

1.1. INTRODUCCIÓN

Las vías tienen una función esencial en la actualidad y es el de facilitar el transporte tanto de personas como bienes con total comodidad y seguridad haciendo necesaria la provisión de una red que satisfaga estas condiciones.

Los pavimentos deben su periodo de vida útil a diversos factores tales como el diseño, volumen de tránsito y cargas. Un buen diseño permite un adecuado funcionamiento del pavimento durante el periodo de vida predeterminado, sin embargo existen una serie de razones por las cuales no se llega a cumplir con el periodo de diseño, entre ellas tenemos: defectos en la construcción, diseño deficiente, volumen mayor de tránsito, mal funcionamiento del drenaje, deficiencia en el mantenimiento del pavimento, etc.; esto genera que el pavimento falle y se presenten distintas anomalías empeorando el estado de la vía. Es por esto que resulta necesario aplicar técnicas de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos; y para poder decidir adecuadamente la aplicación de estos trabajos se debe conocer el estado del pavimento y las posibles causas que lo producen, para ello se emplean diferentes métodos.

Los métodos de evaluación para establecer las condiciones actuales del pavimento son el Método PCI (Índice de Condición del Pavimento), PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) e IRI (Índice de Rugosidad Internacional); que por medio de inspecciones visuales se determina el estado en que se encuentra una vía, dependiendo del tipo, cantidad y severidad de las fallas presentes.

El presente trabajo tiene por objeto la aplicación de los métodos mencionados anteriormente en los tramos de estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina) de la ciudad de Bermejo y así poder determinar las condiciones en las que se encuentran, asimismo proponer un costo de reparación a precios de mercado que ayude a mejorar las condiciones del tráfico vehicular.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En lo que respecta a este trabajo se tratará la problemática que pueden suscitarse en una obra de pavimentación de concreto hidráulico, mediante la clasificación e identificación del tipo de fallas, para proponer una solución de reparación y/o mantenimiento.

Se observarán y evaluarán las calles Cochabamba, Tarija y Argentina de la ciudad de Bermejo, los cuales son de pavimento rígido y son tramos importantes y representativos para la circulación del tránsito vial, ya que brindan al usuario la conexión directa con los lugares céntricos de la ciudad.

Debido a la falta de recursos económicos del país para las carreteras y los altos costos de construcción de estas, es necesario pensar en el mantenimiento y mejoramiento de las vías existentes, se hace necesario crear una cultura en cuanto a mantenimiento y rehabilitación de la red vial para brindar un buen funcionamiento y comodidad a los usuarios de las vías, quienes finalmente son los beneficiarios de este servicio. Las calles que se evaluarán son vías de gran interés regional, ya que son vías de mayor volumen de tránsito vehicular, por lo que las cargas de los vehículos poco a poco van dañando la estructura del pavimento y se encuentran construidos en una región de altas temperaturas con cambios climáticos bruscos.

Lo que el autor propone con este trabajo es evaluar los diferentes tipos de fallas que presentan los pavimentos rígidos de la ciudad de Bermejo en los tramos de estudio establecidos, así como su origen para dar soluciones factibles de prevención y reparación a futuras construcciones de manera que se puedan evitar que susciten tan frecuentemente.

El tener conocimiento de este tema les será de gran ayuda a las personas, principalmente al estudiante, egresado de Ingeniería Civil y/o constructor, ya que al querer realizar una obra de este tipo tendrán las herramientas necesarias para elaborarlo de una manera útil a la sociedad, principalmente a las personas que tengan la necesidad de transitar por esa calle o esa zona, de una manera rápida, cómoda y segura, tomando en cuenta que este es un problema muy común que se da en las comunidades y en todas las zonas urbanas y residenciales.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación problemática

Las calles Cochabamba, Tarija y Argentina de la ciudad de Bermejo en la totalidad de sus tramos, se puede observar fallas que afectan de manera directa, a la circulación vehicular de la población que usan estas vías, tanto habitantes de la zona como también turistas que visitan la ciudad, debido a ello son trayectos muy transitados por ser rutas de accesos directos con zonas céntricas, a ello se debe tomar en cuenta que cada vez se incrementa el número de vehículos que transitan diariamente.

Como es conocido, todos los pavimentos se van deteriorando con el tiempo conllevando a la aparición de fallas que no constituye solo un problema de aspecto visual o estético, al tener una carretera con estas dificultades reducirán su calidad e incrementaran los costos de los usuarios, al mismo tiempo de que estas fallas pueden producir accidentes de tránsito, fallas mecánicas en los vehículos, aparte de provocar demoras en la transitabilidad habitual de los usuarios.

Estos deterioros pueden haberse producido por diferentes motivos provocando efectos desfavorables sobre las vías, por lo que su control y conservación oportuna resulta valiosa para asegurar la vida útil deseada del proyecto, de modo que mediante este se pueda implementar y planificar políticas de mantenimiento adecuadas. No basta con intervenir cuando las vías se vuelven intransitables, sino que se tiene que evaluar el comportamiento de la vía, para saber el momento adecuado en darle mantenimiento, y no tener que llegar a una reparación que necesariamente acarrea un costo mayor.

1.3.2. Problema

Los problemas e inquietudes ya mencionados anteriormente nos conducen a hacernos una pregunta, ¿De qué manera, la evaluación superficial y estructural no destructiva en una carretera, determinarán las condiciones presentes respecto de sus fallas?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

- ✚ Evaluar superficial y estructuralmente mediante el método no destructivo el estado actual del pavimento rígido en las calles Cochabamba, Tarija y Argentina de la ciudad de Bermejo para determinar sus posibles causas y establecer un adecuado plan de reparación que ayude a mejorar las condiciones del tráfico vehicular.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✚ Clasificar los tipos de fallas encontrados por unidad de muestreo en los tramos de estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina).
- ✚ Evaluar la severidad de los daños encontrados en el pavimento, sectorizar de acuerdo a la clasificación resultante.
- ✚ Valorar el estado superficial del pavimento en base a los indicadores PCI, PSI e IRI y establecer la condición del pavimento.
- ✚ Analizar las posibles causas que generan un tipo de deterioro en particular.
- ✚ Determinar el estado y el comportamiento del paquete estructural empleando la Viga Benkelman.
- ✚ Establecer las medidas correctivas a través de una propuesta de mejoras a realizar en el pavimento en base a especificaciones existentes y un plan de costos a precios del mercado.

1.5. HIPÓTESIS

Realizando una evaluación de los tipos de fallas y nivel de deterioros existentes en el pavimento de los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina de la ciudad de Bermejo), se podrá obtener índices de calificación PCI, PSI e IRI del estado actual de la superficie del pavimento para así poder establecer una propuesta de mejoras a realizar para la conservación y prolongación de la vida útil de los tramos en estudio.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variable independiente

Tipo de fallas en el pavimento. } *Tramos en estudio*
“Calles Cochabamba, Tarija y Argentina
de la ciudad de Bermejo”

1.6.2. Variable dependiente

Índice de Condición del Pavimento (PCI).
 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).
 Índice de Rugosidad Internacional (IRI).
 Propuesta de mejoras a realizar en el pavimento. } *Tramos en estudio*
“Calles Cochabamba, Tarija y Argentina
de la ciudad de Bermejo”

1.7. DISEÑO METODOLÓGICO

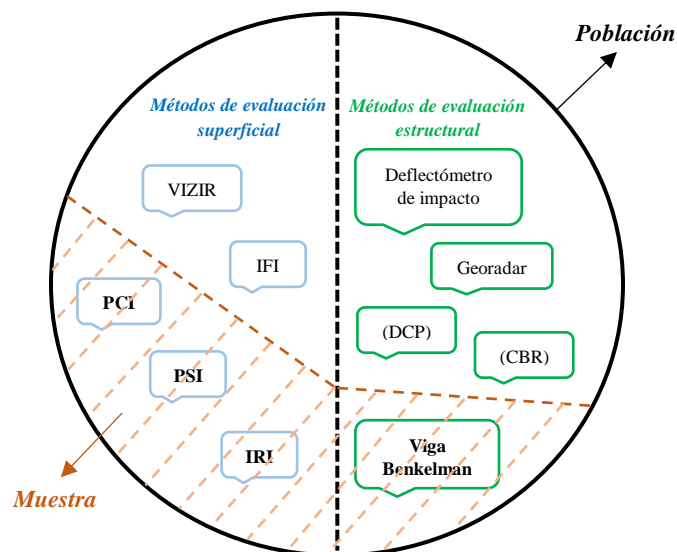
1.7.1. Componentes

1.7.1.1. Unidad de estudio

Fallas en pavimentos rígidos.

