROYECTO :** Evaluación por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghurst, Tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá – Tacna, 2019

**SOLICITANTE :** Bach. Miguel Samir Jinchuña Alanoca

**ESTUDIO :** Deflexión

**UBICACIÓN :** Tacna - Tacna - Tacna

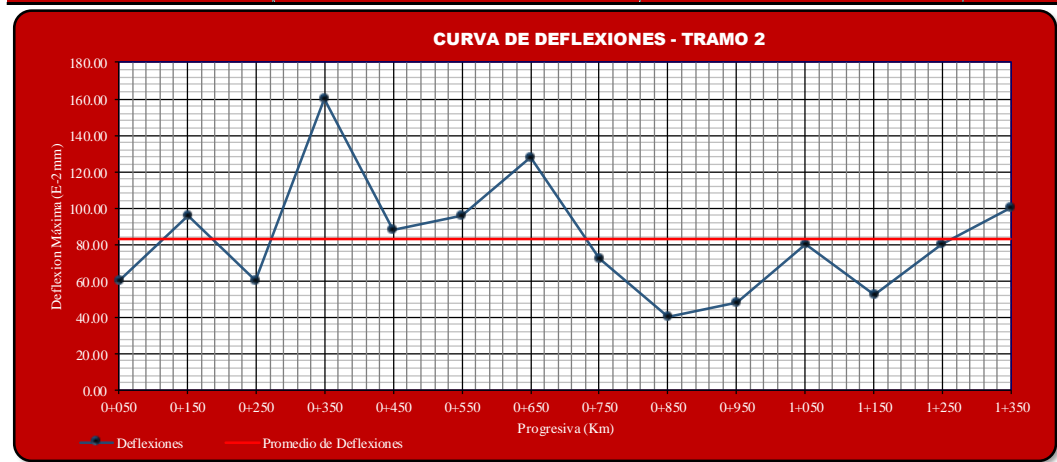
inge

**MUESTRA :** Km 0+050 - 1+350 - (Av. Billinghurst)

**FECHA :** 18 de Julio de 2020

Relación de brazo: 1: 4

Progresiva (Km)	Margen	Temp. (°C)	Lectura de campo ( $E^{-2}$ mm)						Deflexiones ( $E^{-2}$ mm)					Radio de curvatura
			L <sub>max</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	D <sub>max</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	
0+050	Izquierdo	20	15.0	0.0	3.0	6.0	8.0	12.0	60.0	48.0	36.0	28.0	12.0	260.42
0+150	Izquierdo	20	24.0	0.0	6.0	8.0	14.0	20.0	96.0	72.0	64.0	40.0	16.0	130.21
0+250	Izquierdo	20	15.0	0.0	4.0	6.0	8.0	11.0	60.0	44.0	36.0	28.0	16.0	195.31
0+350	Izquierdo	20	40.0	0.0	4.0	9.0	20.0	25.0	160.0	144.0	124.0	80.0	60.0	195.31
0+450	Izquierdo	20	22.0	0.0	3.0	8.0	13.0	18.0	88.0	76.0	56.0	36.0	16.0	260.42
0+550	Izquierdo	20	24.0	0.0	3.0	5.0	11.0	18.0	96.0	84.0	76.0	52.0	24.0	260.42
0+650	Izquierdo	20	32.0	0.0	3.0	9.0	18.0	25.0	128.0	116.0	92.0	56.0	28.0	260.42
0+750	Izquierdo	20	18.0	0.0	3.0	5.0	10.0	15.0	72.0	60.0	52.0	32.0	12.0	260.42
0+850	Izquierdo	20	10.0	0.0	1.0	3.0	7.0	9.0	40.0	36.0	28.0	12.0	4.0	781.25
0+950	Izquierdo	20	12.0	0.0	3.0	5.0	7.0	10.0	48.0	36.0	28.0	20.0	8.0	260.42
1+050	Izquierdo	20	20.0	0.0	1.0	7.0	12.0	15.0	80.0	76.0	52.0	32.0	20.0	781.25
1+150	Izquierdo	20	13.0	0.0	3.0	5.0	6.0	10.0	52.0	40.0	32.0	28.0	12.0	260.42
1+250	Izquierdo	20	20.0	0.0	1.0	8.0	13.0	18.0	80.0	76.0	48.0	28.0	8.0	781.25
1+350	Izquierdo	20	25.0	0.0	1.0	12.0	18.0	22.0	100.0	96.0	52.0	28.0	12.0	781.25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Promedio:</b>	20	20.7	0.0	2.8	6.9	11.8	16.3	82.9	71.7	55.4	35.7	17.7	390.6	
<b>Desviación estándar:</b>	8.6	11.4	0.0	1.7	3.6	6.4	8.5	45.5	41.3	33.4	21.4	14.2	281.6	
<b>Moda:</b>	20.0	15.0	0.0	3.0	5.0	8.0	18.0	60.0	76.0	52.0	28.0	12.0	260.4	
<b>Valor máximo:</b>	20.0	40.0	0.0	6.0	12.0	20.0	25.0	160.0	144.0	124.0	80.0	60.0	781.3	
<b>Valor mínimo:</b>	20.0	10.0	0.0	1.0	3.0	6.0	9.0	40.0	36.0	28.0	12.0	4.0	130.2	



**ANEXO 2.- PANEL FOTOGRAFICO – RUGOSIMETRO DE MERLIN**

Fotografías: Calibración y obtención de datos de campo utilizando el rugosímetro de MERLIN, carril derecho







Fotografías: Obteniendo datos de campo utilizando el rugosímetro de MERLIN, carril izquierdo.



