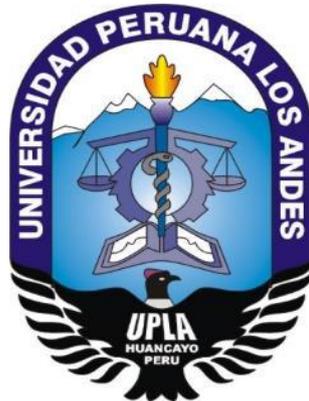


**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL SARDINEL SUMERGIDO  
MEDIANTE DEFLEXIONES EN EL COMPORTAMIENTO  
ESTRUCTURAL CON LA VIGA BENKELMAN – TRAMO INGENIO  
CASACANCHA”**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. SANTAMARIA ALMONACID, José Luis**

**Bach. MATEO VICENTE, Esther Gladys**

**Línea de la investigación: Transporte y urbanismo**

**Línea de investigación por Programa de Estudios:**

**Transportes**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**HUANCAYO – PERÚ**

**2019**

**“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL SARDINEL  
SUMERGIDO MEDIANTE DEFLEXIONES EN EL  
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL CON LA VIGA  
BENKELMAN – TRAMO INGENIO CASACANCHA”**

**ASESOR:**

**ING. DIONICIO MILLA SIMON**

## **DEDICATORÍA**

A Jesús mi salvador por su don de amor y rectitud, y a nuestros padres que siempre nos apoyaron en todo este proceso universitario.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la universidad por todos los conocimientos adquiridos durante los años de estudio, a los docentes por la paciencia y entrega en la enseñanza, a nuestro asesor por guiarnos constantemente en el proceso de elaboración de la tesis.

**HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS**

---

**DR.RUBEN DARIO TAPIA SILGUERA**  
**PRESIDENTE**

---

**ING. RANDO PORRAS OLARTE**

---

**ING. VLADIMIR ORDOÑEZ CAMPOSANO**

---

**ING. CARLOS ALBERTO GONZALES ROJAS**

---

**MG. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA**  
**SECRETARIO DOCENTE**

## ÍNDICE

|   |      |
|---|------|
| ASESOR:.....  | ii   |
| DEDICATORÍA.....  | iii  |
| AGRADECIMIENTOS.....  | iv   |
| HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS.....                         | v    |
| ÍNDICE.....   | vi   |
| RESUMEN.....  | xi   |
| ABSTRACT.....   | xii  |
| INTRODUCCIÓN.....   | xiii |
| 1. CAPÍTULO I EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....              | 1    |
| 1.1. Planteamiento del problema.....                            | 1    |
| 1.2. Formulación y sistematización del problema.....            | 3    |
| 1.2.1. Problema general.....                                    | 3    |
| 1.2.2. Problemas específicos.....                               | 3    |
| 1.3. Justificación.....   | 4    |
| 1.3.1. Practica o social.....                                   | 4    |
| 1.3.2. Científica o teórica.....                                | 4    |
| 1.3.3. Metodológica.....  | 4    |
| 1.4. Delimitaciones.....  | 5    |
| 1.4.1. Delimitación espacial.....                               | 5    |
| 1.4.2. Delimitación temporal.....                               | 5    |
| 1.4.3. Delimitación económica.....                              | 5    |
| 1.5. Limitaciones.....  | 5    |
| 1.6. Objetivos.....   | 6    |
| 1.6.1. Objetivo general.....                                    | 6    |
| 1.6.2. Objetivos específicos.....                               | 6    |
| 2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....                               | 7    |
| 2.1. Antecedentes.....  | 7    |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales.....                        | 7    |
| 2.2. Marco conceptual.....                                      | 8    |
| 2.2.1. Pavimentos, clasificación y diseño.....                  | 8    |
| 2.2.1.1. Comportamiento estructural del Pavimento flexible..... | 8    |
| 2.2.1.2. Viga Benkelman.....                                    | 9    |
| 2.2.2. Deflectómetro.....                                       | 12   |
| 2.2.2.1. Deflexión de pavimento por factores hidrológicos.....  | 12   |
| 2.2.2.2. Benkelman Beam.....                                    | 14   |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 2.2.3.   | Sardinel, diseño y su utilidad.....                      | 17 |
| 2.2.3.1. | Tipos: .....   | 18 |
| 2.2.3.2. | Forma .....  | 18 |
| 2.2.3.3. | Material .....   | 19 |
| 2.2.3.4. | Altura .....   | 21 |
| 2.2.3.5. | Canalón integral.....                                    | 21 |
| 2.3.     | Definición de terminos.....                              | 22 |
| 2.4.     | Hipótesis .....  | 22 |
| 2.4.1.   | Hipótesis general.....                                   | 22 |
| 2.4.2.   | Hipótesis específicas.....                               | 23 |
| 2.5.     | Variables .....  | 23 |
| 2.5.1.   | Definición conceptual de la variable .....               | 23 |
| 2.5.2.   | Definición operacional de las variables .....            | 24 |
| 2.5.3.   | Operacionalización de las variables .....                | 24 |
| 3.       | CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....                           | 25 |
| 3.1.     | Método de investigación .....                            | 25 |
| 3.2.     | Tipo de investigación .....                              | 25 |
| 3.3.     | Nivel de investigación .....                             | 26 |
| 3.4.     | Diseño de investigación .....                            | 26 |
| 3.5.     | Población y muestra.....                                 | 26 |
| 3.6.     | Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....    | 26 |
| 3.6.1.   | Técnicas .....   | 26 |
| 3.6.2.   | Instrumentos.....  | 27 |
| 3.7.     | Procesamiento de la información.....                     | 27 |
| 3.8.     | Técnicas y análisis de datos .....                       | 27 |
| 4.       | CAPÍTULO IV RESULTADOS .....                             | 28 |
| 4.1.     | Análisis de resultados: .....                            | 28 |
| 4.1.1.   | Análisis de campo .....                                  | 29 |
| 4.1.1.1. | Ubicación y descripción del área de trabajo.....         | 29 |
| 4.1.1.2. | Breve descripción de la vía .....                        | 30 |
| 4.1.1.3. | Trabajos de campo .....                                  | 30 |
| 4.1.1.4. | Trabajos en gabinete de las lecturas tomadas.....        | 32 |
| 4.1.2.   | Equipos y materiales requeridos .....                    | 32 |
| 4.1.3.   | Medición de deflexiones .....                            | 35 |
| 4.1.4.   | Cálculos.....  | 37 |
| 4.1.5.   | Factores ambientales en la medición de deflexiones ..... | 38 |

|   |    |
|---|----|
| 4.1.5.1. Factor de corrección por temperatura.....  | 38 |
| 4.2. Análisis descriptivo.....  | 39 |
| 4.3. Análisis estadístico.....  | 43 |
| 4.3.1. Hipótesis general.....   | 44 |
| 4.3.2. Hipótesis específica 2.....  | 47 |
| 4.3.3. Hipótesis específica 3.....  | 49 |
| 5. CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS:.....   | 51 |
| CONCLUSIONES .....  | 53 |
| RECOMENDACIONES .....   | 55 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 56 |
| ANEXOS .....  | 58 |
| Anexo 1: Matriz de consistencia .....   | 58 |
| Anexo 2: Registro fotográfico del experimento y la evaluación .....   | 61 |
| Anexo 3: Informe técnico del Laboratorio Mecánico de Suelos Concreto y Pavimentos – Centauro Ingenieros ..... | 77 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Descripción de variables .....                                       | 24 |
| Tabla 2: Lecturas en el dial (0.01mm) (corregidas).....                       | 32 |
| Tabla 3: Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento .....     | 35 |
| Tabla 4: Variables entradas o eliminadas .....                                | 44 |
| Tabla 5: Correlación entre sardinel, longitud de medida y la deflexión .....  | 45 |
| Tabla 6: Resumen del modelo .....   | 46 |
| Tabla 7: Análisis ANOVA .....   | 47 |
| Tabla 8: T de Student de deflexión sardinel base y el mínimo admisible .....  | 48 |
| Tabla 9: T de Student de deflexión sardinel sub-base y el mínimo admisible .. | 49 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: El Benkelman Beam .....  | 14 |
| Figura 2: Salida de fuerza típica .....                                    | 16 |
| Figura 3: Ubicación de la carretera Ingenio - Casacancha .....             | 29 |
| Figura 4: Lugar de inicio del experimento .....                            | 30 |
| Figura 5: Preparación antes de medir la deflexión del pavimento .....      | 31 |
| Figura 6: Viga Benkelman doble brazo Punzar .....                          | 33 |
| Figura 7: Camión que se usó para el ensayo .....                           | 34 |
| Figura 8: Momento exacto en el que se tomó las deflexiones .....           | 35 |
| Figura 9: Medición de las deflexiones con la viga Benkelman- Resumen ..... | 41 |
| Figura 10: Evaluación cualitativa del cuenco de deflexiones .....          | 43 |

## RESUMEN

En la presente investigación se tiene como objetivo determinar el comportamiento estructural en el tramo Ingenio Casacancha - Concepción mediante la deflexión en el ensayo de la Viga Benkelman al poner un sardinel sumergido a la profundidad de base y sub base. La investigación se realizó bajo el método general científico y el específico el inductivo - deductivo, siendo de tipo básica y nivel exploratorio, así como de diseño experimental.

La evaluación sin colocar el sardinel sumergido la carretera tiene una deflexión de 1.18 mm la cual se encuentra por encima de la deformación admisible, y con sardinel a nivel de base una deflexión de 0.95mm y sub base una deflexión de 0.32mm, con ello se estima que la vida del pavimento se prolongara a un 300% más del tiempo previsto, lo cual daría solución al problema de las pavimentaciones con deterioro rápido.

Palabras claves: Viga Benkelman, deflexión de la pavimentación, sardinel sumergido.

## **ABSTRACT**

In the present investigation, the objective is to determine the structural behavior in the Ingenio Casacancha - Concepción section through deflection in the Benkelman Beam test by putting a submerged sardinel to the base and sub base depth. The research was carried out under the general scientific method and the specific inductive - deductive, being of basic type and exploratory level, as well as experimental design.

The evaluation without placing the submerged sardinel the road has a deflection of 1.18 mm which is above the permissible deformation, and with sardinel at the base level a deflection of 0.95mm and sub-base a deflection of 0.32mm, with it estimates that the life of the pavement will be extended to 300% more than the expected time, which would solve the problem of paving with rapid deterioration.

Keywords: Benkelman beam, paving deflection, submerged sardinel.

## INTRODUCCIÓN

¿Cómo hacer más durables las carreteras del país?, esta pregunta no es en ningún sentido, retórica, dado que se hace un gran gasto en mantenimiento de carreteras en la región Junín donde se gasta cerca de un millón de soles en solo dos meses en el 2018 por este concepto (MEF Dirección General de Presupuesto Público, 2018). Razón por la cual es necesario buscar alternativas para poder mejorar la vida útil de las carreteras sin la necesidad de hacer uso de un excesivo presupuesto en el camino.

Es por eso que, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la condición de la pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción mediante los resultados de la deflexión en el ensayo de la Viga Benkelman al poner sardinel sumergido a la profundidad de base y sub base. Para ello hace uso de un proceso de comparación mediante un proceso experimental con el cual se conseguirá detallar si es que este tipo de estructura anexa a las carreteras puede mejorar la vida útil de las últimas, pudiéndose constituir en un gran referente a la hora de mejorar el mantenimiento de carreteras rurales. Los resultados esperados de la investigación encontrarán resultados óptimos acerca del sardinel en el comportamiento estructural de las carreteras.

Esta investigación está estructurada de la siguiente forma, en el Capítulo, se presenta el planteamiento del problema el cual compone de la fundamentación del problema, seguida del planteamiento de los problemas, los objetivos, la justificación, importancia, alcances, limitaciones, delimitaciones, formulación de las hipótesis y la identificación y Operacionalización de las variables de estudio, esto para dar el soporte argumental necesario para la conjetura denotada en la presente investigación. En el Capítulo II Desarrollo del Marco Teórico de la investigación se describe, los antecedentes de estudio, dado que no se halló antecedentes en abundancia por la dificultad y la novedad de la presente investigación, dado que parece ser que este es la primera investigación que tratan estas dos variables. En el Capítulo III: Metodología de la investigación en la cual se detalla las formas de trabajo a realizar la presente investigación desde

el punto de vista epistemológico. El capítulo cuatro se realiza la presentación de los resultados del experimento, donde se detalla, cada proceso y posteriormente se realiza la evaluación para determinar el nivel de deflexión de la rasante, según el nivel de profundidad del sardinel sumergido.

El capítulo seguido es el de discusión de resultados, en este parte se tuvo el inconveniente de que no existe casi ningún antecedente con el cual se pueda realizar el análisis comparativo de los resultados y las metodologías empleadas, puesto que la investigación es de nivel exploratorio, es decir a partir de una idea se ha realizado el experimento para poder contrastar las hipótesis intuitivas del investigador.

Finalmente se presenta la conclusión y las recomendaciones de la investigación, las cuales han sido generadas a partir de los resultados encontrados durante el proceso del experimento y la evaluación de la misma.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

Las carreteras son algo muy importante para cualquier sociedad, estas constituyen algo parecido al sistema circulatorio del cuerpo humano, puesto que distribuye y transporta nutrientes que son necesarios para una serie de órganos integrados a esta red. De esta misma manera, el caso de la red de carreteras y vías de transporte urbano y rural tienen esta misma conexión. Cada año, las direcciones de transporte, los taxistas y público en general que hace uso del transporte sufren los embates de una mala calidad de las vías. Por tal motivo el Estado realiza carreteras de mejor calidad, sin embargo, esto no parece suceder de manera homogénea, además de recopilar deficiencias funcionales año tras año. (Cobeñas, Asesor, & Dextre, 2012)

Dentro de la diversidad de las obras en términos de vías, hay varias formas de poder obtener un estándar de calidad de estas vías. Los modelos de aplicación de pistas con pavimento flexible terminan por ser de una duración corta, no son de una vida útil trascendente por su granulación. Los daños que se pueden encontrar dentro de una carretera son por lo que se denomina ahuellamiento, que es el constante paso de los vehículos con alto tonelaje además que la mayoría de modelos de pistas son muy sensibles al agua, por lo que terminan cediendo ante

las inclemencias del tiempo, combinado con el mayor uso de vehículos de gran tonelaje. (Leiva, Pérez, Aguiar, & Loría, 2017)

Ahora bien, a medida que uno puede ver, hay un mayor descuido por parte de las autoridades a realizar obras con canales laterales para la correcta distribución del agua de lluvia hacia drenajes distribuidos y anexados a la red de alcantarillado. Esto además de poder ser justificado como una forma de abarcar una mayor cantidad de kilómetros dentro de los proyectos, implica que hay un desconocimiento acerca de la funcionalidad de estas estructuras a la hora del cuidado del pavimento contra los embates de precipitaciones.

La situación de este descuido se hace más frecuente en obras de pistas que se ubican en la zona rural, puesto que, ante la ausencia de redes de alcantarillado, no hay necesidad de poner algún tipo de sistema de drenaje, por lo que las pistas quedan expuestas al deterioro. La estructura de una pavimentación flexible se encuentra detallada en 3 partes: la pista propiamente dicha, la base y sub-base. (Rico Rodríguez & Castillo, 1974)

Ante este tipo de caso, lo que se conjetura es que si se puede poner algún tipo de estructura que sea costo eficiente para poder reducir el deterioro de las pistas. Existen una serie de posibles mejoras que se le puede hacer a una pista, aplicaremos una de ellas, en este caso se plantea hacer uso del sardinel sumergido para tal fin. Esta idea resulta de buscar proteger la zona externa de la pavimentación, justamente la que desarrolla mayor vulnerabilidad, puesto es ahí donde se producen los resquebrajamiento por la diferencia de materiales entre las capas y por la filtración de agua principalmente.

La presente investigación pretende llevar a cabo un experimento, de forma tal que se pueda obtener un indicador que permita mejorar la vida útil de las carreteras, esto a través del comportamiento estructural de las pistas a estudiarse, para lo cual el experimento consiste en realizar medidas de distorsión de las pistas a través de un mecanismo, en este caso se trabajará en base a las deflexiones de forma tal que se realice a base de las medidas con la Viga Benkelman (Horak, 2008; Zealand, 1977). Así, una vez que se hagan las mediciones, se pueda encontrar

diferencias en tres partes diferentes de una misma carretera, pero a la cual se le ha implementado los sardineles sumergidos en dos niveles distintos (en el nivel de la base y de la subbase), de forma tal que se produzca una diferenciación clara entre estas con respecto del caso de control (aquella zona donde no se ha puesto sardinel).

Bajo esta premisa se procederán a plantearse los siguientes sistemas de preguntas que dan pie a la investigación.

## **1.2. Formulación y sistematización del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el comportamiento estructural de la pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha Concepción al poner sardinel sumergido medido mediante la viga Benkelman?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cómo se ha diseñado el experimento del sardinel sumergido en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción?

¿Cuál es la deflexión de la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de base, medida por la viga Benkelman?

¿Cuál es la deflexión de la pavimentación en el tramo Ingenio – Casacancha Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de sub base, medida por la viga Benkelman?

¿Cuál es la profundidad óptima para colocar el sardinel sumergido en la base y sub base de la pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción?

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Practica o social**

La justificación de la presente investigación en términos sociales y prácticos está sustentada en la necesidad de dar posibles soluciones a la gestión pública en la generación de carreteras y pavimentos en lugares donde el presupuesto es bajo, limitándolos a solo realizar pavimentación en la carretera sin canaletas, que permite la desembocadura a los desagües evitando la humedad de la parte inferior a la sub base del pavimento. Es decir, al tener los sardineles sumergidos y el adecuado funcionamiento de este se podrá optimizar y minimizar la inversión pública destinada a carreteras, así mismo al durar estas obras los pobladores de a pie y los transportistas del área se verán beneficiados, puesto que el costo de transporte debería disminuir, sacar sus productos al mercado se realizaría en el menor tiempo, y de por sí los terrenos en áreas aledañas deberían incrementarse, según estudios económicos.