1.7.1.2. Población

Métodos de evaluación superficial y estructural.



Fuente: Elaboración propia

1.7.1.3. Muestra

Los métodos seleccionados para la evaluación superficial son el método de evaluación PCI (Índice de Condición del Pavimento), el método PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) y el método IRI (Índice de Rugosidad Internacional) y para la evaluación estructural la Viga Benkelman.

1.7.1.4. Muestreo

Para poder realizar el muestreo se dividió los tramos en unidades homogéneas, ya que son calles de diferentes características. Se recomienda que de cada 100 m de longitud de los tramos o calles por lo menos el 20 % de esa longitud deben ser tomados en cuenta como longitud de muestra para la evaluación. Para la obtención del número total de muestras, se adoptó una longitud de muestra independiente considerando el 20 % para cada intersección, para darle un poco más de precisión al muestreo ya que cada intersección varía en magnitud.

$$N = \sum \frac{\text{Longitud total del tramo}}{\text{Longitud de la muestra}} \quad \dots \text{Ecuación 1.1}$$

El número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la siguiente ecuación, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95 %.

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * [N - 1] + \sigma^2} \quad \dots \text{Ecuación 1.2}$$

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N = Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e = Error admisible en el estimado del PCI de la sección (e = 5 %).

σ = Desviación estándar del PCI entre las unidades.

No todas las unidades de muestra requieren tener el mismo tamaño de muestra, pero deben tener similares patrones para asegurar la exactitud en el cálculo del PCI (Pavement Condition Index), Índice de Condición del Pavimento.

De esta manera se obtienen los siguientes datos:

Calle Cochabamba

Intersecciones: Entre calle Francisco Uriondo y avenida Barrientos Ortuño

N° de cuadras: 13

Longitud del tramo: 1560,07 m

Para la obtención del número total de unidades de muestreo, se procedió a sumar el número total de unidades de muestreo de cada intersección como se muestra en la Ecuación 1.1 hasta completar el número total de cuadras del tramo, dando como resultado 80 unidades de muestreo para la evaluación.

$$N = \sum \frac{120,43}{24,08} + \frac{120,77}{24,15} + \frac{119,38}{23,87} + \dots + \frac{120,18}{24,03} = 80$$

Aplicando la Ecuación 1.2, se calcula el número mínimo de unidades de muestreo a ser inspeccionadas; se adoptara un error $e = 5\%$, que es el permitido y se tomara una media estándar de $\sigma = 15$, con estas indicaciones se procedió a realizar el cálculo de la siguiente manera:

$$n = \frac{80 * 15^2}{\frac{5^2}{4} * [80 - 1] + 15^2}$$

$$n = 25,04 \cong 25 \text{ "Valor mínimo"}$$

Por lo tanto tenemos un total de 80 unidades de muestreo para la evaluación, las cuales aproximadamente 27 deberán ser inspeccionadas y/o evaluadas.

Calle Tarija

Intersecciones: Entre calle Chuquisaca y avenida Topater

N° de cuadras: 11

Longitud del tramo: 1343,08 m

Tomando en cuenta los mismos criterios mencionados anteriormente se obtuvo como resultado 55 unidades de muestreo para la evaluación.

Aplicando la Ecuación 1.2, se obtuvo el cálculo del número mínimo de unidades de muestreo a ser inspeccionadas y se procedió de la siguiente manera:

$$n = \frac{55 * 15^2}{\frac{5^2}{4} * [55 - 1] + 15^2}$$

$$n = 22 \text{ "Valor mínimo"}$$

Por lo tanto tenemos un total de 55 unidades de muestreo para la evaluación, las cuales aproximadamente 28 deberán ser inspeccionadas y/o evaluadas.

Calle Argentina

Intersecciones: Entre calle Tarija y calle German Busch

N° de cuadras: 3

Longitud del tramo: 372,53 m

Tomando en cuenta los mismos criterios mencionados anteriormente se obtuvo como resultado 15 unidades de muestreo para la evaluación.

Aplicando la Ecuación 1.2, se obtuvo el cálculo del número mínimo de unidades de muestreo a ser inspeccionadas y se procedió de la siguiente manera:

$$n = \frac{15 * 15^2}{\frac{5^2}{4} * [15 - 1] + 15^2}$$

$$n = 10,80 \cong 11 \text{ "Valor mínimo"}$$

Por lo tanto tenemos un total de 15 unidades de muestreo para la evaluación, las cuales aproximadamente 13 deberán ser inspeccionadas y/o evaluadas.

1.7.1.5. Selección de las unidades de muestreo para inspección

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar. Esta técnica se la conoce como “sistema aleatorio” descrito en los siguientes pasos:

El intervalo de muestreo (**i**) se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N}{n} \quad \dots \text{Ecuación 1.3}$$

Donde:

N = Número total de unidades de muestreo disponible.

n = Número mínimo de unidades para evaluar.

i = Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior.

El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo **i**.

De esta manera se obtienen los siguientes datos:

Calle Cochabamba

Por lo tanto tenemos un total de 80 unidades de muestreo para la evaluación, las cuales aproximadamente 27 deberán ser inspeccionadas y/o evaluadas.

Aplicando la Ecuación 1.3, se calcula las unidades de muestra a ser inspeccionadas aplicando el método aleatorio:

$$i = \frac{80}{25}$$

$$n = 3,20 \cong 3 \text{ "Intervalo de muestreo"}$$

Por lo tanto el intervalo de muestreo será igual a 3 para cada sentido de la vía.

Tabla 1.1 - Intervalo de muestras - Calle Cochabamba

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2 - Progresivas de muestras - Calle Cochabamba

UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL
UM-1	0+000	0+024	UM-15	1+012	1+035
UM-2	0+072	0+096	UM-16	1+081	1+105
UM-3	0+144	0+168	UM-17	1+154	1+179
UM-4	0+217	0+241	UM-18	1+227	1+250
UM-5	0+288	0+312	UM-19	1+297	1+320
UM-6	0+360	0+384	UM-20	1+368	1+392
UM-7	0+432	0+456	UM-21	1+439	1+463
UM-8	0+504	0+528	UM-22	1+511	1+536
UM-9	0+576	0+600	UM-23	0+288	0+312
UM-10	0+648	0+672	UM-24	0+217	0+241
UM-11	0+720	0+744	UM-25	0+144	0+168
UM-12	0+792	0+816	UM-26	0+072	0+096
UM-13	0+865	0+890	UM-27	0+000	0+024
UM-14	0+941	0+967	---	---	---

Fuente: Elaboración propia

Calle Tarija

Por lo tanto tenemos un total de 55 unidades de muestreo para la evaluación, las cuales aproximadamente 28 deberán ser inspeccionadas y/o evaluadas.