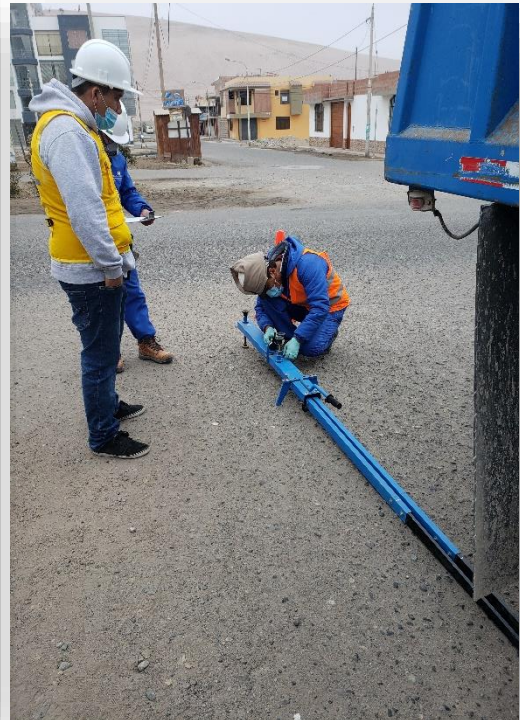
### ANEXO 3.- PANEL FOTOGRAFICO – EVALUACION POR DEFLECTOMETRIA VIGA BENKELMAN



Fotografías: Posicionamiento del vehículo en el punto de lectura, y toma de lecturas.







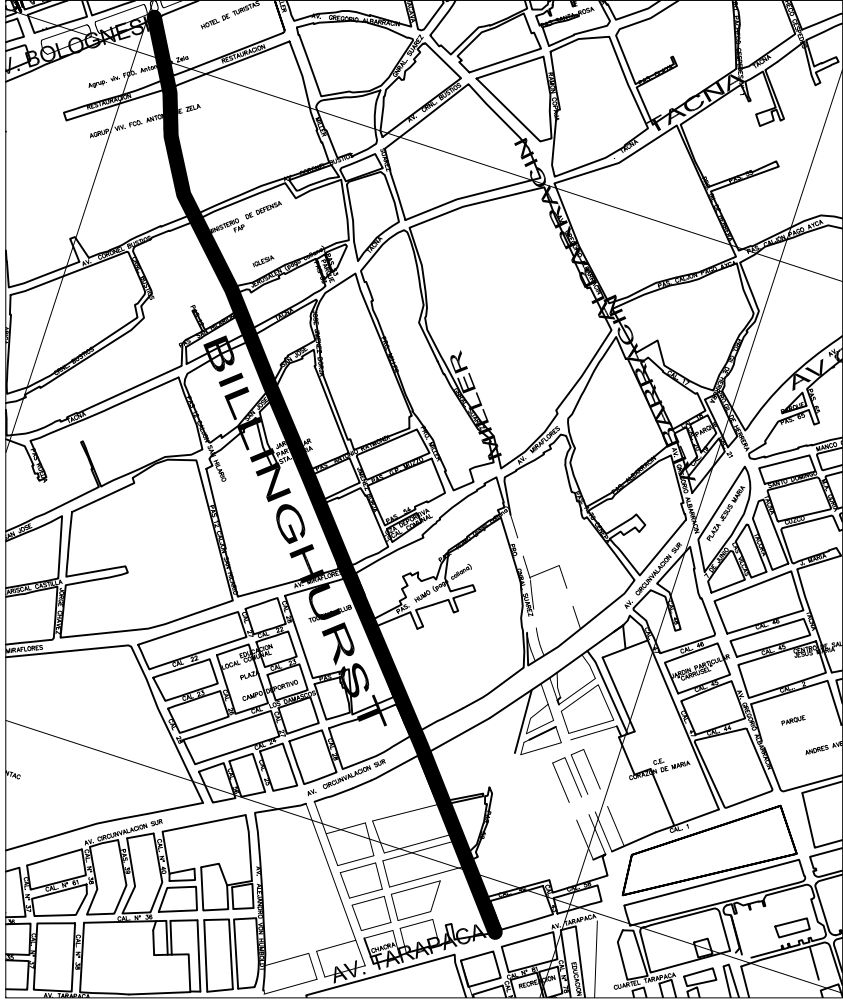
**Fotografías: Ajuste de los diales de lectura y nivelación de la Viga Benkelman, y toma de lecturas.**