#### **1.3.2. Científica o teórica**

El realizar como experimento la implementación del sardinel sumergido a los extremos de una pavimentación, se tiene como posible propuesta el mejor mantenimiento y duración de esta, sin embargo no hay teoría que de sustento este tipo de investigación, más que la intuición y experiencia de los profesionales ligados a la Ingeniería Civil, este puede ser generado a partir de la experimentación y el análisis detallado del proceso y los resultados que se obtengan en la presenta. Así mismo la generación de base teórica, servirá para dar inicio a nuevas investigaciones, que permitan corroborar la disminución de costos, es decir menor inversión manteniendo la durabilidad de los pavimentos, en áreas principalmente rurales.

#### **1.3.3. Metodológica**

En términos metodológicos, la investigación será de tipo básico donde en base a los conceptos, métodos y teorías ya existentes se propone dar un

aporte para obtener durabilidad en la pavimentación de las carreteras. Así mismo, para contrastar esta propuesta se realizará bajo un diseño experimental, permitiendo realizar seguimiento al comportamiento estructural del pavimento con apoyo de la viga de Benkelman.

#### **1.4. Delimitaciones**

##### **1.4.1. Delimitación espacial**

La investigación se realizará en un rango espacial detallado en la carretera Ingenio - Casacancha, provincia de Concepción, en la región Junín.

##### **1.4.2. Delimitación temporal**

La investigación se realizará en un rango de tiempo diario a lo largo del mes de enero del año 2019 hasta el mes de abril del 2019.

##### **1.4.3. Delimitación económica**

Se tomará en consideración definiciones y conceptos de las bases teóricas, principalmente en el ámbito de la estructura de pavimentos, de la deflexión de caída de peso en pavimentación flexible y el desarrollo de las mediciones mediante Viga Benkelman.

#### **1.5. Limitaciones**

Carencia de antecedentes ya que es una investigación nueva, en la cual obtenemos resultados de los ensayos realizados en el paquete estructural con la Viga Benkelman.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Determinar el comportamiento estructural de la pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha Concepción al poner sardinel sumergido medido mediante la viga Benkelman.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

Describir el diseño propuesto del experimento del sardinel sumergido en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción.

Hallar la deflexión de la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de base, medida por la viga Benkelman.

Hallar la deflexión de la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de sub base, medida por la viga Benkelman.

Determinar la profundidad óptima para colocar el sardinel sumergido en la base o sub base mediante los resultados del ensayo de la Viga Benkelman pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

La presente investigación de delinea como una que tiene un nivel de investigación exploratorio, dado que no se tiene evidencia acerca del tema de trabajo en específico, de la misma manera, los antecedentes que se presentan dan una idea desde el punto de vista de la aplicación de mediciones de la deformación y por ende se presentan en la siguiente parte de la tesis, algunos de estos.

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

Uno de los trabajos más antiguo sobre el tema es el realizado por la División de Carreteras de California (Zube & Forsyth., 1966) para la evaluación de los pavimentos flexibles existentes y la recomendación de una reconstrucción adecuada. Desde 1960, en unos 80 proyectos buscando el objetivo principal de la recomendación de un tratamiento correctivo adecuado. Como resultado de este programa intensivo, se ha acumulado un gran volumen de datos sobre las propiedades de atenuación de la desviación de varios materiales de la calzada y se presenta en este informe, junto con los resultados de los estudios de desviación individuales. El procedimiento de prueba, el método de evaluación de los datos de deflexión y los criterios de diseño que han evolucionado se examinan en detalle. Además, se discuten los factores económicos y prácticos involucrados en hacer una

recomendación específica. Una sección separada del informe está dedicada a una revisión de la investigación de deflexión actual, incluido el trabajo que se está realizando en el establecimiento de los criterios de deflexión máxima que pueden ajustarse a las variaciones en el volumen de tráfico. También se incluye un breve análisis de los datos de radio de curvatura obtenidos con el medidor de curvatura Dehlen.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Pavimentos, clasificación y diseño**

La estructura de una pista se encuentra detallada en 3 partes: la pista propiamente dicha, base y sub-base.

#### **2.2.1.1. Comportamiento estructural del Pavimento flexible**

Está conformado por una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento que conviene en términos económicos dado que tiene un bajo nivel de inversión con respecto de otras carreteras, pero en desventaja se puede notar que tiene un período de vida de entre 10 y 15 años, por lo que es necesario mantenerlas en buen estado.

La condición estructural de un pavimento debe evaluarse mediante el uso de pruebas no destructivas y tecnologías de sensores adecuadas para que se puedan formular opciones de rehabilitación adecuadas con el máximo ahorro de costos. El mantenimiento adecuado de las estructuras de pavimento existentes y el diseño / implementación de enfoques de rehabilitación adecuados a través de evaluaciones de capacidad estructural son fundamentales para garantizar sistemas de pavimento rentables y duraderos.

Uno de los enfoques de mantenimiento y rehabilitación más comunes para pavimentos flexibles consiste en la colocación de una capa de mezcla de asfalto en caliente (H.M.A.) sobre la estructura del pavimento existente, lo que mejora significativamente el estado estructural y funcional del pavimento. La evaluación adecuada de la

condición estructural actual de los pavimentos existentes es crítica para este proceso, y puede lograrse utilizando equipos de prueba no destructiva (N.D.T.) como el deflectómetro de caída de peso (F.W.D.). Aunque el estado de la técnica en la evaluación estructural del pavimento basado en deflexión ha avanzado significativamente con la incorporación de enfoques de análisis modernos, tales como los métodos basados en energía y viscoelásticos, el grado de implementación de tales métodos en la práctica real a menudo se encuentra rezagado. Algunos de los factores que potencialmente han contribuido a tales diferencias en el estado de la técnica en investigación y estado de la práctica en tecnología de pavimento son: (a) los costos iniciales asociados con la adquisición de dispositivos F.W.D. y (b) los inconvenientes asociados con la aplicación de complejos procedimientos de análisis que requieren un tiempo y conocimientos significativos de los ingenieros en ejercicio. Estos obstáculos y la disponibilidad de recursos limitados se vuelven particularmente importantes durante la rehabilitación de carreteras de bajo volumen. Por consiguiente, el diseño de espesor de superposición para pavimentos flexibles de bajo volumen a menudo lo llevan a cabo las direcciones de transporte locales que utilizan enfoques altamente empíricos sin ningún análisis mecánico.

#### **2.2.1.2. Viga Benkelman**

Este procedimiento de prueba cubre la determinación de la deflexión de rebote de un pavimento bajo una carga estándar de ruedas y presión de neumáticos, con o sin mediciones de temperatura. Para el caso de la investigación es con temperatura.(Zealand, 1977).

El equipo básico consiste generalmente en:

- Un equipo de Benkelman según el patrón establecido. El equipo debe estar provisto con un dispositivo de bloqueo satisfactorio

diseñado para asegurar el haz cuando se traslada a un sitio nuevo y un vibrador adecuado montado en el punto de pivote.

- Un camión o remolque con una carga por eje de  $8.20 \pm 0.15$  toneladas distribuidas equitativamente en dos ruedas con doble tracción que operan a la presión de inflado necesaria para proporcionar un área de contacto del neumático de  $0.048 \pm 0.0002$  m<sup>2</sup>. Los neumáticos deben ser preferiblemente de 10.00 x 20, 12 capas con tubos y bandas de rodadura.
- Un medidor de presión de llantas graduado en divisiones de 20 kilopascales o más pequeñas.
- Un termómetro con un rango de 0-6 ° centígrados en divisiones de 1 ° centígrados.
- Un mandril adecuado para hacer un agujero de 100 milímetros de profundidad en el pavimento para insertar el termómetro. El diámetro del agujero debe ser de 13 milímetros.
- Unas latas que contienen glicerolés o aceites para llenar el orificio del termómetro.

Así las deflexiones se medirán de la siguiente manera (Zealand, 1977):

- los puntos de pruebas deberán estar preseleccionado y marcado.
- Las presiones de los neumáticos deben verificarse antes de la primera prueba y luego a intervalos que no excedan las tres horas.
- La carretilla se colocará inicialmente con la rueda de prueba entre 100 y 150 milímetros en la parte trasera del punto de prueba, es decir, la posición A.

- Las sondas de las vigas se insertarán entre los neumáticos dobles de las ruedas de pruebas con la punta ubicada en los puntos de pruebas.
- El dispositivo de bloqueo se liberará y la parte trasera de la viga se ajustará de modo que el émbolo esté en los contactos con los indicadores de cuadrantes.
- El indicador de dial debe configurarse para leer entre 9 y 11 milímetros (no es necesario registrar la lectura real) y el vibrador debe ponerse en funcionamiento.

La desviación de rebote del pavimento se calculará de la siguiente manera (Zealand, 1977):

- (a) Se establecerán dos indicadores de rebote en el pavimento restando las lecturas intermedia y final de la lectura inicial, es decir: (S. – I.) y (S. – F.)
- (b) Si los indicadores así obtenidos concuerdan dentro de 0.03 milímetros, la verdadera desviación del rebote a la temperatura T se calculará como:  $X_T = 2(S - F)$
- (c) Si los indicadores (S. – I.) y (S. – F.) difieren en más de 0.03 milímetros, la forma inicial del tazón ha sido tal que influye en las patas de apoyo delanteras del instrumento y los cálculos se ajustarán de la siguiente manera:

$$X_T = 2(S - F) + 5.82(I - F)$$

- (d) La desviación de las deflexiones del pavimento a una temperatura estándar de 20 ° Centígrados se calculará a partir de la figura anterior aplicando la fórmula:

$$X_{20} = X_T + \frac{20 - t}{110}$$

donde  $X_{20}$  = deflexión de rebote corregida por temperatura en milímetros y  $t$  = temperatura en grados Celsius 40 mm por debajo de la superficie del pavimento.

### **2.2.2. Deflectómetro**

El deflectómetro de caída de peso (F.W.D., por sus siglas en inglés) “se utiliza en todo el mundo como un dispositivo de prueba en carretera valioso y no destructivo establecido para los análisis estructurales de pavimentos”. El F.W.D. se utiliza principalmente para investigaciones de diseño a nivel de proyectos de rehabilitación y para el monitoreo del sistema de gestión de pavimentos (P.M.S.) en una red. En las investigaciones a nivel de proyecto, los gráficos de diseño basados tanto en relaciones empíricas como en enfoques mecanicistas o teóricos se usan a menudo para proporcionar evaluaciones estructurales y opciones de rehabilitación. El enfoque mecanicista completo normalmente utiliza la teoría elástica lineal de múltiples capas y los procedimientos de cálculo de retroceso que se han sometido a escrutinio debido a la inexactitud de los resultados. Se ha desarrollado una técnica de análisis semi-mecánico y semi-empírico en Sudáfrica en términos de qué parámetros de tazón de deflexión, medidos con el F.W.D., se utilizan en una metodología de evaluación comparativa relativa junto con una metodología de estudio visual estandarizado para proporcionar orientación sobre las fortalezas de capa individual y precisar las necesidades de rehabilitación. Esta metodología de referencia permite la determinación de la condición estructural relativa del pavimento a lo largo y en profundidad sin el requisito de datos detallados de construcción. (Horak, 2008)

#### **2.2.2.1. Deflexión de pavimento por factores hidrológicos**

Las medidas de deflexión de la superficie del pavimento son el principal medio para evaluar la estructura flexible del pavimento y la transferencia de carga del pavimento rígido. Aunque se pueden realizar otras mediciones que reflejen (hasta cierto punto) la condición estructural de un pavimento, la deflexión de la superficie es un método

importante de evaluación del pavimento porque la magnitud y la forma de la desviación del pavimento es una función del tráfico (tipo y volumen), sección estructural del pavimento, temperatura afectando la estructura del pavimento y la humedad afectando la estructura del pavimento. Las medidas de deflexión se pueden usar en los métodos de cálculo de retroceso para determinar la rigidez de la capa estructural del pavimento y el módulo elástico de sub-rasante (Montejo, 2006). Por lo tanto, muchas características de un pavimento flexible se pueden determinar midiendo su desviación en respuesta a la carga. Además, las medidas de desviación del pavimento no son destructivas.

La deflexión de la superficie se mide como la distancia desviada vertical de la superficie de un pavimento como resultado de una carga aplicada (estática o dinámica). Los dispositivos de medición más avanzados registran esta deflexión vertical en múltiples ubicaciones, lo que proporciona una caracterización más completa de la deflexión del pavimento. El área de desviación del pavimento debajo y cerca de la aplicación de carga se conoce colectivamente como la "cuenca de desviación" (Azócar, 2007).

Existen tres categorías amplias de equipos de prueba de desviación no destructiva:

- Deflexiones estáticas
- Deflexiones de estado estacionario
- Deflexiones de carga de impacto (F.W.D.)

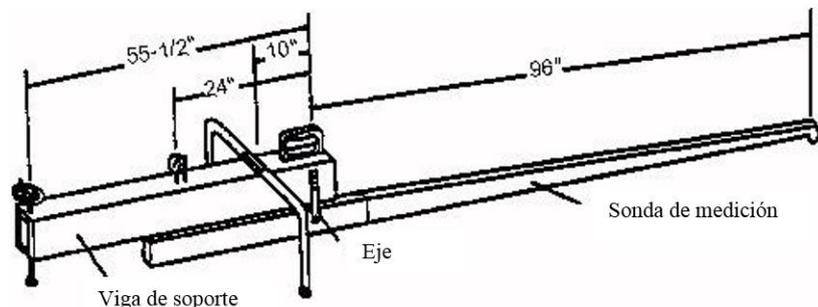
El principio general es aplicar una carga de magnitud conocida a la superficie del pavimento y analizar la forma y la magnitud de la cuenca de desviación para evaluar la resistencia de la estructura del pavimento

## Equipos de deflexión estática

El equipo de desviación estática mide la desviación del pavimento en respuesta a una carga estática.

### 2.2.2.2. Benkelman Beam

El Benkelman Beam , desarrollado en 1952 en el Test de carretera de la Asociación Occidental de Organizaciones de Carreteras del Estado (W.A.S.H.O., por sus siglas en inglés), es un dispositivo simple que funciona según el principio del brazo de palanca. El Benkelman Beam se usa con un camión cargado, típicamente 80 k.N. (18,000 lb) en un solo eje con llantas dobles infladas a 480 a 550 k.P.a. (70 a 80 p.s.i.). La medición se realiza colocando la punta de la viga entre los neumáticos dobles y midiendo el rebote de la superficie del pavimento a medida que el camión se aleja. El Benkelman Beam es de bajo costo, pero también es lento, requiere mucho trabajo y no proporciona una cuenca de desviación (National Research Council (U.S.). Transportation Research Board., Kassabian, National Academy of Sciences (U.S.), National Research Council (U.S.). Transportation Research Board. Committee on Pavement Condition Evaluation., & National Research Council (U.S.). Transportation Research Board. Committee on Strength and Deformation Characteristics of Pavement Sections., 1982).



**Figura 1: El Benkelman Beam**

Las pruebas estándar de Benkelman Beam se describen en:

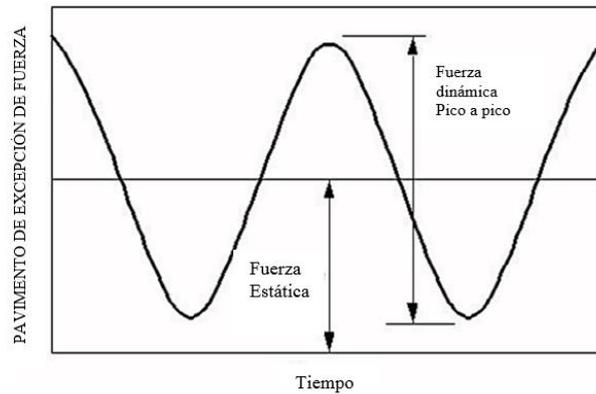
A.A.S.H.T.O. T. 2.5.6.: Mediciones de la deflexión del pavimento

A.S.T.M. D. 4.6.9.5.: Mediciones generales de desviación del pavimento

### **Equipo de deflexión de estado estable**

El equipo de deflexión de estado estacionario mide la desviación dinámica de un pavimento producido por una carga oscilante. Estos dispositivos constan de un generador de fuerza dinámica (que produce la carga oscilante), un instrumento de medición de movimiento (para medir la carga oscilante), una unidad de calibración y varios dispositivos de medición de desviación (transductores, acelerómetros, sismómetros, etc.) (National Research Council (U.S.). Transportation Research Board. et al., 1982). La principal ventaja que ofrecen los equipos de desviación en estado estacionario sobre los equipos de desviación estática es que pueden medir una cuenca de desviación. Los equipos de desviación en estado estacionario más comunes son el Dynaflect y el Road Rater.

El equipo de deflexión de estado estable es estacionario cuando se toman mediciones con el generador de fuerza (contrapesos giratorios) iniciado y los sensores de desviación (transductores) bajados a la superficie del pavimento (National Research Council (U.S.). Transportation Research Board. et al., 1982). La figura muestra la ubicación de las ruedas de carga del equipo y los cinco transductores. El equipo es más adecuado para el uso en pavimentos más delgados, como carreteras rurales de bajo volumen, carreteras de condados, calles municipales y estacionamientos (I.M.S., 2001).



**Figura 2: Salida de fuerza típica**

Las pruebas de deflexión de estado estacionario estándar se describen en:

A.A.S.H.T.O. T. 256: Mediciones de la deflexión del pavimento

A.S.T.M. D. 4.6.9.5.: Mediciones generales de desviación del pavimento.

Escenarios desarrollados se utilizaron al evaluar los impactos del cambio climático en el rendimiento del pavimento asfáltico. Las conclusiones alcanzadas a través del desarrollo de mapas de medias de múltiples modelos se hicieron referencia para identificar los cambios climáticos anticipados (National Research Council (U.S.). Transportation Research Board. et al., 1982). Con respecto al daño por humedad en los pavimentos asfálticos, se seleccionaron los siguientes mapas para su posterior análisis:

- Cambio en la precipitación anual,
- Cambio en el número de ciclos de congelación-descongelación, y
- Cambio en la temperatura máxima anual.