Aplicando la Ecuación 1.3, se calcula las unidades de muestra a ser inspeccionadas aplicando el método aleatorio:

$$i = \frac{55}{22}$$

$$n = 2,50 \cong 2 \text{ "Intervalo de muestreo"}$$

Por lo tanto el intervalo de muestreo será igual a 2 para cada sentido de la vía.

Tabla 1.3 - Intervalo de muestras - Calle Tarija

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.4 - Progresivas de muestras - Calle Tarija

UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL
UM-1	0+000	0+027	UM-15	0+687	0+709
UM-2	0+055	0+083	UM-16	0+731	0+757
UM-3	0+110	0+138	UM-17	0+783	0+809
UM-4	0+162	0+186	UM-18	0+835	0+861
UM-5	0+210	0+234	UM-19	0+885	0+909
UM-6	0+258	0+281	UM-20	0+934	0+958
UM-7	0+305	0+329	UM-21	0+982	1+006
UM-8	0+352	0+376	UM-22	1+030	1+054
UM-9	0+400	0+424	UM-23	1+078	1+102
UM-10	0+447	0+471	UM-24	1+126	1+149
UM-11	0+495	0+520	UM-25	1+173	1+197
UM-12	0+545	0+571	UM-26	1+221	1+245
UM-13	0+596	0+621	UM-27	1+270	1+294
UM-14	0+643	0+665	UM-28	1+318	1+343

Fuente: Elaboración propia

Calle Argentina

Por lo tanto tenemos un total de 15 unidades de muestreo para la evaluación, las cuales aproximadamente 13 deberán ser inspeccionadas y/o evaluadas.

Aplicando la Ecuación 1.3, se calcula las unidades de muestra a ser inspeccionadas aplicando el método aleatorio:

$$i = \frac{15}{11}$$

$$n = 1,36 \cong 1 \text{ "Intervalo de muestreo"}$$

Por lo tanto el intervalo de muestreo será igual a 1 para cada sentido de la vía.

Tabla 1.5 - Intervalo de muestras - Calle Argentina

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.6 - Progresivas de muestras - Calle Argentina

UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL
UM-1	0+000	0+023
UM-2	0+023	0+047
UM-3	0+047	0+071
UM-4	0+071	0+095
UM-5	0+095	0+119
UM-6	0+119	0+153
UM-7	0+153	0+187
UM-8	0+187	0+221
UM-9	0+221	0+256
UM-10	0+256	0+290
UM-11	0+306	0+323
UM-12	0+323	0+339
UM-13	0+339	0+356

Fuente: Elaboración propia

1.7.2. Métodos y técnicas empleadas

1.7.2.1. Método

Para la evaluación superficial aplicamos las siguientes metodologías:

Método de evaluación PCI (Pavement Condition Index), para determinar el Índice de Condición del Pavimento.

Método de evaluación PSI (Present Service Index), para determinar el Índice de Serviciabilidad Presente.

Método de evaluación IRI (International Roughness Index), para determinar el Índice de Rugosidad Internacional.

Para la evaluación estructural aplicamos la metodología de:

Método de la Viga Benkelman.

1.7.2.2. Técnicas empleadas

PCI

Se evaluarán muestras obtenidas estadísticamente aplicando la Ecuación 1.2, tomando en cuenta los mismos criterios mencionados anteriormente.

Donde cada tramo en estudio fue convenientemente definido por una porción de un pavimento de sección elegida, donde no todas las unidades de muestra requieren tener el mismo tamaño, pero deben tener similares patrones para asegurar la exactitud en el cálculo del PCI y siempre respetando el área de la unidad de muestreo que debe estar en el rango de 20 ± 8 losas como indica la Norma ASTM D6433-99.

PSI

Se evaluarán las muestras obtenidas del método de evaluación PCI (Pavement Condition Index), Índice de Condición del Pavimento.

IRI

Se evaluarán las muestras obtenidas del método de evaluación PCI (Pavement Condition Index), Índice de Condición del Pavimento.

VIGA BENKELMAN

Se evaluarán las muestras obtenidas del método de evaluación PCI (Pavement Condition Index), Índice de Condición del Pavimento.

1.7.3. Metodología

1.7.3.1. Equipo

El equipo empleado en el método PCI es el siguiente:

Una regla metálica para ayudar a identificar y diferenciar los diferentes tipos de fallas (desniveles, asentamientos, etc.).

Figura 1.1 - Regla metálica de 60 cm de longitud



Fuente: Elaboración propia

Un flexómetro y una huincha para medir cada sub tramo y/o el ancho de la vía.

Figura 1.2 - Flexómetro de 5 m de longitud



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.3 - Huincha plástica de 50 m de longitud



Fuente: Elaboración propia

Una cámara fotográfica para obtener fotografías de cada una de las fallas o deterioros.

Figura 1.4 - Cámara fotográfica



Fuente: Elaboración propia

Se añadió a este método una inspección visual minuciosa, y un conocimiento de cada tipo de falla asociado con su nivel de severidad.

En el método IRI se hizo uso del siguiente equipo:

Un nivel de ingeniero para efectuar la nivelación.

Figura 1.5 - Nivel de ingeniero modelo “Sokkia B40”



Fuente: Elaboración propia

Una mira para ayudar a realizar la nivelación.

Figura 1.6 - Mira graduada



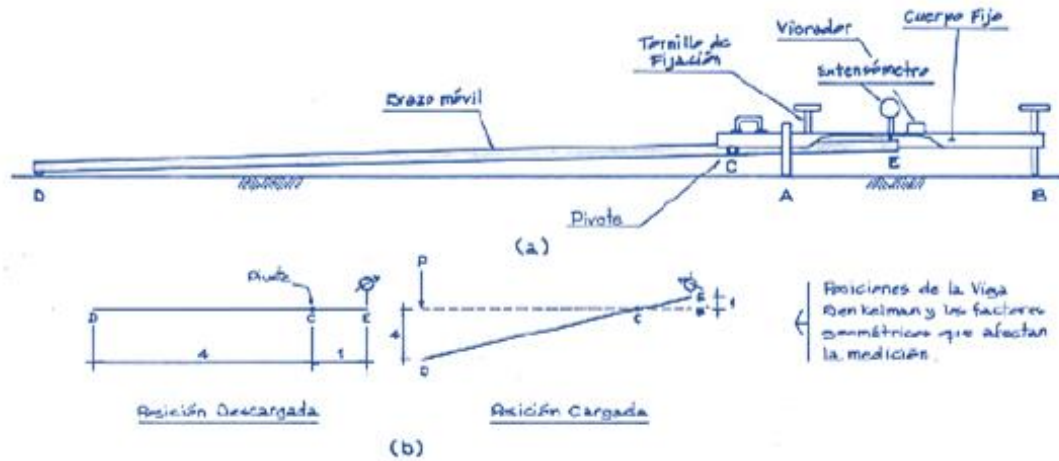
Fuente: Elaboración propia

Un software denominado “INPACO” donde incluye el programa IRI (método mira y nivel), para hallar el Índice de Rugosidad Internacional.

El equipo empleado en la evaluación estructural es el siguiente:

Viga Benkelman.

Figura 1.7 - Viga Benkelman



Fuente: TESIS - Análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la Viga Benkelman y el deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD)

Seguridad:

Conos de seguridad.