**ANEXO 4.- PLANO UBICACIÓN-LOCALIZACIÓN, UBICACIÓN ZONA DE ENSAYO, MERLIN Y VIGA BENKELMAN**

UBICACION DEL PREDIO Escala 1/500



LOCALIZACION DEL PREDIO Escala 1/250



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PLANO :  
**UBICACIÓN**  
**LOCALIZACIÓN**

“EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRÍA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019”

**INGENIERO :**  
 MIGUEL SAMIR JINCHUÑA ALANCA  
 ESC. : INDICADA      FECHA: **Noviembre 2020**





**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**ESQUEMA DE LOCALIZACION SATELITAL**

**“EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRÍA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019”**

FUENTE: GOOGLE EARTH

**BACH :**  
 MIGUEL SAMIR JINCHUÑA ALANOCA

ESC. : INDICADA      FECHA: Noviembre 2020





**ESQUEMA  
DE LOCALIZACION  
SATELITAL**

**ZONA DE ENSAYO  
VIGA BENKELMAN**

**"EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRÍA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO  
FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV.  
BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACÁ - TACNA, 2019"**

**BACH :**  
MIGUEL SAMIR  
JINCHUÑA ALANOCA

FUENTE: GOOGLE EARTH

ESC. :	FECHA:
INDICADA	Noviembre 2020

2003



**ANEXO 5.- MATRIZ DE CONSISTENCIA – PROYECTO DE TESIS**

**TÍTULO:** “EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRÍA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI – AV. TARAPACÁ– TACNA, 2019”

**TESISTA:** MIGUEL SAMIR JINCHUÑA ALANOCA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>1. INTERROGANTE PRINCIPAL</b></p> <p>¿Cómo se evalúa por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghurst, tramo Av. Bolognesi – Av. Tarapacá, Tacna - 2019?</p> <p><b>2. INTERROGANTES ESPECÍFICAS</b></p> <p>a) ¿Cómo se calcula las deflexiones del pavimento flexible que se presenta en la Av. Billinghurst para mejorar la transitabilidad?</p> <p>b) ¿Cuál es el nivel de rugosidad del pavimento flexible en la Av. Billinghurst para mejorar la transitabilidad vehicular?</p> <p>c) ¿Qué alternativas son necesarias para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghurst?</p>	<p><b>1. OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Evaluar por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghurst, tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá, Tacna - 2019.</p> <p><b>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>a) Calcular las deflexiones del pavimento flexible que se presenta en la Av. Billinghurst, aplicando la Viga Benkelman.</p> <p>b) Calcular la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Billinghurst, aplicando el rugosímetro de MERLIN.</p> <p>c) Analizar las alternativas necesarias para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghurst.</p>	<p><b>1. HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>La evaluación por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghurst, tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá, Tacna - 2019; presenta un deficiente desempeño del pavimento.</p> <p><b>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>a) El cálculo de las deflexiones del pavimento flexible en la Av. Billinghurst, mediante la aplicación de la Viga Benkelman, son de mayor deterioro.</p> <p>b) El cálculo de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Billinghurst, mediante la aplicación del rugosímetro de MERLIN, es deficiente.</p> <p>c) El análisis de las alternativas en la Av. Billinghurst permitirá de manera óptima caracterizar las imperfecciones superficiales, para mejorar la transitabilidad vehicular.</p>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE(X)</b></p> <p><b>X1. Mejorar la transitabilidad vehicular.</b></p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transitabilidad vehicular.</li> <li>▪ Serviciabilidad.</li> <li>▪ Parámetros de evaluación.</li> <li>▪ Pavimentos, tipos</li> <li>▪ Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.</li> <li>▪ Ciclo de vida de los pavimentos</li> </ul> <p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE(Y)</b></p> <p><b>Y1. Evaluación por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible.</b></p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Medición de la deflectometría del pavimento por medio de la viga Benkelman.</li> <li>▪ Deflexión característica Dc.</li> <li>▪ Deflexión admisible Cadm.</li> <li>▪ Clasificación de la condición del pavimento flexible</li> <li>▪ Cálculo del índice de rugosidad.</li> <li>▪ Rugosímetro de MERLIN</li> <li>▪ Esquema del rugosímetro.</li> </ul>	<p><b>Tipo de Investigación</b></p> <p>- Aplicada con enfoque cuantitativa</p> <p><b>Diseño de la Investigación</b></p> <p>- Descriptiva, exploratoria</p> <p><b>Ámbito de Estudio</b></p> <p>- Av. Billinghurstl, tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá.</p> <p><b>Población</b></p> <p>-Muestral aleatoria</p> <p><b>Técnicas de Recolección de datos.</b></p> <p>- Observación</p> <p>- Formato de Campo</p> <p>- Medición de la deflectometría</p> <p>- Rugosímetro de MERLIN</p> <p><b>Materiales e instrumentos</b></p> <p>- Ficha o formulario de observación.</p> <p>- Guías de observación y formatos de campo</p> <p>- Odómetro manual.</p> <p>- Regla o cordel.</p> <p>- Conos de seguridad.</p> <p>- Plano de distribución.</p> <p>- Hoja electrónica Excel.</p>