### **2.2.3. Sardinel, diseño y su utilidad.**

El sardinel es el borde donde una acera elevada (pavimento) o una reserva central / central de carreteras se encuentra con una calle u otro camino.

Los sardineles pueden cumplir una o varias funciones. (Suh, Ha, & Won, 2008). Al delinear el borde del pavimento, separan la carretera de la acera y disuaden a los conductores de estacionarse o conducir en aceras y césped. También proporcionan apoyo estructural al borde del pavimento . Se pueden usar sardineles para canalizar el agua de escorrentía de la lluvia o la nieve y el hielo derretidos hacia los desagües pluviales.

También hay un aspecto estético, en el que los sardineles parecen formales y "terminados".

Como los sardineles aumentan el costo de una carretera, generalmente se limitan a áreas urbanas y suburbanas, y rara vez se encuentran en áreas rurales, excepto cuando ciertas condiciones de drenaje (como montañas o alcantarillas) lo hacen necesario. Sin embargo, los sardineles no se utilizan universalmente, incluso en entornos urbanos.

En entornos de baja velocidad, los sardineles son efectivos para canalizar el tráfico de vehículos motorizados y pueden proporcionar cierta capacidad de redirección para impactos de baja velocidad. (Suh et al., 2008)

En carreteras de mayor velocidad, la función principal de los sardineles es proporcionar drenaje y se utiliza principalmente en áreas de aproximación de puentes u otros lugares con riesgo de erosión. (Suh et al., 2008)

Un vehículo de alta velocidad que golpea un sardinel puede girar hacia la acera, en lugar de alejarse de él. (Suh et al., 2008) Un vehículo que golpea un sardinel puede ser disparado en un vuelco choque o abovedado en el aire. El vehículo podría ser saltado sobre una barrera de tránsito en el objeto que la barrera pretende proteger . Esta es una razón por la que rara vez se utilizan

en carreteras rurales o de alta velocidad. Cuando se utiliza el sardinel con una barrera de tránsito, la barrera debe estar cerca o bien detrás del sardinel, para reducir las posibilidades de que un vehículo pase por encima de la barrera. (DIVISION DE INGENIERIA. EU, 2015)

Según el área y la distancia entre el carril de desplazamiento y el borde del pavimento, se puede usar una línea de borde para indicar el borde exterior (borde) de la carretera. El material retro-reflectante de señalización vial también se puede aplicar a la acera para hacerla más visible.

Los sardineles también deben informar a los peatones que paren o disminuyan la velocidad cuando se preparan para cruzar carreteras. Por ejemplo, el contexto cultural y las normas de comportamiento de una sociedad pueden afectar la seguridad, ya que es más probable que las personas se crucen en una luz roja mientras están solas que esperando con otras personas en la acera. (Olszewski, Osińska, & Zielińska, 2016).

#### **2.2.3.1. Tipos:**

Hay varios tipos de sardineles, categorizados por forma, material, altura y si el sardinel se combina con un canalón. La mayoría de los sardineles se construyen separados del pavimento, y el canal se forma en la unión entre la calzada y el sardinel. El sardinel y la canaleta combinados (también llamados "sardinel y canal") tienen un sardinel y canal de concretos fundidos en una sola pieza. El "sardinel integral" se construye de manera integral como parte de un pavimento de concreto.

#### **2.2.3.2. Forma**

Los sardineles a menudo tienen una cara vertical o casi vertical, también llamada "barrera", "no montable" o "sardinel insuperable". El sardinel de cara vertical se utiliza para disuadir a los conductores de vehículos motorizados de abandonar la carretera. El tipo cuadrado (con un ángulo de 90 °) o casi cuadrado se usa casi siempre en pueblos y ciudades, ya que es un paso recto hacia abajo y, por lo tanto, es menos

probable que los peatones tropiecen con él. Por el contrario, un sardinel con pendiente permite que los vehículos de motor lo crucen a baja velocidad. “El sardinel con pendiente es el más utilizado en las principales vías suburbanas”.

En los cruces peatonales y otros cruces peatonales, se utilizan estrechos cortes de sardineles para permitir que crucen pequeños vehículos con ruedas, como sillas de ruedas, triciclos para niños, cochecitos y cochecitos. Esto facilita el desplazamiento para algunos peatones, y especialmente para aquellos en sillas de ruedas. Los cortes de acera más anchos también se usan para permitir que los vehículos motorizados crucen las aceras a baja velocidad, generalmente para caminos de acceso.

Los sardineles redondeados se usan con mayor frecuencia en los caminos de acceso, y de manera continua a lo largo de las calles residenciales suburbanas donde hay muchos caminos de entrada y la acera tiene un revés de hierba de la calle. Este tipo de sardinel comienza casi plano como la carretera, se curva en forma cóncava hasta una suave pendiente, luego se curva en forma convexa para volver a ser casi plano, lo que facilita mucho la conducción, y también se conoce como enrollado "o" sardinel montable en algunas localidades. Los constructores prefieren estos tipos de sardineles porque son menos costosos que la instalación de sardineles y canalones rectos. (Loukaitou-Sideris & Ehrenfeucht, 2009) Son más fáciles de colocar utilizando concreto, y requieren menos conformación ya que las plantillas de acero se pueden usar con solo las formas frontal y posterior necesarias. [10] Su uso también elimina la necesidad de cortes en la calzada, sardineles y faldones, lo que reduce aún más los costos. [10]

### **2.2.3.3. Material**

Formas metálicas antes de verter el hormigón y acabado a mano.

Formación a mano en cuencas de captura.

Los sardineles están contruidos con muchos materiales, incluidos bloques de asfalto, piedra o mampostería, pero en la mayoría de los casos están hechos de cemento de cemento Portland. El tipo de material puede depender del tipo de material de pavimentación utilizado para la carretera y la función o necesidad deseada. Por ejemplo, un sardinel de concreto Portland utilizado con una superficie de carretera de asfalto de hormigón proporciona una barrera altamente visible en el borde de la superficie de la carretera. Otros tipos de material para sardineles incluyen losas de piedra, adoquines y adoquines fabricados.

El sardinel de concreto puede construirse colocando los formularios a mano, llenándolos, dejándolos configurar y luego retirando los formularios. Cuando se van a construir grandes cantidades de sardineles, a menudo es más eficiente usar una máquina de fundición de forma deslizante. Los sardineles también pueden ser prefabricados en una ubicación central y transportados en camiones al sitio de construcción.

La acera de asfalto se hace generalmente con una máquina de pavimentación. Puede ser más barato si se forma al mismo tiempo que se pavimenta una carretera, pero es menos duradero que el sardinel de concreto.

El sardinel de piedra, a menudo hecho de granito, es duradero y resistente al deshielo. También es elegido por razones estéticas. En áreas donde hay granito disponible, puede ser más barato que un sardinel de concreto. [10] Una desventaja del sardinel de granito es que puede cortar la pared lateral de un neumático si tiene una superficie áspera. (Suh et al., 2008)

Los sardineles de bloques belgas se hacen colocando bloques sobre una plataforma de concreto. Luego, se mete más concreto entre

los bloques para mantenerlos juntos. Estos bloques pueden ser verticales o en ángulo para crear un sardinel que se pueda montar.

#### **2.2.3.4. Altura**

Cuando se diseña un camino restringido, los ingenieros especifican "revelar" o "borde". La revelación es la altura de la sección que es visible (revelada) sobre la superficie de la carretera. Las revelaciones típicas están en el rango de 4 a 8 pulgadas (100 a 200 mm). Las restricciones en los recortes para discapacitados (o "rampas de contención", por ejemplo, en Australia) no deberían revelarse, aunque las pautas de la Ley permiten hasta 0.25 pulg. (6 mm) de revelación vertical. Una de las recomendaciones ha estado utilizando un 4/12 bateador en para acomodar el diseño de automóviles porque bateadores más pronunciadas tienden a interferir con el ajuste de cuerpo, tapacubos, e inferior bordes de la puerta mientras sardinel enfrenta en exceso de 6 en (152 mm) de altura puede impedir que el Apertura total de puertas de automóviles. (Suh et al., 2008) La mayoría de los sardineles se extienden hacia el suelo debajo de la superficie del pavimento, para mejorar su estabilidad a lo largo del tiempo. La altura total, incluida la parte enterrada, suele ser de 16 pulgadas (406 mm).

#### **2.2.3.5. Canalón integral**

Los sardineles con canales integrales se utilizan donde se necesita un mejor rendimiento del flujo hidráulico. Sin embargo, esto coloca una junta longitudinal (paralela a la dirección de viaje) cerca de donde los ciclistas a menudo viajan. Si la carretera principal y la canaleta se asientan de manera diferente a lo largo del tiempo, el borde vertical que se desarrolla en la unión puede causar un peligro para los ciclistas. (Suh et al., 2008)

## 2.3. Definición de términos

**Sardinell sumergido:** es el borde, una acera en este caso sumergida que está por debajo de la superficie del pavimento, de una vía de acceso, carretera, calle, camino etc. (asfaltos).

**Deflexiones:** Las medidas de deflexión de la superficie del pavimento son el principal medio para evaluar la estructura flexible del pavimento y la transferencia de carga del pavimento rígido. (Montejo, 2006).

**Comportamiento estructural del pavimento:** La condición estructural de un pavimento debe evaluarse mediante el uso de pruebas no destructivas y tecnologías de sensores adecuadas para que se puedan formular opciones de rehabilitación adecuadas con el máximo ahorro de costos. El mantenimiento adecuado de las estructuras de pavimento existentes y el diseño / implementación de enfoques de rehabilitación adecuados a través de evaluaciones de capacidad estructural son fundamentales para garantizar sistemas de pavimento rentables y duraderos.

**Viga Benkelman:** es el instrumento que nos permite medir la deflexión de la carpeta asfáltica mediante un proceso en el cual se usa el peso de 8.2 toneladas de los neumáticos traseros de un camión y la deformación de la carpeta asfáltica de un punto de inicio y alejándose progresivamente hasta su recuperación de la misma.

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

La condición de la pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción al poner sardinell sumergido amplía la duración de la pavimentación, a mayor profundidad respecto a la sub base, mejores resultados en el comportamiento estructural del pavimento.

## **2.4.2. Hipótesis específicas**

Hipótesis específica 1 no requiere ser formuladas por ser respondida de descriptivamente.

Existe una deflexión menor a 1.03 mm en la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de base, medida por la viga Benkelman. La cual no supera la deformación admisible.

Existe una deflexión menor a 1.03 mm en la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de sub base, medida por la viga Benkelman. La cual no supera la deformación admisible.

La profundidad óptima para colocar el sardinel sumergido a fin de mantener o conservar la pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción es a nivel de la sub base.

## **2.5. Variables**

### **2.5.1. Definición conceptual de la variable**

Sardinel sumergido: es el borde, una acera en este caso sumergida que está por debajo de la superficie del pavimento, de una vía de acceso, carretera, calle, camino etc. (asfaltos).

Comportamiento estructural del pavimento: La condición estructural de un pavimento debe evaluarse mediante el uso de pruebas no destructivas y tecnologías de sensores adecuadas para que se puedan formular opciones de rehabilitación adecuadas con el máximo ahorro de costos. El mantenimiento adecuado de las estructuras de pavimento existentes y el diseño / implementación de enfoques de rehabilitación adecuados a través de evaluaciones de capacidad estructural son fundamentales para garantizar sistemas de pavimento rentables y duraderos.

### 2.5.2. Definición operacional de las variables

**Sardinell sumergido:** Para la medición del sardinell se hacen uso de los niveles de profundidad a los que se puede sumergir el sardinell, en este caso, se puede tener tres casos posibles: sin sardinell, sardinell a nivel de base y sardinell a nivel de sub-base

**Comportamiento estructural del pavimento:** En el caso de la medición del comportamiento estructural se hace uso de la medición mediante Viga Benkelman.

### 2.5.3. Operacionalización de las variables

**Tabla 1:**

***Descripción de variables***

| VARIABLES  | DIMENSIONES             | INDICADORES  |
|--|-------------------------|--|
| <b>Variable dependiente:</b><br>Comportamiento estructural del pavimento | Deflexión a profundidad | Medición de Viga Benkelman   |
| <b>Variable independiente:</b><br>Sardinell sumergido                    | Sardinell sumergido     | Sin presencia del sardinell<br>Profundidad nivel de base<br>Profundidad a nivel sub base |

Elaboración propia

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método de investigación**

El método general utilizado será el científico, este se caracteriza por ser una organización detallada de procesos realizados a partir de la identificación de un problema y la propuesta para la solución de la misma (Ghelani, Oliver, Holbrook, Wheeler, & Klotzbach, 2015). El método específico con el cual se hará la investigación es inductivo –deductivo, puesto que se revisará teoría anterior para concretar, experimentar y proponer una nueva teoría, así como de medición estadística (Mark & Caputi Peter, 2001), plasmando por medio de estadísticos las características de cuantitativas del comportamiento estructural de la pavimentación en los diferentes mediciones realizadas después del experimento.

### **3.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es básica, al no tener antecedentes exactos que hayan relacionado las variables de estudio por lo novedoso del tema (Hernández, Fernandez, & Baptista, 2010), porque se pretende interrelacionar las variables de estudio, y a partir de ello mejorar entendimiento del comportamiento estructural del pavimento.

### **3.3. Nivel de investigación**

El nivel de la investigación será exploratoria – comparativa (Curtis, Comiskey, & Dempsey, 2016). La primera porque no se conoce estudios previos que puedan caracterizar a las variables y a su relación intrínseca. Y, comparativa puesto que, para determinar el mejor resultado de los experimentos, se requiere detallar la similitudes o diferencias al no tener el pavimento el sardinel sumergido y al ser realizado al nivel de la base y sub base.

### **3.4. Diseño de investigación**

La investigación será trabajada bajo el diseño experimental y de serie de tiempo; experimental porque el investigador tendrá dominio y manejo de las condiciones y características de las variables manipulándolas, a fin de obtener el mejor resultado posible. Y, es de serie de tiempo, porque la data cuantitativa y fotográfica será obtenida en más de tres periodos diferentes (Rajasekar, Philominathan, & Chinnathambi, 2006).

### **3.5. Población y muestra**

La población estará constituida por el tramo de la carretera que une Ingenio - Casacancha, en la Provincia de Concepción, región Junín.

La muestra estudio constará de tres porciones de la carretera, dando soporte a dos partes del pavimento con la construcción del sardinel sumergido tanto a nivel de la sub base y de la base.

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

#### **3.6.1. Técnicas**

Se utilizará la técnica de la observación estructurada, (Kothari, Kumar, & Uusitalo, 2014) puesto que permite generar un análisis de la variable característica de una forma ordenada, detallada y enmarcada en una metodología especificada, es decir, se basa en una estructura metodológica.

### **3.6.2. Instrumentos**

El instrumento de trabajo para poder recoger los datos se constituye en el deflectómetro, hojas de registro y la cámara fotográfica, un equipo capaz de poder medir la capacidad de deflexión en un pavimento. Esto a su vez está basado en el método de medición Viga Benkelman el cual responde a las necesidades de la investigación. (Kothari et al., 2014)

### **3.7. Procesamiento de la información**

Formado la recabe de los datos recabados en los programas de computador de bases de datos, como MS-Excel 2016 y IBM - SPSS 23 con el objetivo de alcanzar estadísticos que respondan a las hipótesis planteadas.

### **3.8. Técnicas y análisis de datos**

La técnica a utilizarse es el test de medias, la cual implica una separación de la muestra en dos grupos, detallado en la característica más importante y proceder a calcular la diferencia de las medias con respecto a las variaciones estadísticas de las mismas, es decir, además de la diferencia también se tiene en consideración la estabilidad de la misma. Esto se trabaja mediante el estadístico t- Student y tiene como principal fundamento a la probabilidad de que este estadístico tenga un nivel superior al máximo teórico permitido en una significancia del 95%.

El nivel del estadístico a nivel teórico varía entre 1.96 a más, dependiendo principalmente del número de datos con los que se cuente. Es así que cuando el estadístico t tiene un valor por debajo de 2, se dice que está más cerca a cero, validando la hipótesis nula de la investigación (no existencia de la influencia entre variables) y teniéndose un valor de la probabilidad por encima del 5%. En viceversa cuando el valor es superior a 2.04, se da el caso que está lo suficiente alejado del cero, rechazando la hipótesis nula y validando la alterna (existencia de alguna influencia), denotándose una probabilidad del estadístico de menos del 5%.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Análisis de resultados:**

La presente tiene por objeto obtener información necesaria para la evaluación del deterioro del pavimento, mediante el ensayo no destructivo, con el aparato denominado Viga Benkelman, y los resultados del mismo realizado al pavimento flexible por acción de cargas vehiculares para la Tesis ANALISIS EXPERIMENTAL DEL SARDINEL SUMERGIDO MEDIANTE DEFLEXIONES EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL CON LA VIGA BANKELMAN de la Carretera Ingenio Casacancha, Provincia de Concepción Departamento de Junín

Estos trabajos fueron realizados por la Empresa Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C., el cual fue realizado siguiendo los pasos a continuación detallados:

- Se hizo uso de 20 metros, donde a lo largo de esta se procedieron a poner un espacio testigo (sin sardinel sumergido) y espacios con sardinel sumergido (uno de 20 cm y otro de 40 cm respectivamente)
- Se dejó reposar 4 meses aproximadamente, esperando la época de lluvia, esperando un efecto proporcional de daño estructural a causa de las lluvias por el proceso de filtración, asumiendo que al ser tan próximo, los

resultados de un efecto adverso por esta filtración deberían de ser equivalentes en toda la dimensión del experimento.

- Se hizo el experimento en base al paso de un camión con agregado de (8.2 toneladas) y se tomó medida de la deflexión y del radio de curvatura de cada uno de los tipos de experimentación (sin sardinel, sardinel a 20 cm y sardinel a 40 cm).