Figura 1.8 - Cono reflectante de seguridad



Fuente: Elaboración propia

Chaleco reflectante.

Figura 1.9 - Chaleco reflectante de seguridad



Fuente: Elaboración propia

Casco de seguridad.

Figura 1.10 - Casco de seguridad



Fuente: Elaboración propia

1.7.3.2. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

1.7.3.2.1. Tratamiento estadístico

En la presente investigación se maneja el método estadístico no probabilístico, sacando valores promedios de los ensayos a realizarse en campo con los equipos mencionados para el cálculo del PCI, PSI e IRI. Cabe mencionar que solo se saca el valor promedio de los ensayos debido a que se mide de manera directa, no aplicando así otros parámetros de la estadística como la desviación, moda, etc., en el momento de la obtención de datos.

La media se obtiene como el promedio aritmético de todos los datos de la muestra; así para $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, de tamaño “N” obtenida para una población, la media se determina por la siguiente expresión:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad \dots \text{Ecuación 1.4}$$

Esta media, se interpreta como el valor típico y central de los datos. Si es suficiente representar con un solo número, la media resulta la mejor descripción de los valores observados.

1.8. ALCANCE

Se pretende mediante este estudio ayudar a la problemática de la red vial regional de la ciudad de Bermejo debido a los deterioros causados en la parte funcional del pavimento, afectando a la calidad de rodamiento que no deja circular libremente al transporte provocando una pérdida de tiempo y economía considerable.

El alcance del presente proyecto se refleja en el trabajo de “Evaluación de Fallas en Pavimentos Rígidos Aplicado a las Calles Cochabamba, Tarija y Argentina de la Ciudad de Bermejo”, para tal efecto se dividirá la evaluación en dos partes: evaluación superficial y evaluación estructural.

Primeramente se realizara una detallada inspección visual y un recorrido general en ambos sentidos, de este modo se lograra obtener un conocimiento general de los tramos en estudio de tal manera se distinguirán los tramos más deteriorados, los mismos serán secciones donde se analizara cada una de las fallas que se logren observar, y de este modo realizar los ensayos respectivos que indiquen el estado superficial y estructural de los tramos de pavimento rígido.

Para la evaluación superficial de los tramos en estudio se realizara el ensayo que establezca las siguientes metodologías:

Método de evaluación PCI (Pavement Condition Index), para determinar el Índice de Condición del Pavimento.

Método de evaluación PSI (Present Service Index), para determinar el Índice de Serviciabilidad Presente.

Para estos dos métodos deberá realizarse la inspección visual en toda la superficie del pavimento, recolectando medidas que consideren y califiquen las fallas existentes en los tramos de estudio.

Método de evaluación IRI (International Roughness Index), para determinar el Índice de Rugosidad Internacional.

Para llevar adelante este método de evaluación; se realizara un trabajo de nivelación y se hará en las huellas o lugar de transito de las llantas de los vehículos en el carril, empleando para ello una mira y un nivel de ingeniero, la cual nos permitirá conocer las cotas de la superficie del pavimento en los tramos de estudio; seguidamente estas cotas serán introducidas en el programa IRI (método mira y nivel) del software denominado “INPACO” del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca de Colombia, el cual nos dará como resultado el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para cada sub tramo, el promedio de estos, será el IRI que representa al tramo total en estudio.

Para la evaluación estructural de los tramos en estudio se realizara el ensayo que establezca la siguiente metodología:

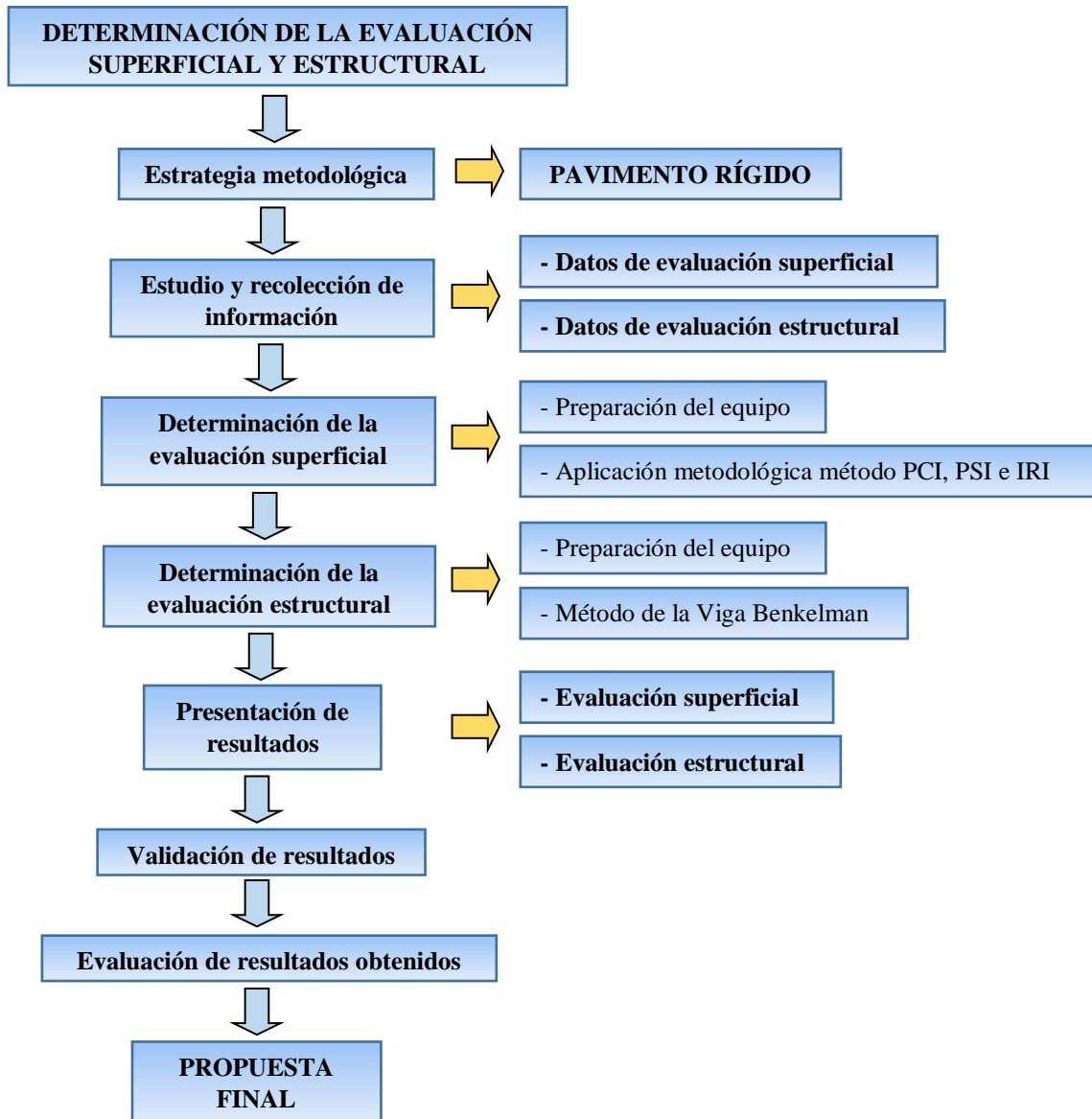
Método de la Viga Benkelman.

Este ensayo mide la restitución de las deflexiones del pavimento, a partir de estas mediciones se obtienen valores de deflexiones máximas y radios de curvatura mediante los cuales se evaluara la condición estructural del pavimento.

Este proyecto tiene aplicación a todos los pavimentos rígidos de nuestro medio, ya sea en etapa constructiva o en pavimentos construidos y/o deteriorados. Las metodologías planteadas son de mucha importancia, y teniendo conocimiento de las causas que producen las fallas, se puede adoptar medidas preventivas. A los pavimentos en etapa constructiva se puede tomar medidas para que estos pavimentos no presenten deterioros por una mala ejecución, y los pavimentos construidos que presentan patologías ayudaran a adoptar medidas y así tomar decisiones para poder determinar el tipo de reparación que podríamos ejecutar.

1.9. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Tabla 1.7 - Metodología de trabajo



Fuente: Elaboración propia

2.1. CONCEPTO DE PAVIMENTO

“Es una estructura que se encuentra constituida por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub rasante de la vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de restringir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento”.

2.1.1. Clasificación de pavimentos y características

Pavimentos flexibles: Es el pavimento que tienen en su parte superior una carpeta bituminosa, apoyada sobre dos capas granulares, denominadas base y sub base. En la siguiente figura se presenta un corte de la sección típica de un pavimento flexible.

Figura 2.1 - Paquete estructural pavimento flexible



Fuente: Mecánica de pavimentos principios básicos

Pavimentos semirrígidos: Contiene la misma estructura de un pavimento flexible, con la variación que una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con algún aditivo que puede ser: asfalto, cal, cemento, emulsión o químicos; los cuales permitan incrementar la capacidad portante del suelo.

Pavimentos rígidos: Son pavimentos en los cuales su capa superior está compuesta por una losa de cemento hidráulico, la cual se encuentra apoyada sobre una capa de material denominada base o sobre la sub rasante.

Figura 2.2 - Paquete estructural pavimento rígido



Fuente: Mecánica de pavimentos principios básicos

Pavimentos articulados: Son pavimentos cuyas capas de rodadura se encuentran conformadas por bloques de concreto prefabricados, que se denominan adoquines, son iguales entre sí y de un espesor uniforme; y que se colocan sobre una capa delgada de arena, la cual se encuentra sobre una capa granular o la sub rasante. En la siguiente figura se presenta un corte de la sección típica de un pavimento articulado.

Figura 2.3 - Paquete estructural pavimento articulado



Fuente: Mecánica de pavimentos principios básicos

2.1.2. Pavimentos rígidos

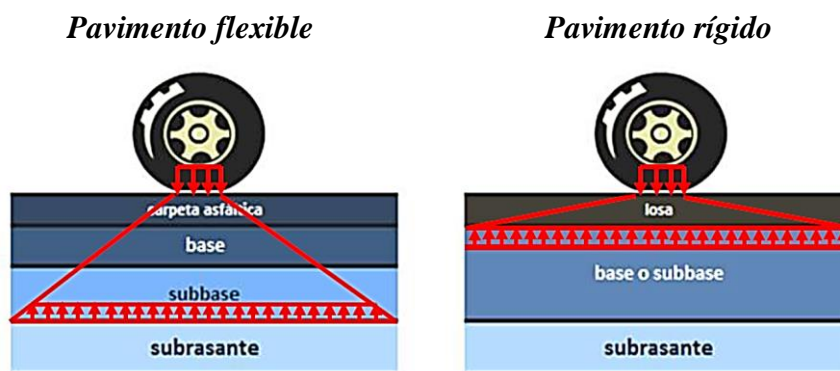
Se define como pavimento de hormigón el constituido por un conjunto de losas de hormigón en masa separadas por juntas transversales, o por una losa continua de hormigón armado, en ambos casos eventualmente dotados de juntas longitudinales; el hormigón se pone en obra con una consistencia tal, que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación y maquinaria específica para su extensión y acabado superficial.

Un pavimento se puede definir como la superestructura de la obra vial que hace posible la circulación de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía requeridos por el usuario y previstos en el proyecto. En general está constituido por un conjunto de capas

superpuestas, compuestas por materiales seleccionados, sometidos a algún tratamiento, las cuales quedan comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento y cuyo comportamiento depende de la calidad y el tipo de materiales, de su espesor y disposición en la estructura de los pavimentos así como de la calidad de la construcción.

El pavimento rígido tiene como elemento estructural fundamental una losa de concreto, esta se apoya sobre una capa de material seleccionado, a la que se le da el nombre de subbase; cuando la subrasante del pavimento tenga una calidad suficiente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente sobre ella, prescindiéndose así de una subbase especial; de lo que se trata es de que la losa de concreto tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable. Debido a que el módulo de elasticidad del concreto es mucho mayor que el correspondiente a los materiales que le sirven de apoyo, la mayor parte de la capacidad de carga del pavimento procede de la propia losa, efecto que es conocido como acción de viga. Las losas de concreto hidráulico deben resistir, además de los esfuerzos provocados por el tránsito, los producidos por cambios de temperatura y humedad, así como por cambios volumétricos de los materiales que les sirven de apoyo.

Figura 2.4 - Características estructurales de los pavimentos



En el pavimento rígido, el hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores.

Fuente: *Mecánica de pavimentos principios básicos*

En términos generales, puede decirse que las características estructurales de las losas dependen fundamentalmente de su espesor y de la calidad del concreto empleado, interviniendo en esta última y en forma primordial la resistencia a la tensión, sin olvidar

que la resistencia al desgaste superficial juega un papel muy importante. Un factor que merece atención son las juntas que dividen las losas, ya que de su apropiado diseño y construcción depende no solo la adecuada transmisión de cargas entre las losas sino también, y de una manera fundamental, la calidad de rodamiento y su desempeño futuro.

2.2. PROPIEDADES Y FUNCIONES DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

La consideración de dos propiedades básicas del pavimento revela que un solo principio se aplica a cada aspecto del diseño de las subbases y subrasantes. El módulo de elasticidad del hormigón oscila entre 280000 y 420000 Kg./cm². Esto significa que los pavimentos de hormigón tienen un alto grado de rigidez y la resistencia a flexión del hormigón varía de 38 a 52 Kg./cm² a los 28 días, característica elemental de resistencia a viga.

A causa de estas propiedades, rigidez y resistencia a viga, el pavimento de hormigón distribuye las cargas que soporta sobre una gran zona de la subrasante, las deflexiones son pequeñas y las presiones unitarias transmitidas a la subrasante son muy reducidas. Se deduce en consecuencia que los pavimentos de hormigón no requieren subrasantes resistentes, sino de un valor soporte razonablemente uniforme.

Además de las propiedades estructurales comentadas, el pavimento rígido debe satisfacer funciones que pueden resumirse de la siguiente forma:

Resistir las acciones de los agentes atmosféricos, a fin de conseguir la durabilidad o vida útil prevista en el diseño; por ejemplo la eliminación rápida del agua en la superficie del pavimento, con el fin de proteger la subrasante de las precipitaciones, con sus efectos en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.

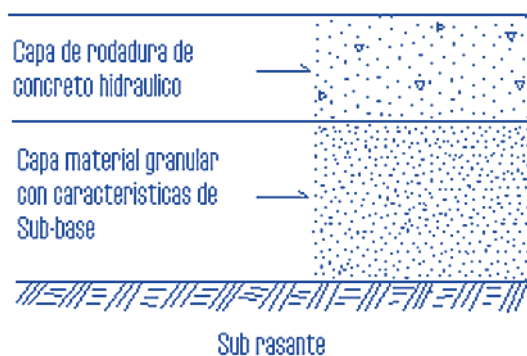
Condiciones adecuadas de durabilidad, para resistir las solicitaciones de tráfico previsto durante el periodo de proyecto y repartir las presiones verticales ejercidas por las cargas, distribuyendo las mismas hasta reducir las tensiones producto de ellas a valores compatibles con la capacidad de soporte del terreno.