A continuación, se presenta a profundidad una explicación sobre lo correspondiente a este proceso:

#### 4.1.1. Análisis de campo

##### 4.1.1.1. Ubicación y descripción del área de trabajo

El área donde se realizaron los ensayos de deflexión con la viga Benkelman corresponde a la carretera Ingenio Casacancha iniciándose en la progresiva 0+100 Km, que está ubicado políticamente en el Distrito de Ingenio y Provincia de Concepción del Departamento de Junín, geográficamente se encuentra entre las coordenadas UTM: Punto de inicio del Tramo P1 (470437 m E 8685498 m S)

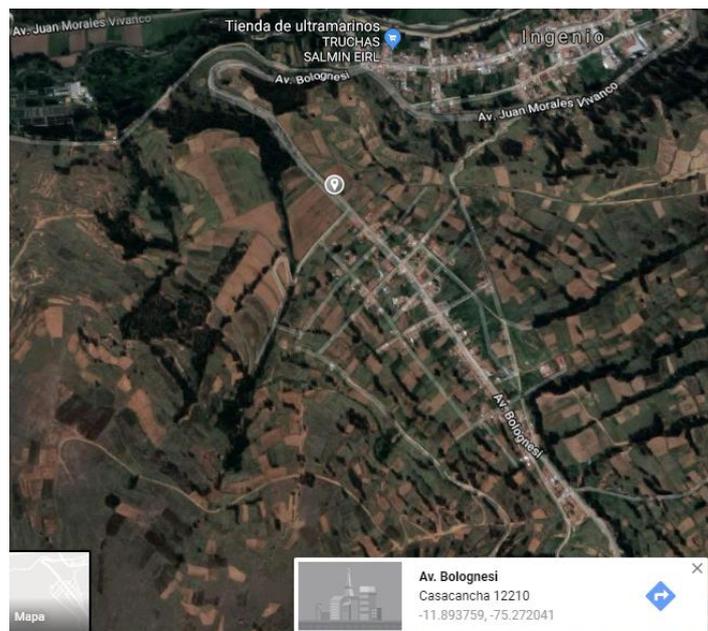


Figura 3: Ubicación de la carretera Ingenio - Casacancha

#### 4.1.1.2. Breve descripción de la vía

La carretera Ingenio Casacancha es una vía asfaltada de ambos sentidos (Km 0 +100 Km al Km 0+ 120) donde se realizó el trabajo tiene las siguientes características:

- Ancho de vía de 7.20 m
- 2 carriles
- 2 sentidos
- Superficie asfaltada



Figura 4: Lugar de inicio del experimento

#### 4.1.1.3. Trabajos de campo

Se realizaron los trabajos el día 29 de Marzo de 2019 iniciándose a las 10:30 a.m. ya en campo se ubicaron los tres puntos progresiva P1 ubicado en la progresiva 0+100 Km, P2 ubicado en la progresiva 0+110 Km y P3 ubicado en la progresiva 0+120 Km según la disposición del sardinel sumergido, en la progresivo 0+100 no existe sardinel, en la

progresiva 0+110 el sardinel se encuentra sumergido hasta el nivel de la base y en la progresiva 0+120 Km el sardinel se encuentra sumergido hasta la sub rasante, iniciándose los ensayos según dispone el manual de ensayos en su sección N°10 Medida de la deflexión de un pavimento flexible empelando la viga Benkelman MTC E 1002; para ello se realizó la puesta del equipo de la viga Benkelman y el camión procediendo a tomando las lecturas correspondientes, el trabajo se ejecutó por el Ing. Responsable Victor Peña D. y los técnicos Yerson Zacarías Lima Z , Gustavo Vilcahuaman V , Jhosimar Munive P y Alesi Huamán Q.



**Figura 5: Preparación antes de medir la deflexión del pavimento**

El procedimiento seguido consiste en medir la deformación producida en la superficie del pavimento por la aplicación de una carga normalizada, haciendo uso del dispositivo mecánico denominado Viga Benkelman de brazo doble, equipo que mide los desplazamientos verticales de un punto de contacto situado entre las ruedas duales del eje de carga, para una presión de inflado en los neumáticos de 80 psi y una carga de 8.2 TN en el eje posterior del camión. La superficie de

pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido.

#### 4.1.1.4. Trabajos en gabinete de las lecturas tomadas

Los datos tomados se pasaron a las hojas de cálculo correspondientes, basándose en las normas del MTC E 1002.

**Tabla 2:**

#### **Lecturas en el dial (0.01mm) (corregidas)**

|                  | PROGRESIVA<br>(Km) | LECTURAS EN EL DIAL (0.01 mm) |         |         |         |          |          |          |
|------------------|--------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
|                  |                    | R0=0                          | R1=25cm | R1=50cm | R2=75cm | R3=100cm | R4=200cm | Rf 500cm |
| Sin Sardinell    | P01 0+100 Km       | 100                           | 90      | 85      | 0       | 75       | 70       | 70       |
| Base (20cm )     | P02 0+110 Km       | 100                           | 96      | 83      | 0       | 78       | 77       | 76       |
| Sub Base (40 cm) | P03 0+120 Km       | 100                           | 98      | 94      | 0       | 93       | 92       | 92       |

Fuente: Centauro Ingeniero SAC

#### 4.1.2. Equipos y materiales requeridos

- Viga Benkelman de doble brazo Pinzuar

Con sus correspondientes diales (al 0.01 mm y recorrido de 12 mm) y las siguientes dimensiones: Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de prueba es 2,44m, Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de apoyo del vástago del dial es 0,61m, Longitud del segundo brazo (brazo corto), desde el pivote al punto de prueba es 2,19m, Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago de su dial registrador = 0,5475m,

La única diferencia entre la viga Benkelman simple y de doble brazo, radica en el segundo adicional (brazo corto), cuyo punto de apoyo sobre el terreno se encuentra a 25 cm de distancia del primer brazo (brazo largo).



**Figura 6: Viga Benkelman doble brazo Punzar**

- Un camión para el ensayo,

Con características de que el eje trasero pesará en la balanza 8,2 toneladas, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas fueron de 10" x 20"; 12 lonas e infladas a 5,6 kg/cm<sup>2</sup> (80 libras por pulgada cuadrada). Las distancias entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual fueron de 32 cm.

El camión C2 presenta la placa de rodaje W5K – 878, además que el pesaje del camión se realizó el 29/03/2019, en la empresa Maderas Foresta E.I.R.L. el camión presenta un peso de 8.2 t en el eje posterior del camión, según reporte de balanza.



**Figura 7: Camión que se usó para el ensayo**

- Reloj convencional, con indicador de segundos.
- Termómetro convencional o sistema de termopares, con escala de 10°C a 50°C y precisión de 1 °C
- Manómetro, que disponga de una boquilla adecuada para medir la presión de inflado.
- Cinta métrica, de 25 m de longitud. Puede sustituirse con ventaja por un cuentametros y una cinta métrica de bolsillo de 2 ó 3 m longitud.
- Martillo y clavos de acero, o taladro, adecuados para practicar orificios en el pavimento hasta 5 cm de profundidad
- Cuña o calzo de parada, de chapa metálica o de madera.
- Tizas y pintura, para marcar el pavimento.
- Silbato y otro avisador acústico
- Aceite o material de similar inercia térmica y viscosidad

#### 4.1.3. Medición de deflexiones

El punto del pavimento a ser ensayado fue marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea se localizó el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se utilizó las distancias indicadas en la siguiente tabla.



**Figura 8: Momento exacto en el que se tomó las deflexiones**

Distancias desde el punto de ensayo

**Tabla 3:**

***Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento***

| <b>Ancho de carril</b> | <b>Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento</b> |
|------------------------|---|
| <b>2.70m</b>           | 0.45m   |
| <b>3.00m</b>           | 0.60m   |
| <b>3.30m</b>           | 0.75m   |
| <b>3.60m a más</b>     | 0.90m   |

La rueda dual externa del camión fue colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, se colocó en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal a 0.90m modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual.

Se colocó la viga sobre el pavimento, detrás del camión perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del primer brazo coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las llantas de la rueda dual.

De igual manera se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (los cuales fueron a 25, 50, 100, 200 y 500 cm) con fines de verificación, lo cual es recomendable.

Como norma se realiza marca adicional a una distancia de 25 cm para la deflexión que servirá para el cálculo del radio de curvatura

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

Se ajustaron a los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se giraron las circunferencias de los diales hasta que las agujas queden en cero y se verificó la lectura golpeándolos suavemente con un lápiz. Se gira la circunferencia si es necesario y se repita la operación hasta obtener la posición 0 (cero)

Se pusieron en marcha el cronometro se hizo avanzar suave y lentamente el camión; se lee los diales en 25, 50, 100, 200 y 500 cm. Cuando dos lecturas sucesivas de cada uno de ellos no difieran en más 0,01 mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose las últimas lecturas observadas (L0 Y L25).

Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practicó un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con el trazado de la línea), cuyas dimensiones serán: 4cm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente, emplazado sobre la línea paralela al eje del camión, que pasa por el punto de determinación de la deflexión y a 50 cm del mismo, en el sentido de avance del camión.

Se llenó con aceite no menos de 10 minutos antes de iniciar el ensayo, se insertó el termómetro y se tomó lectura de la temperatura, reiterando el mismo antes del desplazamiento del camión. El rango de temperatura de trabajo deberá quedar dentro de los siguientes límites:

- ✓ Límite inferior: 5°C
- ✓ Límite superior: 35°C

#### 4.1.4. Cálculos

Cuando las medidas se toman con viga doble el cálculo es directo, es decir se multiplican las lecturas por la relación de brazos de la viga Benkelman doble. Asimismo, la diferencia entre la viga simple y la doble, radica en que con la viga doble solamente se toman las lecturas en el eje de carga y a 25 cm del mismo.

$$D = LD \times RB$$

D: Deflexión, expresada en 0,01 mm

LD: Lectura del dial

RB: Relación de brazos de la viga Benkelman

**Nota 1:** El valor 4 usado para el cálculo de las deflexiones obedece a que la relación de longitudes de brazo indicadas es 4. En caso de que la viga utilizada tenga una relación diferente, se aplicara la relación de brazos que corresponda

El radio de curvatura en el punto de ensayos se calcula con la expresión independientemente de la viga utilizada:

$$RC= 3125/ (D_o - D_{25}) \text{ (Expresado en m)}$$

#### **4.1.5. Factores ambientales en la medición de deflexiones**

Las deflexiones deberán ser corregidos previamente por temperatura y por estacionalidad, debido a la acción climática donde se realizan las mediciones de deflexión siendo, está la más preponderante en cuanto a las variables ambientales que influyen en las propiedades físicas y mecánicas de los pavimentos, como son: condiciones climáticas, condiciones de drenaje y condiciones geológicas.

Los dos factores que mejor representan la acción climática sobre los pavimentos son la temperatura y las precipitaciones.

##### **4.1.5.1. Factor de corrección por temperatura**

Es de vital importancia tomar en cuenta la temperatura de la carpeta asfáltica al momento de realizar la prueba, ya que ésta tiene una influencia directa sobre las Deflexiones registradas.

Otros factores que influyen en la temperatura del pavimento son: la temperatura del aire, el grado de insolación, radiación, lluvia, viento y la profundidad a la que se registra la temperatura, cuanto mayor es la profundidad, mayor es el tiempo necesario para llegar a la temperatura real del pavimento, generalmente se considera a 5cm de la superficie. A mayores temperaturas la rigidez de las mezclas asfálticas disminuirá, por lo que el valor de la deflexión dependerá del espesor y rigidez de capas subyacentes. Las deflexiones en pavimentos flexibles de espesor de asfalto mayor a 5 centímetros se ven afectadas por la temperatura en la carpeta asfáltica. Esto erróneamente se puede atribuir a la disminución de la rigidez de las capas subyacentes, razón

por lo cual es necesario corregir las deflexiones de campo llevando los valores de las deflexiones a una temperatura standard de 20°C, mediante la siguiente ecuación

$$D_{20} = D_1 / (K_x (T^\circ - 20^\circ))$$

Dónde:

D<sub>20</sub> = Deflexión recuperable a la temperatura Standard 20°C

D<sub>t</sub> = Deflexión en centésimas de milímetro a la temperatura t

K = Coeficiente igual a 1x 10<sup>-3</sup>

T = Temperatura del asfalto medida para cada ensayo

e = Espesor de la carpeta asfáltica en cm

Para el presente estudio el espesor del pavimento es menor a 5 cmst por lo que no requiere corrección por la temperatura.

#### 4.2. Análisis descriptivo

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

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

Dónde:

Dadm= Deflexión admisible en mm (control para viga Benkelman)

N= Número de repeticiones de ejes equivalentes en millones

Las deflexiones características y admisibles, se comparan mediante un análisis combinado de los resultados de la evaluación, presentándose una serie de posibilidades que merecen ser analizadas para finalmente establecer la capacidad estructural del pavimento existente en relación al tráfico y cargas circulantes, definiendo si la situación del pavimento es adecuada y solo requiere de una renovación superficial; o se encuentra fatigada y requiere un refuerzo estructural; o, es una estructura deficiente y requiere una reconstrucción parcial o total.

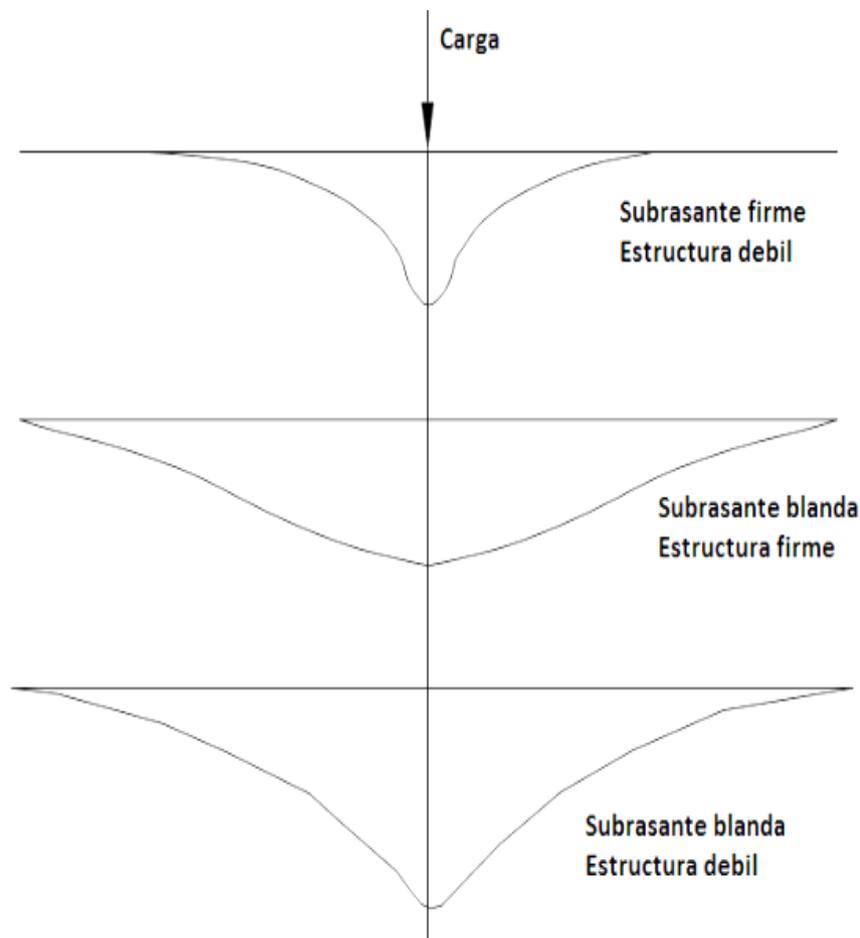
Como resultado de estos estudios y del análisis de la magnitud, severidad y frecuencia de las degradaciones superficiales, se determinan los sectores que requieren de trabajos de renovación superficial, refuerzo estructural o reconstrucción parcial o total.



Apreciándose que la deformación característica 1.28 mm de la vía en promedio sobrepasa la deformación admisible 1.03 mm, cuyo comportamiento cualitativo corresponde al tipo cuatro de curvas de deflexión Curva corta y profunda cuya interpretación cualitativa corresponda a un mal pavimento y una mala sub rasante, sin embargo, se puede apreciar que en el punto 3 se tiene una deformación muy inferior a la característica (0.32 mm) reduciéndose en 300%

La deflexión característica es superior a la deformación admisible sin embargo no presenta fallas estructurales por lo que requiere con un refuerzo estructural para resistir el tráfico previsto.

- La medición de las deflexiones, como respuesta de un pavimento flexible ante la aplicación de una carga sobre pavimento, es la base ante la evaluación estructural.
- Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento- sub rasante ( estructura del pavimento) bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y "no destructiva, es decir no se alteran el equilibrio ni la integridad del sistema.
- La metodología con la viga benkelman tiene mayor uso o relevancia en los trabajos a nivel de rehabilitación, mantenimiento y mejoramiento de pavimentos por su bajo costo de aplicación
- La deformación característica 1.28 mm de la vía en promedio sobrepasa la deformación admisible 1.03 mm, cuyo comportamiento cualitativo corresponde al tipo cuatro de curvas de deflexión Curva corta y profunda cuya interpretación cualitativa corresponde a un mal pavimento y una mala sub rasante, sin embargo se puede apreciar que en el punto 3 se tiene una deformación muy inferior a la características 0.32 mm reduciéndose en 300%
- La deflexión característica es superior a la deformación admisible sin embargo no presenta fallas estructurales por lo que requiere un refuerzo estructural para resistir el tráfico previsto.