Proporcionar una superficie de rodadura segura, cómoda y de características permanentes bajo las cargas repetidas del tráfico, a lo largo de un periodo de tiempo en servicio.

2.3. ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

El pavimento rígido tiene como elemento estructural fundamental una losa de hormigón, esta se apoya sobre una capa de material seleccionado, a la que se le da el nombre de subbase y posteriormente esta se apoya a un capa de suelo natural llamada subrasante; en ocasiones cuando la subrasante del pavimento tenga una calidad suficiente buena, se descarta el uso de la subbase de acuerdo a criterios constructivos.

Figura 2.5 - Elementos que constituyen el pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

2.3.1. Capa subrasante

Es el terreno de fundación del pavimento, constituye la capa superior de la terracería y por lo consiguiente la capa de apoyo de los pavimentos; la cual puede estar formada por el propio terreno natural, perfilado y compactado adecuadamente. Sin embargo, cuando el material local no tiene las características para cumplir tal función, por presentar problemas de expansión, bajo valor relativo de soporte, etc., se recurre a la utilización de materiales seleccionados de mejor calidad procedente de un banco de material. Por lo anteriormente dicho constituye el elemento de apoyo del pavimento, por lo que debe resistir adecuadamente los esfuerzos que le son transmitidos, aun en condiciones severas de humedad.

2.3.1.1. Características y control

El material deberá cumplir con las normas y características de calidad, a continuación presentamos tablas en las cuales clasificamos de acuerdo al C.B.R., el tipo de terracerías y subrasantes:

Tabla 2.1 - Categorías de suelos para terracerías y capa subrasante

CARACTERÍSTICAS	SUELOS TOLERABLES	SUELOS ADECUADOS	SUELOS SELECCIONADOS
Tamaño máximo	25 % > 15 cm	< 10 cm	< 8 cm
Contenido de finos, (%)	...	≤ 35	≤ 25
Límite líquido, (%)	≤ 40	≤ 40	≤ 30
Índice de plasticidad, (%)	≤ 10
Peso vol. máximo, (Kg./m ³)	≥ 1450	≥ 1750	...
C.B.R., (%)	> 3	> 5	> 10
Expansión, (%)	...	< 2	0

Fuente: Instituto mexicano del cemento y del concreto IMCYC

Para el control tecnológico se ejecutan los siguientes ensayos:

Un ensayo de compactación para la determinación de la densidad máxima según el método AASHTO T-180-D para cada 1000 m³ del mismo material, con un espaciamiento máximo de 100 m lineales; con las muestras recogidas en puntos que obedezcan siempre el orden: borde derecho, eje, borde izquierdo y viceversa.

Determinación de la densidad en sitio cada 100 m lineales en los puntos donde fueran obtenidas las muestras para los ensayos de compactación.

Determinación del contenido de humedad cada 100 m lineales inmediatamente antes de la compactación.

Ensayos de granulometría AASHTO 27, de límite líquido AASHTO T-89 y límite plástico AASHTO T-90; espaciamiento máximo de 250 m lineales.

2.3.2. Capa subbase

Se define como subbase para pavimentos rígidos la capa de material que se ubica antes de la losa de concreto. Se trata de un elemento importante para garantizar la uniformidad del soporte de las losas y se construye por lo general con materiales granulares, los cuales cuando el tránsito llega a ser muy pesado e intenso, se hace necesario estabilizar este

material; para evitar que bajo su acción sufran erosiones indeseables se recurre a subbases de grava-cemento. Por otra parte cuando el tránsito es ligero el material de la capa subrasante es de buena calidad, se suprime la subbase. Debe mencionarse que eventualmente a esta capa se la denomina base, por su posición inmediata bajo la losa. Sin embargo se le designa como subbase debido a que en general los requerimientos de calidad de los materiales no son tan estrictos como los de una base en un pavimento flexible, teniendo en cuenta que la losa de concreto reduce los esfuerzos impuestos a esta capa por las cargas aplicadas por los vehículos.

2.3.2.1. Características y control

Las características esenciales que deben tener este tipo de material son las siguientes:

Suelos tipo grava arenosa, arenas arcillosas.

Inorgánicos.

Libres de materia vegetal, escombros y basuras.

Libres de material congelado.

Sin presencia de terrones ni trozos degradables.

Las principales funciones de la subbase de un pavimento rígido son las siguientes:

Prevención del bombeo de suelos finos.

Protección contra el congelamiento de la subrasante, para reducir la posible expansión diferencial.

Para proporcionar una capa drenante.

Prevención contra cambios volumétricos de la subrasante.

Incremento de la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a lo que es aun en las terracerías y capa subrasante.

Sirve como superficie de tránsito durante la construcción.

Los materiales están compuestos por gravas, gravas arenosas, mezclas de arena y limo. El material empleado deberá cumplir con lo siguiente:

**Tabla 2.2 - Requisitos granulométricos de materiales para subbases
Mezcla suelo - agregados**

TAMAÑO DE LA MALLA	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO					
	A	B	C	D	E	F
2"	100	100
1"	...	75 - 95	100	100	100	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
Nº 4	25 - 65	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
Nº 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
Nº 40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
Nº 200	2 - 8	5 - 20	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25

Fuente: AASTHO M147

Adicionalmente el material deberá cumplir con lo que se indica a continuación:

Límite líquido	25 % máx.
Índice de plasticidad	6 % máx.
Desgaste de los Ángeles	40 % máx.
Contracción lineal	4 % máx.
Equivalente de arena	25 % mín.
C.B.R.	≥ 40

Para el control tecnológico se ejecutan los siguientes ensayos:

Un ensayo de compactación para la determinación de la densidad máxima según el método AASHTO T-180-D (100 % y 97 % Ds.máx.), con un espaciamiento máximo de 100 m lineales; con las muestras recogidas en puntos que obedezcan siempre el orden: borde derecho, eje, borde izquierdo y viceversa, a 60 cm del borde.

Determinación de la densidad en sitio cada 100 m lineales en los puntos donde fueran obtenidas las muestras para los ensayos de compactación.

Determinación del contenido de humedad cada 100 m lineales inmediatamente antes de la compactación.

Ensayos de granulometría AASHTO 27, de límite líquido AASHTO T-89 y límite plástico AASHTO T-90; espaciamiento máximo de 150 m lineales.

Un ensayo del Índice de Soporte de California C.B.R. de acuerdo con el método AASHTO T-193, con un espaciamiento máximo de 300 m lineales.

2.3.3. Capa de rodadura (losa de hormigón)

Constituye la parte fundamental del pavimento rígido, debiendo estar capacitadas para resistir los esfuerzos producidos por el tránsito y los efectos de la intemperie, y proporcionar además una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo el efecto combinado del tránsito y de los factores ambientales durante su vida útil, de manera que solo deban ser necesarias algunas actuaciones locales y esporádicas de conservación, de poca importancia y costo.

Un pavimento rígido se halla constituido por un elemento estructural fundamental una losa de concreto; debido a la rigidez que presenta esta losa, esta clase de pavimentos no requieren, al menos desde un punto de vista teórico, apoyarse sobre una explanada o capa de elevada capacidad de soporte.

Normalmente el espesor de la losa puede partir de unos 15 cm para tránsito muy ligero, hasta llegar a ser del orden de 40 cm en el caso de autopistas y carreteras con alto nivel de tránsito pesado, requiriendo además concretos homogéneos y de alta calidad, con resistencias a la tensión no inferiores a 3,5 MPa, y muy comúnmente de 4 MPa o más.