**Figura 10: Evaluación cualitativa del cuenco de deflexiones**

Fuente: Centauro Ingeniero SAC

### 4.3. Análisis estadístico

En esta parte de la investigación se pretende mostrar la evidencia estadística que comprueba la hipótesis planteada. Esta se obtiene en base a un análisis de regresión, el cual es un análisis multivariado puesto que tenemos una variable que se ve afectada por dos variables, en primer lugar tenemos que la deflexión se ve afectada por la presencia o la ausencia de sardinel (la cual es del interés de la investigación), no obstante, también se ve afectada por la longitud de medida usada en cada uno de los casos usados, la cual puede modificar los resultados de la investigación, así que la tomamos en consideración para evitar problemas.

### 4.3.1. Hipótesis general

En este sentido se plantean las hipótesis, tanto nula y alterna para poder obtener su análogo en términos del valor del estadístico de prueba.

Ho: Se mantiene invariante la deflexión de la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de base, medida por la viga Benkelman.

Ha: Se reduce la deflexión de la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de base, medida por la viga Benkelman.

Ahora bien, dado que se realiza un análisis de regresión, este se basa en dos tipos de análisis, el análisis agregado o global y el análisis individual. Este se trabaja asumiendo que todas las variables que se han ingresado son significativas, su presentación se puede realizar en base a un análisis ANOVA o con el valor del estadístico R<sup>2</sup>, el cual mide cual es el valor de explicación de las variables sobre la variable dependiente (en una escala de 0 a 1). Mientras que, en el caso del análisis individual, es el estadístico t el que da la significancia a cada una de las variables independientemente de las otras. A continuación, nos adentramos en el análisis individual.

**Tabla 4:**

#### ***Variables entradas o eliminadas***

| Variables entradas/eliminadas <sup>a</sup> |   |                      |        |
|--|---|----------------------|--------|
| Modelo                                     | Variables entradas                        | Variables eliminadas | Método |
| 1  | Longitud de medida, Sardinel <sup>b</sup> |                      | Entrar |

a. Variable dependiente: Deflexión

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Fuente: Centauro Ingeniero SAC

Tal como se ha indicado, las dos variables usadas en la regresión son validadas como significativas o que aportan información a la variable dependiente (deflexión).

**Tabla 5:**

***Correlación entre sardinel, longitud de medida y la deflexión***

| Modelo             | Coeficientes no estandarizados |                | Coeficientes estandarizados | t      | Sig. |
|--------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|--------|------|
|                    | B                              | Error estándar | Beta                        |        |      |
| 1 (Constante)      | 94,837                         | 8,144          |                             | 11,645 | ,000 |
| Sardinel           | -19,917                        | 4,629          | -,462                       | -4,302 | ,001 |
| Longitud de medida | -16,124                        | 2,213          | -,783                       | -7,285 | ,000 |

a. Variable dependiente: Deflexión

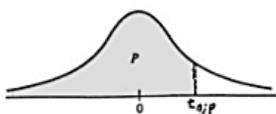
Fuente: Centauro Ingeniero SAC

Se presenta el análisis de regresión, el cual nos muestra que se muestran 3 variables, una constante, la variable sardinel y la longitud de medida. La primera es una forma de convención, es decir, un valor que siempre se dará a pesar que haya otras variables, por otro lado, puede explicarse como “todas las variables que no hemos identificado”.

Al respecto, las otras dos variables, se muestran los valores t – Student, -4,302 y -7,285 para el sardinel y la longitud de medida. Con el primer valor se procede a realizar la prueba de hipótesis del sardinel.

Dados el número de datos, el valor t – teórico es equivalente a 2.11. Esto se puede notar a través de la tabla t Student para 17 datos con un nivel de significancia de 0.975 (parte inferior de la figura).

Distribución t de Student



La tabla A.4 da distintos valores de la función de distribución en relación con el número de grados de libertad; concretamente, relaciona los valores  $p$  y  $t_{n,p}$  que satisfacen

$$P(t_n \leq t_{n,p}) = p.$$

| n  | $t_{0,55}$ | $t_{0,60}$ | $t_{0,70}$ | $t_{0,80}$ | $t_{0,90}$ | $t_{0,95}$ | $t_{0,975}$ | $t_{0,99}$ | $t_{0,995}$ |
|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 1  | 0,1584     | 0,3249     | 0,7265     | 1,3764     | 3,0777     | 6,3138     | 12,7062     | 31,8205    | 63,6567     |
| 2  | 0,1421     | 0,2887     | 0,6172     | 1,0607     | 1,8856     | 2,9200     | 4,3027      | 6,9646     | 9,9248      |
| 3  | 0,1366     | 0,2767     | 0,5844     | 0,9785     | 1,6377     | 2,3534     | 3,1824      | 4,5407     | 5,8409      |
| 4  | 0,1338     | 0,2707     | 0,5686     | 0,9410     | 1,5332     | 2,1318     | 2,7764      | 3,7469     | 4,6041      |
| 5  | 0,1322     | 0,2672     | 0,5594     | 0,9195     | 1,4759     | 2,0150     | 2,5706      | 3,3649     | 4,0321      |
| 6  | 0,1311     | 0,2648     | 0,5534     | 0,9057     | 1,4398     | 1,9432     | 2,4469      | 3,1427     | 3,7074      |
| 7  | 0,1303     | 0,2632     | 0,5491     | 0,8960     | 1,4149     | 1,8946     | 2,3646      | 2,9980     | 3,4995      |
| 8  | 0,1297     | 0,2619     | 0,5459     | 0,8889     | 1,3968     | 1,8595     | 2,3060      | 2,8965     | 3,3554      |
| 9  | 0,1293     | 0,2610     | 0,5435     | 0,8834     | 1,3830     | 1,8331     | 2,2622      | 2,8214     | 3,2498      |
| 10 | 0,1289     | 0,2602     | 0,5415     | 0,8791     | 1,3722     | 1,8125     | 2,2281      | 2,7638     | 3,1693      |
| 11 | 0,1286     | 0,2596     | 0,5399     | 0,8755     | 1,3634     | 1,7959     | 2,2010      | 2,7181     | 3,1058      |
| 12 | 0,1283     | 0,2590     | 0,5386     | 0,8726     | 1,3562     | 1,7823     | 2,1788      | 2,6810     | 3,0545      |
| 13 | 0,1281     | 0,2586     | 0,5375     | 0,8702     | 1,3502     | 1,7709     | 2,1604      | 2,6503     | 3,0123      |
| 14 | 0,1280     | 0,2582     | 0,5366     | 0,8681     | 1,3450     | 1,7613     | 2,1448      | 2,6245     | 2,9768      |
| 15 | 0,1278     | 0,2579     | 0,5357     | 0,8662     | 1,3406     | 1,7531     | 2,1314      | 2,6025     | 2,9467      |
| 16 | 0,1277     | 0,2576     | 0,5350     | 0,8647     | 1,3368     | 1,7459     | 2,1199      | 2,5835     | 2,9208      |
| 17 | 0,1276     | 0,2573     | 0,5344     | 0,8633     | 1,3334     | 1,7396     | 2,1098      | 2,5669     | 2,8982      |

Por ello, se puede denotar que comparar el nivel del estadístico teórico y el estadístico calculado, a fin de que sirva como un umbral para la contrastación de hipótesis. Si el valor teórico es mayor al calculado (en valor absoluto), entonces la hipótesis nula se acepta (aceptando que no hay relación entre las variables), mientras que si el valor calculado es mayor al teórico (en valor absoluto) se rechaza la hipótesis nula (aceptando la relación de las hipótesis).

Dado que  $4.302 > 2.11$ , entonces se asume que la hipótesis nula es rechazada, por ende, la hipótesis alterna, aquella que hemos planteado, es aceptada.

**Tabla 6:**

**Resumen del modelo**

**Resumen del modelo**

| Modelo | R                 | R cuadrado | R cuadrado ajustado | Error estándar de la estimación |
|--------|-------------------|------------|---------------------|---------------------------------|
| 1      | ,909 <sup>a</sup> | ,827       | ,804                | 16,03619                        |

a. Predictores: (Constante), Longitud de medida, Sardinel

Fuente: Centauro Ingeniero SAC

**Tabla 7:**

**Análisis ANOVA**

**ANOVA<sup>a</sup>**

| Modelo      | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F      | Sig.              |
|-------------|-------------------|----|------------------|--------|-------------------|
| 1 Regresión | 18408,888         | 2  | 9204,444         | 35,793 | ,000 <sup>b</sup> |
| Residuo     | 3857,390          | 15 | 257,159          |        |                   |
| Total       | 22266,278         | 17 |                  |        |                   |

a. Variable dependiente: Deflexión

b. Predictores: (Constante), Longitud de medida, Sardinel

Fuente: Centauro Ingeniero SAC

Por otra parte, en el análisis global, corroboramos que el nivel de ajuste, o el nivel de explicación de las variables usadas es superior al 90%, lo cual también se puede ver en el valor del estadístico F, el cual con un valor de 35,8 es superior a su valor teórico y como consecuencia de ello, la significancia de la prueba ANOVA es igual a cero, indicando que hay un cero por ciento de probabilidad de aceptar la hipótesis nula de que la variable sea explicada por otras variables no admitidas en el modelo.

#### **4.3.2. Hipótesis específica 2**

##### **Paso 1: Definir la Hipótesis estadística H0 y H1**

H1. "Existe una deflexión menor a 1.03 mm en la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de base, medida por la viga Benkelman. La cual no supera la deformación admisible. (H1:  $r \neq 0$ )

H0. "No Existe una deflexión menor a 1.03 mm en la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de base, medida por la viga Benkelman. La cual supera la deformación admisible." (H0:  $r = 0$ )

## Paso 2: Elegir un nivel de significancia y el estadístico de prueba

El nivel de significancia utilizado para esta hipótesis es de  $\alpha = 0.05$ . Para la correlación de variables se establece que se hizo uso de la correlación mediante el estadístico t Student.

## Paso 3: Cálculo del estadístico de prueba

Se tiene el resultado de la correlación en la siguiente tabla:

**Tabla 8:**

### ***T de Student de deflexión sardinel base y el mínimo admisible***

| Prueba de muestra única |        |    |                  |                      |  |          |
|-------------------------|--------|----|------------------|----------------------|--|----------|
| Valor de prueba = 103   |        |    |                  |                      |  |          |
|                         | t      | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% de intervalo de confianza de la diferencia |          |
|                         |        |    |                  |                      | Inferior                                       | Superior |
| s1                      | -4,056 | 5  | ,010             | -64,33333            | -105,1059                                      | -23,5608 |

Fuente: Centauro Ingeniero SAC

## Paso 4: Regla de decisión.

Las reglas de decisión se detallan en la parte de técnicas de procesamiento de datos, estas derivan en la obtención de un nivel de significancia al 5% como mínimo, esto implica que, al realizarse las pruebas estadísticas, los p – valores de las pruebas t Student no deben de superar el valor de 0.05 para poder aceptar la hipótesis alterna de relación entre las variables a estudiar, mientras que si se supera el valor a 0.05 se acepta la hipótesis nula. Adicional a ello se espera que los valores sean superiores al valor máximo que se establece como “correlación nula” el cual es equivalente a 2.04.

## Paso 5: Toma de decisión.

Se compara en un principio el nivel de coeficiente de correlación con respecto del coeficiente de correlación nulo, es decir, con  $t_{\text{nulo}} = 2.04$ , de

forma tal que  $t_c > t_{nulo}$ , para el presente caso se tiene:  $4.056 > 2.04$ , por lo que se detalla una relación no nula. Se compara el nivel de significancia de la prueba y la significancia teórica,  $p_c < p_t$  por lo tanto,  $0.01 < 0.05$  entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

### 4.3.3. Hipótesis específica 3

#### Paso 1: Definir la Hipótesis estadística H0 y H1

H1. "Existe una deflexión menor a 1.03 mm en la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de sub base, medida por la viga Benkelman. La cual no supera la deformación admisible." (H1:  $r \neq 0$ )

H0. "No Existe una deflexión menor a 1.03 mm en la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de sub base, medida por la viga Benkelman. La cual supera la deformación admisible.." (H0:  $r = 0$ )

#### Paso 2: Elegir un nivel de significancia y el estadístico de prueba

El nivel de significancia utilizado para esta hipótesis es de  $\alpha = 0.05$ . Para la correlación de variables se establece que se hizo uso de la correlación mediante el estadístico t Student.

#### Paso 3: Cálculo del estadístico de prueba

Se tiene el resultado de la correlación en la siguiente tabla:

**Tabla 9:**  
***T de Student de deflexión sardinel sub-base y el mínimo admisible***

| Prueba de muestra única |                       |    |                  |                      |  |          |
|-------------------------|-----------------------|----|------------------|----------------------|--|----------|
|                         | Valor de prueba = 103 |    |                  |                      |  |          |
|                         | t                     | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% de intervalo de confianza de la diferencia |          |
|                         |                       |    |                  |                      | Inferior                                       | Superior |
| s2                      | -17,701               | 5  | ,000             | -90,33333            | -103,4520                                      | -77,2147 |

Fuente: Centauro Ingeniero SAC

#### **Paso 4: Regla de decisión.**

Las reglas de decisión se detallan en la parte de técnicas de procesamiento de datos, estas derivan en la obtención de un nivel de significancia al 5% como mínimo, esto implica que, al realizarse las pruebas estadísticas, los p – valores de las pruebas t Student no deben de superar el valor de 0.05 para poder aceptar la hipótesis alterna de relación entre las variables a estudiar, mientras que si se supera el valor a 0.05 se acepta la hipótesis nula. Adicional a ello se espera que los valores sean superiores al valor máximo que se establece como “correlación nula” el cual es equivalente a 2.04.

#### **Paso 5: Toma de decisión.**

Se compara en un principio el nivel de coeficiente de correlación con respecto del coeficiente de correlación nulo, es decir, con  $t_{nulo} = 2.04$ , de forma tal que  $t_c > t_{nulo}$ , para el presente caso se tiene:  $17.7 > 2.04$ , por lo que se detalla una relación no nula Se compara el nivel de significancia de la prueba y la significancia teórica,  $p_c < p_t$  por lo tanto,  $0.004 < 0.05$  entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS:**

La presente investigación ha pretendido obtener determinar la condición de la pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción mediante los resultados de la deflexión en el ensayo de la Viga Benkelman al poner sardinel sumergido a la profundidad de base y sub base. De ello, se ha obtenido una respuesta afirmativa, es decir que el sardinel sumergido afecta de manera negativa a la formación de deflexiones. El nivel de deflexiones se reduce en 19 mm por cada 20 cm adicional de sardinel realizado, siendo estos resultados significativos de manera estadística.

Ahora bien, estos resultados son altamente prometedores, puesto que ello implicaría un incremento de la vida útil de las carreteras con un nivel mínimo casi nulo de los costos de un proyecto de inversión de carreteras.

A saber, de ello, la única referencia de estudio sobre este tipo fue de la División de Carreteras de California (Zube & Forsyth., 1966) para la evaluación de los pavimentos flexibles existentes y la recomendación de una reconstrucción adecuada para la atenuación de la desviación de varios materiales de la calzada, el respectivo análisis cuantitativo y los costos que acarrea semejante análisis. En base a lo expuesto no se tenían una serie de posibilidades de cálculo, que, gracias al avance de la tecnología, 60 años después permiten apreciar de una mejor manera, esto dado que la información fue recopilada y caracterizada, esta no

proporciona una forma de contraste con lo evidenciado en la presente investigación. Esto denota que el tema de investigación al respecto de las aplicaciones del sardinel fueron abandonados durante largo tiempo y no se le ha dado la importancia debida.

Gracias a la evidencia mostrada, se ha dado un primer hito sobre la investigación del sardinel, el cual tiene como énfasis la protección de la carretera con respecto de la deformación a causa de la filtración de agua. Lo cual no solamente tiene implicancia prácticas sin precedentes, proveyendo la posibilidad de investigar nuevos puntos, como el aumento de la vida útil, la mejora de las condiciones de concreto basado en la protección de los sardineles, aumento de aditivos para dar mayor protección, entre otras.

## CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como principal conjetura si es que el uso de un sardinel sumergido podría mejorar de alguna forma las deformaciones de las carreteras, esto a su vez bajo el supuesto que estas se forman por efecto de las precipitaciones que se drenan por debajo de la carretera. A partir de los resultados obtenidos se ha podido contrastar estas ideas, concluyéndose lo siguiente:

Al objetivo específico 1 se concluye que el experimento consistió en colocar sardinel sumergido a un lado de la carretera, porque el otro lado tenía cuneta, para lo cual se cumplió con las especificaciones teóricas para la instalación y cumplimiento de la calidad del concreto una a nivel de la base (20 cm de profundidad), y a nivel de la sub base (40 cm de profundidad), la parte donde no se realizó nada (testigo). Se esperó que pase toda la etapa de lluvias en la región (meses de enero –abril), para luego evaluar la deflexión que tuvo la rasante a nivel de la base y de la sub base.

El uso de un sardinel sumergido mejora las condiciones de la pavimentación en el tramo Ingenio – Casacancha, Concepción, el nivel de deflexiones se reduce en 0.19 mm por cada 20 cm adicional de sardinel realizado, siendo estos resultados significativos de manera estadística, por lo que se entiende que a medida que se usa un sardinel sumergido en una carretera, esta tiene una deflexión menor, y ello denota un aumento en las condiciones de la pavimentación.

En el caso del sardinel sumergido, se ha podido comprobar que tanto a base y sub base, los niveles de deflexión (en promedio) son menores al admisible (1.03 mm) teniéndose resultados tan buenos con respecto de los casos donde la base y sub-base se tiene una deformación muy inferior a las características 0.38 mm y 0.12 mm respectivamente, reduciéndose en 300% los daños causados proyectado.

Finalmente se concluye, que es mejor colocar para la protección de la pavimentación el sardinel sumergido a nivel de la sub base, puesto que se intuye que a mayor profundidad del sardinel existe, menor humedad demostrándose que es mejor obtener un nivel de deflexión 0.38 a un nivel de deflexión de 0.95 el cual fue encontrado a nivel de la base.

## RECOMENDACIONES

En términos generales las recomendaciones que se puede plasmar a partir del experimento realizado y de la evaluación del mismo son:

- La difusión de este informe de investigación, puesto que con el uso del sardinel sumergido y cumpliendo los estándares de mínimos permisibles durante la ejecución de carreteras se puede alcanzar una vida útil alta.
- También se recomienda a las entidades gubernamentales o constructoras que concesionan o licitan con el Estado, tomen en consideración esta investigación o reproduzcan el experimento en las pavimentaciones flexibles a ejecutar.
- Por último, se recomienda a futuros tesisistas, que investiguen y refuercen esta investigación, puesto que, pese a haberse comprobado que el sardinel sumergido consigue menores en las deflexiones de la carretera, podría haberse obviado alguna característica importante para obtener mejores resultados y ampliar la vida útil de las carreteras, así como abaratar los costos y probablemente reducir, el número de mantenimientos que este requiera dentro de un expediente técnico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azócar, Gr. G. (2007). Ingeniería de Construcción. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 2(21), 12–28.
- Cobeñas, P. A., Asesor, S., & Dextre, J. C. (2012). Sistemas De Contención Vehicular. *Pontificia Universidad Católica Del Perú Facultad De Ciencias E Ingeniería*.
- Curtis, E., Comiskey, C., & Dempsey, O. (2016). Importance and use of correlational research. *Nurse Researcher*, 23(6), 20–25. <https://doi.org/10.7748/nr.2016.e1382>
- DIVISION DE INGENIERIA. EU. (2015). diseño de la carretera, carril guía y accesorios. New York.
- Ghelani, R. P. S., Oliver, E. C. J., Holbrook, N. J., Wheeler, M. C., & Klotzbach. (2015). *Research Methodology. Fisheries Research* (Vol. 2). <https://doi.org/10.18551/rjoas.2016-11.19>
- Hernandez, S. R., Fernandez, C. C., & Baptista, L. M. del P. (2010). *Metodología de la investigación. Metodología de la investigación*. <https://doi.org/-> ISBN 978-92-75-32913-9
- Horak, E. (2008). Benchmarking the Structural Condition of Flexible Pavements With Deflection Bowl Parameters. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 50(2), 2–9.
- Kothari, C., Kumar, R., & Uusitalo, O. (2014). *Research Methodology. New Age International*. <https://doi.org/http://196.29.172.66:8080/jspui/bitstream/123456789/2574/1/Research%20Methodology.pdf>
- Leiva, F., Pérez, E., Aguiar, J., & Loría, L. (2017). Modelo de deformación permanente para la evaluación de la condición del pavimento. *Revista Ingeniería de Construcción*, 32(1), 37–46. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732017000100004>
- Loukaitou-Sideris, A., & Ehrenfeucht, R. (2009). *Sidewalks : conflict and negotiation over public space*. MIT Press.
- Mark, B., & Caputi Peter. (2001). Introduction to quantitative research. *SAGE Publication Ltd*, 272. <https://doi.org/9781848608641>
- MEF Dirección General de Presupuesto Público. (2018). *Reporte Seguimiento del Presupuesto al mes de Febrero 2018*.
- Montejo, F. A. (2006). *Ingeniería de pavimentos* (3 ed.). España: Universidad Católica de Colombia.

- National Research Council (U.S.). Transportation Research Board., M. S., Kassabian, N., National Academy of Sciences (U.S.), National Research Council (U.S.). Transportation Research Board. Committee on Pavement Condition Evaluation., & National Research Council (U.S.). Transportation Research Board. Committee on Strength and Deformation Characteristics of Pavement Sections. (1982). *Strength and deformation characteristics of pavements. Transportation Research Record*. National Academy of Sciences.
- Olszewski, P., Osińska, B., & Zielińska, A. (2016). Pedestrian Safety at Traffic Signals in Warsaw. *Transportation Research Procedia*, 14, 1174–1182. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2016.05.188>
- Rajasekar, S., Philominathan, P., & Chinnathambi, V. (2006). Research Methodology. *Methods*. <https://doi.org/10.1097/AAP.0b013e3182208cea>
- Rico Rodríguez, A., & Castillo, H. del. (1974). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres : carreteras, ferrocarriles y aeropistas*. Limusa.
- Suh, C., Ha, S., & Won, M. (2008). *Optimized Design of Concrete Curb Under Off Tracking Loads*. university of Texas ot Austin.
- Zealand, T. N. (1977). STANDARD TEST PROCEDURE FOR BENKELMAN BEAM DEFLECTION MEASUREMENTS, (49), 1–5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172652>
- Zube, E., & Forsyth., R. (1966). Flexible pavement maintenance requirements as determined by deflection measurement. *Highway Research Record*, 129, 60–79.

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de consistencia

**TITULO: “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS EFECTOS DEL SARDINEL SUMERGIDO MEDIANTE LAS DEFLEXIONES EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL MEDIDAS CON LA VIGA BENKELMAN EN LA PAVIMENTACION – TRAMO INGENIO - CASACANCHA – 2019”**

| PROBLEMA  | OBJETIVOS   | HIPÓTESIS  | VARIABLES   | METODOLOGÍA  | POBLACIÓN Y MUESTRA                           | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS   |
|---|---|--|---|--|---|---|
| <b>a) Problema general</b>  | <b>a) Objetivo general</b>  | <b>a) Hipótesis general</b>  | <b>Variable dependiente:</b>  | <b>Tipo: Básico</b>  | <b>Tipo de muestreo:</b>                      | <b>Técnicas</b>   |
| ¿Cuál es el comportamiento estructural de la pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha Concepción al poner sardinel sumergido medido mediante la viga Benkelman? | Determinar el comportamiento estructural de la pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha Concepción al poner sardinel sumergido medido mediante la viga Benkelman. | La condición de la pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción al poner sardinel sumergido amplía la duración de la pavimentación, a mayor profundidad respecto a la sub base, mejores resultados en el comportamiento estructural del pavimento. | Comportamiento estructural del pavimento:<br><br>Deflexión, medida por la viga de benkelman | Nivel:<br>Exploratorio -<br>Descriptivo -<br>Comparativo - | Muestreo: No probabilístico, por conveniencia | Técnica de observación estructurada participante y análisis registra (registro fotográfico) |
| <b>b) Problemas específicos</b>   | <b>b) Objetivos específicos</b>   | <b>b) Hipótesis específicos</b>  | <b>Variable independiente</b>   | <b>Diseño:</b>   | <b>Población</b>                              | <b>Instrumentos</b>   |

|   |  |   |   |                                      |   |  |
|---|--|---|---|--------------------------------------|---|--|
| <p>¿Cómo se ha diseñado el experimento del sardinel sumergido en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción?</p>   | <p>Describir el diseño propuesto del experimento del sardinel sumergido en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción.</p>  | <p>No tiene hipótesis por ser carácter descriptivo</p>  |   |                                      | <p>La población estará constituida por el tramo de la carretera que une Ingenio Casacancha, en la Provincia de Concepción, región Junín.</p>  | <p>Hojas de registro, Viga Benkelman y la cámara fotográfica</p> |
| <p>¿Cuál es la deflexión de la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de base, medida por la viga Benkelman?</p>     | <p>Hallar la deflexión de la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de base, medida por la viga Benkelman.</p>     | <p>Existe una deflexión menor a 1.03 mm en la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de base, medida por la viga Benkelman. La cual no supera la deformación admisible.</p>     | <p>Sardinel sumergido:<br/><br/>-Sin presencia del sardinel</p>                     | <p>Experimental, serie de tiempo</p> | <p>Muestra:<br/>La muestra estudio constará de tres porciones de la carretera, dando soporte a dos partes del pavimento con la construcción del sardinel sumergido tanto a nivel de la sub base y de la base.</p> |  |
| <p>¿Cuál es la deflexión de la pavimentación en el tramo Ingenio – Casacancha Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de sub base, medida por la viga Benkelman?</p> | <p>Hallar la deflexión de la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de sub base, medida por la viga Benkelman.</p> | <p>Existe una deflexión menor a 1.03 mm en la pavimentación en el tramo Ingenio - Casacancha, Concepción al poner un sardinel sumergido a la profundidad de sub base, medida por la viga Benkelman. La cual no supera la deformación admisible.</p> | <p>-Profundidad a nivel de la base<br/><br/>-Profundidad a nivel de la sub base</p> |                                      | <p>donde no se ha experimentado.</p>  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
| <p>¿Cuál es la profundidad óptima para colocar el sardinel sumergido en la base y sub base de la pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción?</p> | <p>Determinar la profundidad óptima para colocar el sardinel sumergido en la base o sub base mediante los resultados del ensayo de la Viga Benkelman pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción.</p> | <p>La profundidad óptima para colocar el sardinel sumergido a fin de mantener o conservar la pavimentación en el tramo Ingenio Casacancha en Concepción es a nivel de la sub base.</p> |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|

## Anexo 2: Registro fotográfico del experimento y la evaluación



ENTRADA AL AREA DE ESTUDIO INGENIO - CASACANCHA



TRAZO PARA LA EXCAVACIÓN



EXCAVACIÓN DEL SARDINEL



EXCAVACIÓN DEL SARDINEL TERMINADA



SARDINEL A NIVEL DE BASE (PROFUNDIDAD DE 20 cm)



SARDINEL A NIVEL DE SUB BASE (PROFUNDIDAD DE 40 cm)



LLEGADA DEL MATERIAL (CEMENTO) PARA LA  
CONSTRUCCIÓN DE LOS SARDINELES



LLEGADA EL MATERIAL (AGREGADO) PARA LA  
CONSTRUCCIÓN DE LOS SARDINELES



MEZCLA PARA PREPARAR EL CONCRETO



MEZCLA DE CONCRETO



COLOCACIÓN DE CONCRETO PARA SARDINEL



ACABADO DEL SARDINEL



CURADO DE SARDINEL



CARGUIO MATERIAL PARA EL VOLQUETE QUE TIENE QUE PESAR 8.2 TONELADAS



PESAJE DEL VOLQUETE, COMO SE MUESTRA SOLO SE PESA LAS LLANTAS TRASERAS DEL VOLQUETE Y EL PESO ES DE 8.2 TONELADAS



AQUÍ SE PUEDE APRECIAR QUE SOLO SE PESO LAS LLANTAS TRASERAS DEL VOLQUETE



COLOCACION DE CONOS DE SEGURIDAD PARA EMPEZAR A REALIZAR EL ENSAYO CON LA VIGA BENKELMAN



TEMPERATURA DEL ASFALTO



MARCACIÓN DE DISTANCIAS PARA LA MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN CON LA VIGA BENKELMAN EN EL AREA SIN SARDINEL



CALIBRACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN



AQUÍ YA ESTA ARMADO LA VIGA BENKELMAN PARA PROCEDER A TOMAR LAS MEDICIONES EN EL AREA SIN SARDINEL



TOMA DE MEDIDAS CON LA VIGA BENKELMAN EN EL AREA SIN SARDINEL A LAS DISTANCIAS DE 0 MTS, 0.25 MTS, 0.50 MTS, 1 MT, 2 MTS Y 5 MTS



MARCACIÓN DE DISTANCIAS PARA LA MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN CON LA VIGA BENKELMAN EN EL AREA CON SARDINEL A NIVEL DE BASE



MARCACIÓN DE DISTANCIAS PARA LA MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN CON LA VIGA BENKELMAN EN EL AREA CON SARDINEL A NIVEL DE BASE



AREA MARCADA PARA LA MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN A NIVEL DE BASE



TOMA DE MEDIDAS CON LA VIGA BENKELMAN EN EL AREA CON SARDINEL A NIVEL DE BASE



TOMANDO LOS DATOS DE LAS DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN



TOMANDO DATOS DE LA VIGA BENKELMAN EN EL AREA CON SARDINEL A NIVEL DE BASE



TOMANDO DATOS DE LA VIGA BENKELMAN EN EL AREA CON SARDINEL A NIVEL DE BASE



VIGA BENKELMAN EN EL AREA CON SARDINEL A NIVEL DE SUB BASE



TOMANDO LOS DATOS CON LA VIGA BENKELMAN EN EL AREA CON SARDINEL A NIVEL DE SUB BASE



FOTO GRUPAL CON EL EQUIPO DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CENTAURO – VIGA BENKELMAN

**Anexo 3: Informe técnico del Laboratorio Mecánico de Suelos Concreto y Pavimentos – Centauro Ingenieros**

EVALUACION DE LAS DEFLEXIONES  
ANALISIS EXPERIMENTAL DEL SARDINEL SUMERGIDO MEDIANTE DEFLEXIONES  
EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL CON LA VIGA BENKELMAN

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS,  
CONCRETO Y ASFALTO CENTAURO  
INGENIEROS SAC



**MEDICION DE DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN  
TESIS ANALISIS EXPERIMENTAL DEL SARDINEL SUMERGIDO MEDIANTE  
DEFLEXIONES EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL CON LA VIGA  
BENKELMAN EN LA CARRETERA INGENIO CASACANCHA  
PROVINCIA DE CONCEPCION  
DEPARTAMENTO DE JUNIN**

**EVALUACION DE LA MEDICION DE DEFLEXIONES EN EL  
PAVIMENTO**



*HUANCAYO, 03 DE ABRIL DE 2019*

**INFORME FINAL**

## INDICE

|   |    |
|---|----|
| 1. Generalidades .....                                      | 3  |
| 1.1 Ubicación y descripción del área de trabajo .....       | 3  |
| 1.2 Alcances del trabajo .....                              | 5  |
| 1.3 Breve descripción de la vía .....                       | 5  |
| 1.4 Trabajos de campo .....                                 | 5  |
| 1.6 Trabajos en gabinete de las lecturas tomadas .....      | 6  |
| 2. Finalidad y alcance .....                                | 6  |
| 3. Equipos y materiales requeridos .....                    | 7  |
| 4. Medición de deflexiones .....                            | 11 |
| 5. Cálculos .....   | 15 |
| 6. Factores ambientales en la medición de deflexiones ..... | 15 |
| 6.1 Factor de corrección por temperatura .....              | 16 |
| 7. conclusiones y recomendaciones .....                     | 22 |

## 1. GENERALIDADES

La presente tiene por objeto dar a conocer las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares para la Tesis ANALISIS EXPERIMENTAL DEL SARDINEL SUMERGIDO MEDIANTE DEFLEXIONES EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL CON LA VIGA BENKELMAN de la Carretera Ingenio Casacancha, Provincia de Concepción Departamento de Junín.

Estos trabajos fueron realizados por la Empresa Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

### 1.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

El área donde se realizaron los ensayos de deflexión con la viga Benkelman corresponde a la carretera Ingenio Casacancha iniciándose en la progresiva 0+100 Km, que está ubicado políticamente en el Distrito de Ingenio y Provincia de Concepción del Departamento de Junín, geográficamente se encuentra entre las coordenadas UTM: Punto de Inicio del Tramo P1 (470437 m E 8685498 m S .



INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA  
Ing. Victor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP-70463



INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
ÁREA DE CALIDAD  
Mg. Ing. Janet Yesica Andia Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP 59775

## PU-1: PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO

### ANALISIS EXPERIMENTAL DEL SARDINEL SUMERGIDO MEDIANTE DEFLEXIONES EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL CON LA VIGA BENKELMAN

Escribe una descripción para tu mapa.



## PU-2: PLANO DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS



IMPORTE FINAL

DIRECCION GENERAL DE CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TECNICA

Ing. Victor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP 70489

DIRECCION GENERAL DE CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
AREA DE CALIDAD  
Ing. Janet Yessica Andia Arias  
INGENIERA CIVIL  
CIP 69775

## 1.2 ALCANCES DEL TRABAJO

El objetivo primordial del presente estudio es la de obtener información necesaria para la evaluación del deterioro del pavimento, mediante el ensayo no destructivo, con el aparato denominado Viga Benkelman, y los resultados del mismo realizado al pavimento flexible.

## 1.3 BREVE DESCRIPCION DE LA VIA

La Carretera Ingenio Casacancaha es una vía asfaltada de ambos sentidos (Km. 0 + 100 al Km. 0+120) donde se realizó el trabajo tiene las siguientes características:

- Ancho de vía de 7.20 m.
- 2 carriles.
- 2 sentidos.
- Superficie asfaltada.

## 1.4 TRABAJOS DE CAMPO

Se realizaron los trabajos el día 29 del marzo de 2019 iniciándose a las 10:30 a.m. ya en campo se ubicaron los tres puntos progresiva P1 ubicado en la progresiva 0+100 Km, P2 ubicado en la progresiva 0+110 Km y P3 ubicado en la progresiva 0+120 Km según la disposición del sardinel sumergido, en la progresiva 0+100 no existe sardinel, en la progresiva 0+110 el sardinel se encuentra sumergido hasta el nivel de la base y en la progresiva 0+120 Km el sardinel se encuentra sumergido hasta la subrasante, iniciándose los ensayos según dispone el manual de ensayos en su sección N° 10 Medida de la deflexión de un pavimento flexible empleando la viga Benkelman MTC E 1002; para ello se realizo la puesta del equipo de la viga benkelman y el camión procediendo a tomando las lecturas correspondientes, el trabajo se ejecutó por el Ing. Responsable

INFORME FINAL

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA  
  
Ing. Victor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP- 70489

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
ÁREA DE CALIDAD  
  
Mg. Ing. Janet Yessica Andía Arias  
INGENIERA CIVIL  
CIP 69774



Víctor Peña D. y los técnicos Yerzon Zacarias Lima Z., Gustavo Vilcahuaman V., Jhosimar Munive P y Alesi Huaman Q.