El hormigón de tipo vibrado utilizado para trabajos de pavimentación debe satisfacer ciertas características muy particulares, que marcan diferencias con respecto a los hormigones utilizados en otro tipo de obras, por lo que puede clasificarse como un hormigón de alto comportamiento. A continuación se indican las características que son fundamentales para la correcta elaboración de la mezcla, que su finalidad es satisfacer los requerimientos indispensables para la elaboración de la losa de hormigón.

2.3.1.1. Propiedades y control

La calidad de un concreto se define en términos de trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Estos aspectos de la calidad del concreto fueron optimizados en el proyecto,

encontrar un método de diseño que garantice estas características con el resultado de un concreto económico es una tarea importante.

Los objetivos particulares que se busca son:

Su trabajabilidad para su colocado fácilmente.

Resistencia y durabilidad satisfactoria.

El logro de mezcla competitiva a costos los más bajos posibles.

Dentro de las actividades de control que se debe poner atención en la ejecución de losa de hormigón, podemos mencionar las más importantes:

Verificación previa de la calidad y consolidación de los materiales que componen las capas de transición o de apoyo.

Evaluación y aceptación de los materiales que conformaran el hormigón, respaldados mediante certificados de calidad y abalados por ensayos físico-químicos de un laboratorio de materiales.

Verificación y oportuna corrección al diseño y dosificación de la mezcla.

Control del transporte, colocación, vibrado, terminado y curado de la losa de hormigón.

2.4. FALLAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

Las fallas son el resultado de interacciones complejas de diseño, materiales, construcción, tránsito vehicular y medio ambiente. Estos factores combinados, son la causa del deterioro progresivo del pavimento, situación que se agrava, al no darle un mantenimiento adecuado a la vía. Existen dos tipos de fallas: de superficie y estructurales.

2.4.1. Fallas de superficie

Las fallas funcionales, en cambio, afectan la transitabilidad, es decir, la calidad aceptable de la superficie de rodadura, la estética de la pista y la seguridad que brinda al usuario.

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

Las fallas de superficie se pueden jerarquizar de acuerdo con la prioridad de la reparación y con su efecto sobre la comodidad y seguridad para el usuario y sobre el estado del pavimento, lo cual permite planificar los recursos y las soluciones.

En el manual del “Método de evaluación de pavimentos PCI” existen 19 tipos de falla comúnmente encontrados en pavimentos, que son los siguientes:

Tabla 2.3 - Tipos de fallas en pavimentos rígidos

FALLA N°	DESCRIPCIÓN
1	Blow up - Bluckling
2	Grieta de esquina
3	Losa dividida
4	Grieta de durabilidad “D”
5	Escalonamiento o escala
6	Daño del sello de junta
7	Desnivel carril / berma
8	Grietas lineales (grietas long, trans. y diag.)
9	Parche grande (mayor de 0,45 m ²)
10	Parche pequeño (menor de 0,45 m ²)
11	Pulimento de agregados
12	Popouts o desprendimientos superficiales
13	Bombeo
14	Punzonamiento
15	Cruce de vía férrea
16	Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado
17	Grietas de retracción
18	Descascaramiento de esquina
19	Descascaramiento de junta

Fuente: Elaboración propia

Las fallas en los pavimentos informan sobre su condición y las causas posibles de la misma. El inventario de los daños de un pavimento representa una información fundamental en el proceso de la evaluación del estado del pavimento.

2.4.2. Fallas estructurales

Son las que originan un deterioro en el paquete estructural del pavimento, disminuyendo la cohesión de las capas y afectando su comportamiento frente a cargas externas.

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento, cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir, de una o más capas constitutivas que deben resistir el

complejo juego de solicitaciones que imponen el tránsito y el conjunto de factores climáticos.

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

2.5. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

Los pavimentos son estructuras diseñadas para entregar al usuario seguridad y comodidad al conducir, esto significa que el camino debe entregar un nivel de servicio acorde a la demanda solicitada.

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil de los pavimentos, es así, que es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

2.5.1. Importancia de la evaluación de pavimentos

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

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

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

2.5.2. TIPOS DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

La evaluación de pavimentos tiene dos componentes:

Evaluación superficial

Evaluación estructural

2.5.2.1. Evaluación superficial

Con la evaluación superficial se busca reflejar el estado del pavimento a través de sus características superficiales, presentes en el momento de la evaluación.

2.5.2.2. Evaluación estructural

A través de la evaluación estructural se obtienen respuestas sobre el comportamiento del pavimento como estructura, sometida a las solicitaciones impuestas por las cargas generadas por el tráfico de vehículos y la acción de los agentes ambientales, como temperatura, humedad, etc.

Estos dos componentes se complementan mutuamente, para permitir la obtención de resultados, aplicables a la planificación de obras de mantenimiento, proyectos de mejoramiento, elección de técnicas de reparación, control de calidad de mantenimiento, y verificación de la capacidad portante de la estructura.

2.5.3. Evaluación superficial de un pavimento rígido

2.5.3.1. Evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

El método PCI (Pavement Condition Index) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta.

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado.

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual del estado del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada falla presente. Dada la gran cantidad de combinaciones posibles, el método introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad (cantidad).

Este método no pretende solucionar aspectos de seguridad si alguno estuviera asociado con su práctica. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, un valor que cuantifique el estado en que se encuentra el pavimento para su respectivo tratamiento y mantenimiento.

Los objetivos que se esperan con la aplicación del método PCI son los siguientes:

Determinar el estado en que se encuentra el pavimento, en términos de su integridad estructural y del nivel de servicio que ofrece al usuario.

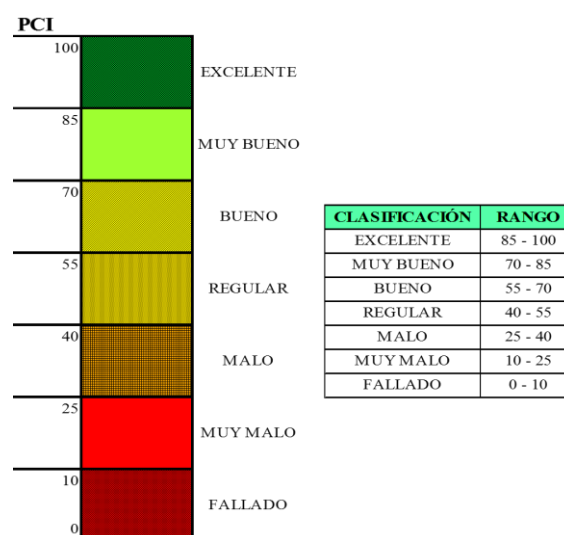
Obtener un indicador que permita comparar con un criterio uniforme, la condición y comportamiento del pavimento.

Obtener un criterio racional para justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.

2.5.3.2. Rangos de calificación del PCI

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento en mal estado (fallado), hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado (excelente). En la Fig. 2.6 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Figura 2.6 - Rangos de calificación del PCI



Fuente: Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concretos en carreteras
 “Traducido por el Ing. Luis Ricardo Vásquez, Abril de 2006”

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de una encuesta visual de la condición del pavimento, en el cual se establecen su tipo, severidad y cantidad que presenta cada daño.

2.5.3.3. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identificarán cuidadosamente los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. En la Tabla 2.4, se ilustra el formato adoptado para el presente trabajo, y una segunda etapa que será el cálculo.