## 1.6 TRABAJOS EN GABINETE DE LAS LECTURAS TOMADAS.

Los datos tomados se pasaron a las hojas de cálculo correspondientes, basándose en las normas del MTC E 1002.

| PROGRESIVA<br>(KM) | LECTURAS EN EL DIAL (0.01 mm) |         |         |         |          |          |          |
|--------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
|                    | R0=0                          | R1=25cm | R1=50cm | R2=75cm | R3=100cm | R4=250cm | Rf>500cm |
| P01 0+100 KM       | 100                           | 90      | 85      | 0       | 75       | 70       | 70       |
| P02 0+110 KM       | 100                           | 96      | 83      | 0       | 78       | 77       | 76       |
| P03 0+120 KM       | 100                           | 98      | 94      | 0       | 93       | 92       | 92       |

## 2. FINALIDAD Y ALCANCE

- La deflexión, es la deformación elástica que sufre un pavimento bajo la acción de una carga rodante normalizada. Mediante ella es posible evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las sollicitaciones del tránsito que lo utiliza.
- El campo de aplicación de estas mediciones es muy amplio, empleándose principalmente para determinar la vida útil remanente de un pavimento, evaluar estructuralmente los pavimentos con fines de mantenimiento, mejoramiento o rehabilitación, evaluar los métodos de diseño de pavimentos y control de ejecución de obras, evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las sollicitaciones del tránsito que lo utiliza, y establecer si éste presenta suficiencia sin presentar fatiga estructural creciente.

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA  
Ing. Víctor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 70428

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
AREA DE CALIDAD  
Mg. Ing. Janet Yessica Andia Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP. 69775

INFORME FINAL

- El método consiste en medir la deformación producida en la superficie del pavimento por la aplicación de una carga normalizada.
- El dispositivo mecánico utilizado es la Viga Benkelman de brazo doble, equipo que mide los desplazamientos verticales de un punto de contacto situado entre las ruedas duales del eje de carga, para una presión de inflado en los neumáticos de 80 psi y una carga de 8.2 t en el eje posterior del camión.
- La superficie de pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido.

### 3. EQUIPOS Y MATERIALES REQUERIDOS

#### A. Viga Benkelman de doble brazo Pinzuar, con sus correspondientes diales (al 0,01 mm y recorrido de 12 mm) y las siguientes dimensiones:

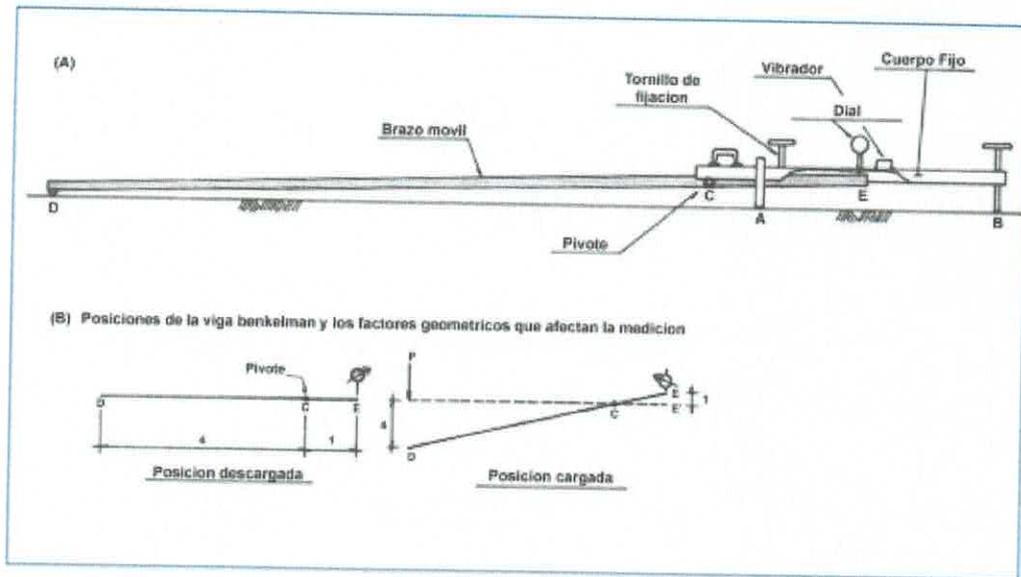
- ✓ Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de prueba es 2,44 m.
- ✓ Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de apoyo del vástago del dial es 0,61m.
- ✓ Longitud del segundo brazo (brazo corto), desde el pivote al punto de prueba es 2,19 m.
- ✓ Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago de su dial registrador = 0,5475 m

La única diferencia entre la viga Benkelman simple y de doble brazo, radica en el segundo brazo adicional (brazo corto), cuyo punto de apoyo sobre el terreno se encuentra a 25 cm de distancia del primer brazo (brazo largo).

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA  
Ing. Víctor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 70489

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
ÁREA DE CALIDAD  
Mg. Ing. Janet Yessica Andía Arias  
INGENIERA CIVIL  
CIP 69775

INFORME FINAL



B. Un camión para el ensayo, con las siguientes características, el eje trasero pesará en la balanza 8,2 toneladas, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas.

INFORME FINAL

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TECNICA  
Ing. Victor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP 70433

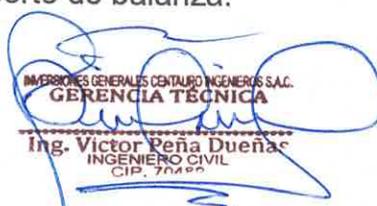
INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
ÁREA DE CALIDAD  
Mg. Ing. Janet Yesenia Andia Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP 89775

Las llantas deberán ser 10" x 20"; 12 lonas e infladas a 5,6 kg/cm<sup>2</sup> (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual deber ser de 32 cm.

El camion C2 presenta la placa de rodaje W5K – 878



El pesaje del camión se realizó el 29/03/2019, en la empresa Maderas Foresta E.I.R.L. el camión presenta un peso de 8.2 t en el eje posterior del camión, según reporte de balanza.

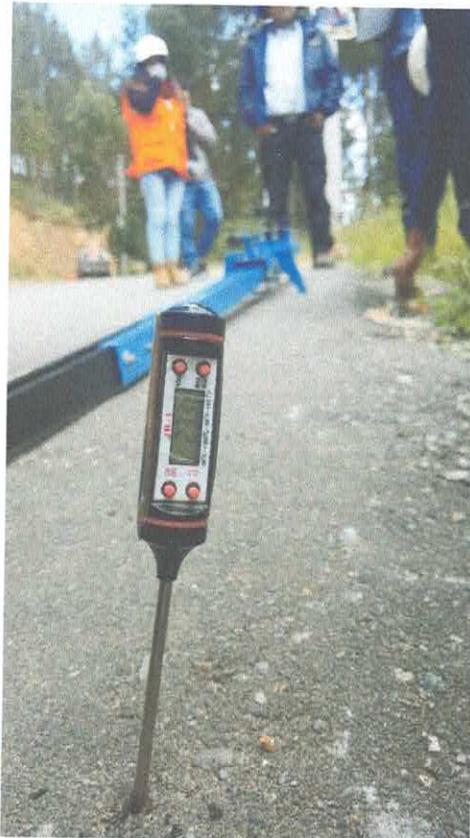
INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA  
  
Ing. Victor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 70400

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
AREA DE CALIDAD  
  
Mg. Ing. Janet Yessica Andia Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP 69775

|   |   |   |              |         |            |         |     |
|---|---|---|--------------|---------|------------|---------|-----|
|  | <b>MADERAS<br/>FORESTA<br/>E.I.R.L.</b> | Jr. Unión 286 - Bellavista - San Agustín de Cajas<br>R.U.C. N° 20486114861 Telf. 064-421111 - 964660694 | N° 0001 4569 |         |            |         |     |
| Placa   | : W5K-878                               | Carreta   | : 000-000    |         |            |         |     |
| Conductor   | : NINGUNO                               |   |              |         |            |         |     |
| Transportista   | : NINGUNO                               |   |              |         |            |         |     |
| Razón Social  | : NINGUNO                               |   |              |         |            |         |     |
| Producto  | : NINGUNO                               |   |              |         |            |         |     |
| Documento   | : NINGUNO                               |   |              |         |            |         |     |
| Observaciones   | : 15.00 SOLES                           |   |              |         |            |         |     |
| Fecha Inicial   | : 29 03 2019                            | 09:36 AM  | Peso Inicial | : 8,200 | Peso Bruto | : 0     | Kg. |
| Fecha Final   | : 29 03 2019                            | 09:37 AM  | Peso Final   | : 0     | Peso Tara  | : 8,200 | Kg. |
|   |   |   |              |         | Peso Neto  | : 0     | Kg. |

C. Reloj convencional, con indicador de segundos.

D. Termómetro convencional o sistema de termopares, con escala de -  
10 °C a 50 °C y precisión de 1 °C.



E. Manómetro, que disponga de una boquilla adecuada para medir la

INFORME FINAL

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS SAC  
GERENCIA TÉCNICA

Ing. Victor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS SAC  
ÁREA DE CALIDAD

Mg. Ing. Janet Yessica Andia Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP 69775

presión de inflado.

- F. **Cinta métrica**, de 25 m de longitud. Puede sustituirse con ventaja por un cuentametros y una cinta métrica de bolsillo de 2 ó 3 m de longitud.
- G. **Martillo y clavos de acero**, o taladro, adecuados para practicar orificios en el pavimento hasta 5 cm de profundidad.
- H. **Cuña o calzo de parada**, de chapa metálica o de madera.
- I. **Tizas y pintura**, para marcar el pavimento.
- J. **Silbato** y otro avisador acústico.
- K. **Aceite** o material de similar inercia térmica y viscosidad.

#### 4. MEDICION DE DEFLEXIONES

- El punto del pavimento a ser ensayado fue marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea se localizó el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se utilizó las distancias indicadas en la en la siguiente tabla.

| Ancho del carril | Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento |
|------------------|--|
| 2,70 m           | 0,45 m   |
| 3,00 m           | 0,60 m   |
| 3,30 m           | 0,75 m   |
| 3,60 m o más     | 0.90 m   |

- La rueda dual externa del camión fue colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, se colocó en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga.

Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal a 0.90m modo que simultáneamente

INFORME FINAL

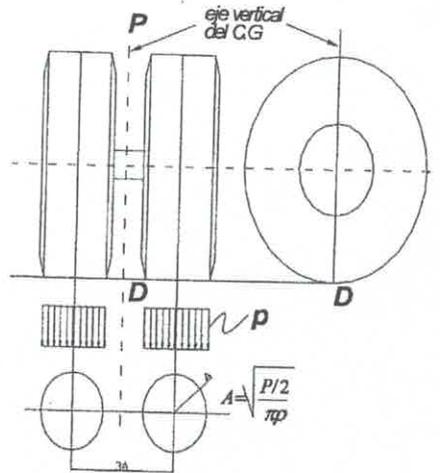
INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA

Ing. Victor Paña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP 70186

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
ÁREA DE CALIDAD

Mg. Ing. Janet Yessica Andía Arias  
INGENIERA CIVIL  
CIP 89775

el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual.



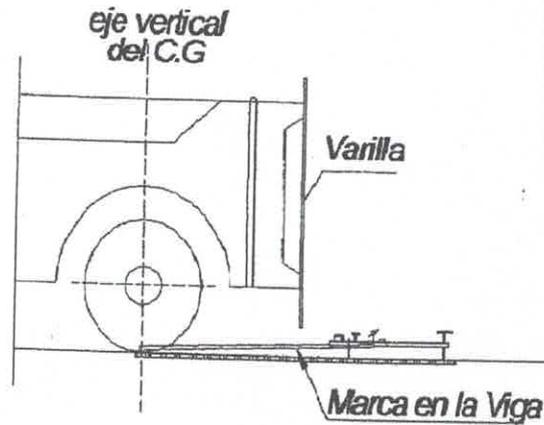
- Se colocó la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del primer brazo coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las llantas de la rueda dual.

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA

Ing. Victor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 70456

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
ÁREA DE CALIDAD

Mg. Ing. Janet Yessica Andía Arias  
INGENIERA CIVIL  
CIP. 89775



De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (los cuales fueron a 25, 50, 100, 200 y 500 cm) con fines de verificación, lo cual es recomendable.

Como norma se realiza marca adicional a una distancia de 25 cm. para la deflexión que servirá para el cálculo del radio de curvatura.



INFORME FINAL

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA  
*[Signature]*  
Ing. Víctor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
AREA DE CALIDAD  
*[Signature]*  
Mg. Ing. Janet Yessica Andía Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP 69775

- Se liberó los seguros de los brazos y se ajustó la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los dos brazos de medición queden en contacto con los diales.
- Se ajustaron a los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se giraron las circunferencias de los diales hasta que las agujas queden en cero y se verificó la lectura golpeándolos suavemente con un lápiz. Se gira la circunferencia si es necesario y se repite la operación hasta obtener la posición 0 (cero).
- Se pusieron en marcha el cronómetro se hizo avanzar suave y lentamente el camión; se leen los diales en 25, 50, 100, 200 y 500 cm Cuando dos lecturas sucesivas de cada uno de ellos no difieran en más de 0,01 mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose las últimas lecturas observadas (L0 y L25).
- Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practicó un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con el trazado de la línea), cuyas dimensiones serán: 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente, emplazado sobre la línea paralela al eje del camino, que pasa por el punto de determinación de la deflexión y a 50 cm del mismo, en el sentido de avance del camión.  
Se llenó con aceite no menos de 10 minutos antes de iniciar el ensayo, se insertó el termómetro y se leió la temperatura, retirando el mismo antes del desplazamiento del camión.
- El rango de temperatura de trabajo deberá quedar dentro de los siguientes límites:

INFORME FINAL



INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA  
Ing. Victor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
ÁREA DE CALIDAD  
Mg. Ing. Janet Yessica Andía Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP 59773

Límite inferior : 5 °C

Límite superior : 35 °C

## 5. CALCULOS

Cuando las medidas se toman con viga doble el cálculo es directo, es decir se multiplican las lecturas por la relación de brazos de la viga Benkelman doble. Asimismo, la diferencia entre la viga simple y la doble, radica en que con la viga doble solamente se toman las lecturas en el eje de carga y a 25 cm del mismo.

$$D = LD \times RB$$

D : Deflexión, expresada en 0.01 mm.

LD : Lectura del dial.

RB : Relación de brazos de la viga Benkelman (1:4)

**Nota 1:** El valor 4 usado para el cálculo de las deflexiones obedece a que la relación de longitudes de brazo indicadas es 4. En caso de que la viga utilizada tenga una relación diferente, se aplicará la relación de brazos que corresponda.

El radio de curvatura en el punto de ensayo se calcula con la expresión independientemente de la viga utilizada:

$$RC = \frac{3125}{(D_0 - D_{25})} \text{ (Expresado en m)}$$

## 6. FACTORES AMBIENTALES EN LA MEDICION DE DEFLEXIONES

Las deflexiones deberán ser corregidos previamente por temperatura y por estacionalidad, debido a la acción climática donde se realizan las mediciones de deflexión, siendo, está la más preponderante en cuanto a las variables ambientales que influyen en las propiedades físicas y

INFORME FINAL

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA

Ing. Víctor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 77844

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
ÁREA DE CALIDAD  
Mg. Ing. Janet Yéssica Andía Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP. 59775

mecánicas de los pavimentos, como son: condiciones climáticas, condiciones de drenaje y condiciones geológicas.

Los dos factores que mejor representan la acción climática sobre los pavimentos son la temperatura y las precipitaciones.

## 6.1 FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA

Es de vital importancia tomar en cuenta la temperatura de la carpeta asfáltica al momento de realizar la prueba, ya que ésta tiene una influencia directa sobre las Deflexiones registradas.

Otros factores que influyen en la temperatura del pavimento son : la temperatura del aire, el grado de insolación, radiación, lluvia, viento y la profundidad a la que se registra la temperatura, cuanto mayor es la profundidad, mayor es el tiempo necesario para llegar a la temperatura real del pavimento, generalmente se considera a 5 cm de la superficie. A mayores temperaturas la rigidez de las mezclas asfálticas disminuirá, por lo que el valor de la deflexión dependerá del espesor y rigidez de capas subyacentes, Las deflexiones en pavimentos flexibles de espesor de asfalto mayor a 5 centímetros se ven afectadas por la temperatura, su magnitud aumenta al incrementarse la temperatura en la carpeta asfáltica. Esto erróneamente se puede atribuir a la disminución de la rigidez de las capas subyacentes, razón por lo cual es necesario corregir las deflexiones de campo llevando los valores de las deflexiones a una temperatura standard de 20 °C, mediante la siguiente ecuación:

$$D_{20} = \frac{D_t}{(K \times (T^{\circ} - 20^{\circ}) \times e + 1)}$$

Donde:

D20 = Deflexión recuperable a la temperatura Standard 20°C.

INFORME FINAL

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA

Ing. Victor Reña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP 20426

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
ÁREA DE CALIDAD

Mg. Ing. Janet Yesenia Andia Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP 89773

$D_t$  = Deflexión en centésimas de milímetro a la temperatura  $t$ .

$K$  = Coeficiente igual a  $1 \times 10^{-3}$  (  $1/\text{cm} \times ^\circ\text{C}$ ).

$T$  = Temperatura del asfalto medida para cada ensayo.

$e$  = Espesor de la carpeta asfáltica en cm.

Para el presente estudio el espesor del pavimento es menor a 5 cmst por lo que no requiere corrección por temperatura

## 7. EVALUACION ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA

La evaluación superficial se complementa con la evaluación estructural mediante la medición de deflexiones con equipos. Asimismo, en muchos casos es necesario recurrir también a la realización de calicatas, sondeos, toma de muestras y ensayos de laboratorio para verificar las hipótesis deducidas de la evaluación superficial.

La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de una calzada, a consecuencia de la acción de una determinada carga o sollicitación.

La deflexión es una medida de la respuesta del conjunto "pavimento – subrasante" frente a una determinada sollicitación, indicando la adecuabilidad del pavimento desde el punto de vista estructural.

La medición de deflexiones se efectuará según lo especificado en el Manual de Ensayos de Materiales del MTC E 1002.



INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA  
Ing. Victor Paña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 70489



INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
ÁREA DE CALIDAD  
Mg. Ing. Janet Yesica Andia Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP 69775

## 8.- 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                          | $Dc = Dm + 1.645xds$        | 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 | $Dc = Dm + 1.645xds$        | 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.                          | $Dc = Dm + 1.645xds$        | 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.                           | $Dc = Dm + 1.282xds$        | 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.                            | $Dc = Dm + 1.282xds$        | Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90% |
| Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.                                    | $Dc = Dm + 1.036xds$        | Deflexión característica, para una Confiabilidad de 85% |

Nota: Dc = Deflexión característica, Dm = Deflexión media, ds = desviación estándar

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

$$Dadm = (1.15/N)^{0.25}$$

Donde:

Dadm = Deflexión admisible en mm ( a comparar con deflexiones viga Benkelman)

N = Número de repeticiones de ejes equivalentes en millones.

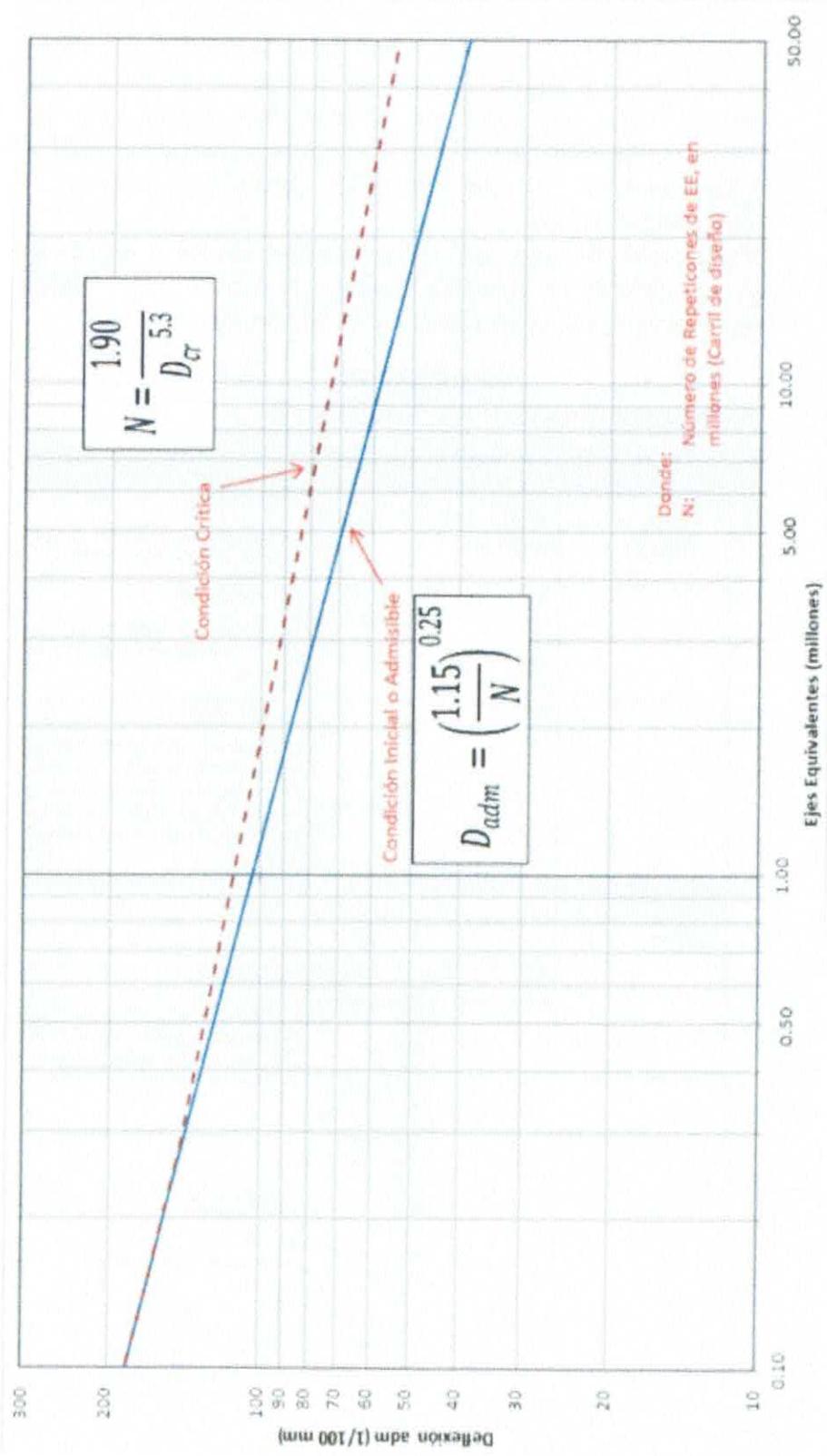
INFORME FINAL

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA  
  
Ing. Victor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 70489

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
ÁREA DE CALIDAD  
  
Mg. Ing. Janet Yessica Andía Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP: 89775



Gráfico de deflexiones admisibles



PERSONAS FISICALES CENTAURO INGENIEROS SAC  
GERENCIA TECNICA  
Ing. Victor Peña Duenas  
INGENIERO CIVIL  
CIP 59775

PERSONAS FISICALES CENTAURO INGENIEROS SAC  
AREA DE CALIDAD  
Mg. Ing. Janet Yessica Andía Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP 59775

Las deflexiones características y admisibles, se comparan mediante un análisis combinado de los resultados de la evaluación, presentándose una serie de posibilidades que merecen ser analizadas para finalmente establecer la capacidad estructural del pavimento existente en relación al tráfico y cargas circulantes, definiendo si la estructura del pavimento es adecuada y solo requiere de una renovación superficial; o, se encuentra fatigada y requiere un refuerzo estructural; o, es una estructura deficiente y requiere una reconstrucción parcial o total.

Para la diferenciación de casos que podrían presentarse en el análisis de la evaluación se presenta el siguiente cuadro, el mismo que compara la deflexión característica con la admisible, en función del tráfico futuro.

| $I_0$ | $L_0$ |   | <u>CURVA MEDIDA</u>            | <u>PAVIMENTO EVALUADO</u>          |
|-------|-------|---|--------------------------------|------------------------------------|
| Bajo  | Alto  | <p>TIPO I</p>    | Curva Extensa<br>Poco Profunda | Buen Pavimento<br>Buena Subrasante |
| Alto  | Alto  | <p>TIPO II</p>   | Curva Extensa<br>Profunda      | Buen Pavimento<br>Mala Subrasante  |
| Bajo  | Bajo  | <p>TIPO III</p>  | Curva Corta<br>Poco Profunda   | Mal Pavimento<br>Buena Subrasante  |
| Alto  | Bajo  | <p>TIPO IV</p>   | Curva Corta<br>Profunda        | Mal Pavimento<br>Mala Subrasante   |

Figura 2.9. Significado cualitativo de los diferentes tipos de Curvas de Deflexiones

Como resultado de estos estudios y del análisis de la magnitud, severidad y frecuencia de las degradaciones superficiales, se determinan los sectores que requieren de trabajos de renovación superficial, refuerzo estructural o reconstrucción parcial o total.

## 8. ANALISIS Y EVALUACION ESTRUCTURAL:

De la evaluación campo de los 3 puntos analizados del proyecto se obtuvieron los siguientes resultados:

| TESIS ANALISIS EXPERIMENTAL DEL SARDINEL SUMERGIDO MEDIANTE DEFLEXIONES EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL CON LA VIGA BENKELMAN |  |      |         |         |          |          |                       |    |     |     |      |      |  |              |          |                    |       |            |
|--|--|------|---------|---------|----------|----------|-----------------------|----|-----|-----|------|------|--|--------------|----------|--------------------|-------|------------|
| MEDICION DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN   |  |      |         |         |          |          |                       |    |     |     |      |      |  |              |          |                    |       |            |
| PUNTO  | P1   |      |         |         |          |          | CAMION                |    |     |     |      |      | WSK - 878                                    |              |          |                    |       |            |
| FECHA  | MARZO 2019                                 |      |         |         |          |          | LLANTAS               |    |     |     |      |      | 12" x 20" ( 12 LONAS)                        |              |          |                    |       |            |
| CARRIL   | DERECHO                                    |      |         |         |          |          | CARGA EJE             |    |     |     |      |      | 8.2 Tn (Con carga en el Eje Posterior)       |              |          |                    |       |            |
| SUPERFICIE   | CARPETA ASFALTICA                          |      |         |         |          |          | PRESION               |    |     |     |      |      | 80 PSI (Presión de Inflado y en Buen Estado) |              |          |                    |       |            |
| EQUIPO   | VIGA BENKELMAN PINZUAR                     |      |         |         |          |          | R. BRAZOS             |    |     |     |      |      | 1 a 4  |              |          |                    |       |            |
| ING*   | VPD  |      |         |         |          |          | TECNICO               |    |     |     |      |      | Y.Z.L.Z.                                     |              |          |                    |       |            |
| PROGRESIVA   | LECTURAS EN EL DIAL (0.01 mm) (CORREGIDAS) |      |         |         |          |          | DEFLEXIONES (0.01 mm) |    |     |     |      |      | HORA   | TEMPERATURAS |          | Radio de Curvatura | CBR % | Fecha      |
|  | (KM)                                       | R0=0 | R1=28cm | R1=68cm | R3=100cm | R4=200cm | R0=90cm               | D0 | D05 | D00 | D100 | D200 |  | D500         | AMBIENTE |                    |       |            |
| 701 0+100 KM   | 100  | 90   | 85      | 75      | 70       | 70       | 118                   | 79 | 59  | 39  | 20   | 0    | 10:30  | 24.5         | 23.3     | 53.0               | 7.4   | 29/03/2019 |
| 702 0+110 KM   | 100  | 96   | 83      | 78      | 77       | 76       | 95                    | 79 | 28  | 20  | 8    | 2    | 11:45  | 25.0         | 23.0     | 46.8               | 13.5  | 29/03/2019 |
| 703 0+120 KM   | 100  | 98   | 94      | 83      | 82       | 82       | 32                    | 24 | 8   | 8   | 4    | 0    | 12:35  | 25.8         | 19.1     | 130.2              | 41.1  | 29/03/2019 |

El analisis estadistico del ensayo de deflectometria con viga benkelman doble brazo, se muestra a continuacion:

| ANALISIS ESTADISTICO |       |       |      |      |      |     |      |      |      |   |
|----------------------|-------|-------|------|------|------|-----|------|------|------|---|
|                      | n     | 3     | 3    | 3    | 3    | 3   | 3    | 3    | 3    | 3 |
| $\bar{x}_p$          | 81.7  | 60.7  | 31.7 | 22.3 | 10.7 | 0.7 |      |      |      |   |
| MIN                  | 32    | 24    | 8    | 8    | 4    | -   | 25.1 | 21.8 | 76.6 |   |
| MAX                  | 118   | 79    | 59   | 39   | 20   | 2   | 25   | 19   | 47   |   |
| DES. ESTANDAR        | 45    | 32    | 26   | 16   | 8    | 1   | 26   | 23   | 130  |   |
| VARIANZA             | 1,982 | 1,008 | 660  | 244  | 69   | 1   | 1    | 2    | 47   |   |
| COEF. DE VARIACION   | 55    | 52    | 81   | 70   | 78   | 173 | 3    | 11   | 61   |   |

Apreciandose que la deformación característica 1.28 mm de la vía en promedio sobrepasa la deformación admisible 1.03 mm, cuyo comportamiento cualitativo corresponde al tipo cuatro de curvas de deflexion Curva corta y profunda cuya interpretación cualitativa corresponde a un mal pavimento y una mala sub rasante, sin embargo se puede apreciar que en el punto 3 se tiene una deformacion muy inferior a la característica 0.32 mm reduciendose en 300%

La deflexión característica es superior a la deformacion admisible sin embargo no presenta fallas estructurales por lo que requiere con un refuerzo estructural para resistir el trafico previsto.

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
**GERENCIA TECNICA**  
Ing. Victor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 70480

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
**AREA DE CALIDAD**  
Mg. Ing. Janet Yesica Andia Arias  
INGENIERA CIVIL  
CIP 69775

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ La medición de las deflexiones, como respuesta de un pavimento flexible ante la aplicación de una carga sobre el pavimento, es la base para la evaluación estructural.
- ❖ Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante (estructura del pavimento) bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y "no destructiva", es decir no se alteran el equilibrio ni la integridad del sistema.
- ❖ La metodología con la viga benkelman tiene mayor uso o relevancia en los trabajos a nivel de rehabilitación, mantenimiento y mejoramiento de pavimentos por su bajo costo de aplicación.
- ❖ La deformación característica 1.28 mm de la vía en promedio sobrepasa la deformación admisible 1.03 mm, cuyo comportamiento cualitativo corresponde al tipo cuatro de curvas de deflexión Curva corta y profunda cuya interpretación cualitativa corresponde a un mal pavimento y una mala sub rasante, sin embargo se puede apreciar que en el punto 3 se tiene una deformación muy inferior a la característica 0.32 mm reduciéndose en 300%
- ❖ La deflexión característica es superior a la deformación admisible sin embargo no presenta fallas estructurales por lo que requiere un refuerzo estructural para resistir el tráfico previsto.

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
GERENCIA TÉCNICA  
Ing. Victor Peña Dueñas  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 70185

INVERSIONES GENERALES CENTAURO INGENIEROS S.A.C.  
ÁREA DE CALIDAD  
Mg. Ing. Janet Yesica Andía Anas  
INGENIERA CIVIL  
CIP. 69773



# LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS CENTAURO INGENIEROS S.A.C

SERVICIOS DE:  
 Ensayos para Mecánica de Suelos  
 Ensayos en Agregados para Concreto y Asfalto  
 Ensayos químicos en suelos y agua

Ensayos Triaxiales para Suelos  
 Ensayos de SPT, DPL, DPSH  
 Diseños de Mezclas para Concreto y Asfalto  
 Estudios y Ensayos Geofísicos

Estudios Geotécnicos  
 Perforaciones y Extracción Diamantinas.  
 Control de Calidad en Suelos, Concreto y Asfalto  
 Extracción y traslado de muestras In situ con personal calificado

Email: [grupocentauroingenieros@gmail.com](mailto:grupocentauroingenieros@gmail.com) Web: <http://centauroingenieros.com/> Facebook: [centauro ingenieros](https://www.facebook.com/centauroingenieros)

TESIS ANALISIS EXPERIMENTAL DEL SARDINEL SUMERGIDO MEDIANTE DEFELCCIONES EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL CON LA VIGA BENKELMAN

## MEDICION DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

|            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| LUGAR      | CARRERA TRAMO INGENIO CASACANCHA             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| FECHA      | MARZO 2019                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CARRIL     | DERECHO                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SUPERFICIE | CARPETA ASFALTICA                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| EQUIPO     | VIGA BENKELMAN PINZUAR                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ING° :     | VPD  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            | W5K - 878                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            | 12" x 20" ( 12 LONAS)                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            | 8.2 Tn (Con carga en el Eje Posterior)       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            | 80 PSI (Presión de Inflado y en Buen Estado) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            | 1 a 4  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            | Y.Z.L.Z.                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| PROGRESIVA (KM) | LECTURAS EN EL DIAL (0.01 mm) (CORREGIDAS) |         |         |          |          |          |     |     |     |      | RADIO DE CURVATURA | CBR % | Fecha |      |      |       |                          |            |
|-----------------|--|---------|---------|----------|----------|----------|-----|-----|-----|------|--------------------|-------|-------|------|------|-------|--------------------------|------------|
|                 | R0=0                                       | R1=25cm | R1=50cm | R3=100cm | R4=200cm | RP=500cm | D0  | D25 | D50 | D100 |                    |       |       | D200 | D500 | HORA  | TEMPERATURAS<br>AMBIENTE | ASFALTO    |
| P01 0+100 KM    | 90   | 85      | 75      | 70       | 70       | 70       | 118 | 79  | 59  | 39   | 20                 | 0     | 10:30 | 24.5 | 23.3 | 53.0  | 7.4                      | 29/03/2019 |
| P02 0+110 KM    | 100  | 96      | 83      | 78       | 77       | 76       | 95  | 79  | 28  | 20   | 8                  | 2     | 11:45 | 25.0 | 23.0 | 46.6  | 13.5                     | 29/03/2019 |
| P03 0+120 KM    | 100  | 98      | 94      | 93       | 92       | 92       | 32  | 24  | 8   | 8    | 4                  | 0     | 12:35 | 25.8 | 19.1 | 130.2 | 41.1                     | 29/03/2019 |

### ANALISIS ESTADISTICO

| n                  | 3     | 3     | 3    | 3    | 3    | 3   | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
|--------------------|-------|-------|------|------|------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Xp                 | 81.7  | 60.7  | 31.7 | 22.3 | 10.7 | 0.7 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| MIN                | 32    | 24    | 8    |      |      |     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| MAX                | 118   | 79    | 59   | 39   | 20   | 2   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| DESV. ESTANDAR     | 45    | 32    | 26   | 16   | 8    | 1   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| VARIANZA           | 1,982 | 1,008 | 660  | 244  | 69   | 1   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| COEF. DE VARIACION | 55    | 52    | 81   | 70   | 78   | 173 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

|                                    |          |                   |
|------------------------------------|----------|-------------------|
| DEFLEXION CARACTERISTICA:          | 1.28     | mm                |
| No DE EJES EQUIVALENTES 5 ANOS (f) | 1.04     | x 10 <sup>6</sup> |
| DEFORMACION ADMISIBLE (Da)         | 1.03     | mm                |
| COEFICIENTE DE POISSON (μ)         | 0.4      |                   |
| RADIO HUELLA CIRCULAR CONTACT      | 10.3     | cms               |
| PRESION DE INFLADO (P)             | 80.0     | psi               |
| DISTANCIA MIDE DEFLEXION (R)       | 30.0     | cms               |
| CARGA SOBRE LA LLANTA              | 8.2      | ton               |
|                                    | 18,000.0 | Lbs               |

INGENIEROS GENERALES CENTAURO INGENIEROS SAC  
**GERENCIA TECNICA**  
 Ing. Victor Peña Duenas  
 CIP. 104683

INGENIEROS GENERALES CENTAURO INGENIEROS SAC  
**AREA DE CALIDAD**  
 Mg. Ing. Janet Vasquez Amalia Arias  
 INGENIERA CIVIL  
 CIP. 69775