Para la evaluación de pavimentos, la clase, está relacionada con el tipo de deterioro que se presenta en la superficie de un pavimento entre las que tenemos: grieta de esquina, losa dividida, grietas lineales (long., trans. y diag.), entre otros, cada uno de ellos se describe según cada tipo de falla.

Severidad de fallas: En vista de las variaciones de severidad que presentan los diferentes tipos de fallas, se han descrito los diferentes niveles contemplados en el método para cada falla. En algunos casos se requiere entender como es afectada la calidad de rodaje por diversos tipos de falla a fin de determinar su severidad.

El efecto sobre la calidad de rodaje es:

(B) - Bajo: Las vibraciones o saltos en el vehículo se sienten, pero no es necesario reducir la velocidad por razones de seguridad y/o confort.

(M) - Medio: (1) Se producen vibraciones o saltos significativos, que hacen necesario reducir la velocidad por seguridad y/o confort. (2) Saltos individuales o continuos que producen molestias.

(A) - Alto: (1) Excesivas vibraciones hacen reducir considerablemente la velocidad. (2) Saltos individuales, que producen gran molestia, peligro o posible daño vehicular.

Tabla 2.4 - Planilla de muestreo de datos - Método PCI

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”				
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)				
CARRETERAS CON SUPERFICIE DE CEMENTO HIDRÁULICO				
Nombre de la Vía:				
Realizado por:				
Fecha:				
Abscisa Inicial:			N° de Muestra:	
Abscisa Final:			N° de Losas:	
TIPOS DE FALLAS				
1. Blow up / Buckling			13. Bombeo	
2. Grieta de esquina			14. Punzonamiento	
3. Losa dividida			15. Cruce de vía férrea	
4. Grieta de durabilidad “D”			16. Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado	
5. Escalonamiento o escala			17. Grietas de retracción	
6. Daño del sello de junta			18. Descascaramiento de esquina	
7. Desnivel carril / berma			19. Descascaramiento de junta	
8. Grietas lineales (long., trans. y diag.)			SEVERIDADES	
9. Parche grande (mayor a 0,45 m ²)			Baja:	“B”
10. Parche pequeño (menor de 0,45 m ²)			Media:	“M”
11. Pulimiento de agregados			Alta:	“A”
12. Popouts o desprend. superficiales				
TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	N° LOSAS	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO

Fuente: Elaboración propia

2.5.3.4. Metodología para el cálculo del PCI

Luego de culminar la inspección de campo, toda la información recogida se utiliza para calcular el PCI. El cálculo del PCI está basado en los “valores deducidos” de cada falla, de acuerdo a la cantidad y severidad reportadas.

El cálculo del PCI debe realizarse con la información obtenida en la inspección de campo. El cálculo puede realizarse de manera manual o computarizada.

CÁLCULO DEL PCI PARA PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO DE CEMENTO PÓRTLAND

PASO 1: Determinación de los valores deducidos (VD):

1.a. Contabilice el número de losas en las cuales se presenta cada combinación del tipo de daño y nivel de severidad en el formato que se encuentra en el ANEXO 3.

1.b. Divida el número de losas contabilizadas en el paso anterior, entre el número de losas de la unidad y exprese el resultado en porcentaje. Esta es la “densidad” por unidad de muestreo para cada combinación de tipo y severidad de daño.

1.c. Determine los “valores deducidos” para cada combinación de tipo de daño y nivel de severidad empleando la curva “valor deducido para pavimentos de concreto”; las cuales están en el ANEXO 2.

PASO 2: Determinación del número máximo admisible de valores deducidos (m):

2.a. Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” en lugar del “valor deducido corregido” (CDV), obtenido en el Paso 4; de lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b y 2.c.

2.b. Liste los valores deducidos individuales en orden descendente.

2.c. Determine el “número máximo de valores deducidos” (m), utilizando la siguiente ecuación, para carreteras pavimentadas:

$$m_i = 1 + \frac{9}{98} * [100 - HDV_i]$$

Donde:

m_i = Número máximo admisible de “valores deducidos” incluyendo la fracción para la unidad de muestreo i ($m_i \leq 10$).

HDV_i = El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i.

2.d. El Número de valores individuales deducidos se reduce a (m), inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que (m) se utilizan los que se tengan.

PASO 3: Determinación del máximo valor deducido corregido (CDV):

Este paso se lo realiza mediante un proceso iterativo que se lo describe a continuación:

3.a. Determine el número de valores deducidos (q) mayores que 2.

3.b. Determine del “valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.

3.c. Determine el (CDV) con el (q) y el “valor deducido total” en la curva de corrección, de acuerdo al tipo de pavimento.

3.d. Reduzca a 2 el menor de los valores deducidos individuales, que sea mayor a 2 y repita las etapas 3.a hasta 3.c. Este proceso se repite hasta que se cumpla la condición que (q) sea igual a 1.

3.e. El “máximo (CDV)” es el mayor valor de los (CDV) obtenidos en el proceso de iteración indicado.

PASO 4: Calcule el PCI, restando el “máximo valor (CDV)” de 100 utilizando la siguiente ecuación:

$$PCI = 100 - CDV_{\text{máx.}}$$

Donde:

PCI = Índice de Condición del Pavimento.

CDV_{máx.} = Máximo valor corregido deducido.

Tabla 2.5 - Formato para la obtención del Máximo Valor Deducido Corregido Método PCI

CÁLCULO DEL PCI														
N°	VALORES DEDUCIDOS										TOTAL	"q"	CDV	

Fuente: Elaboración propia

2.5.3.5. Metodología de cálculo del PCI de una sección de pavimento

Una sección de pavimento (tramos en estudio) abarca varias unidades de muestreo. Si todas las unidades de muestreo son inventariadas, el PCI de la sección del tramo será el promedio de los PCI calculados en las unidades de muestreo.

Si se utiliza la técnica del muestreo, se emplea otro procedimiento. Si la selección de las unidades de muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistemática, o con base en la representatividad de la sección, el PCI será el promedio de los PCI de las unidades de muestreo inspeccionadas. Si se usaron unidades de muestreo adicionales se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma:

$$PCI_s = \frac{[(N - A) * PCI_R] + (A * PCI_A)}{N}$$

Donde:

PCIs = PCI de la sección del pavimento.

PCI_R = PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCI_A = PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N = Número de unidades de muestreo en la sección.

A = Número de unidades de muestreo adicionales.

2.5.3.6. Descripción de las fallas, niveles de severidad y unidad de medida

En vista de las variaciones de severidad que presentan los distintos tipos de falla, se han descrito tres niveles de severidad (**B**): Bajo; (**M**): Medio y (**A**): Alto.

2.5.3.6.1. Blow up - Buckling

Los blowups o buckles ocurren en tiempo cálido, usualmente en una grieta o junta transversal que no es lo suficientemente amplia para permitir la expansión de la losa. Por lo general, el ancho insuficiente se debe a la infiltración de materiales incompresibles en el espacio de la junta.

Cuando la expansión no puede disipar suficiente presión, ocurrirá un movimiento hacia arriba de los bordes de la losa (Buckling) o fragmentación en la vecindad de la junta.

También pueden ocurrir en los sumideros y en los bordes de las zanjas realizadas para la instalación de servicios públicos.

Causas posibles:

Dilatación excesiva de la losa en coincidencia con una junta de ancho insuficiente o a una obstrucción de la junta por materiales incomprensibles.

Deficiente comportamiento de las pasajuntas, por colocaciones inadecuadas o adheridas al concreto.

Aserrado tardío.

Efectos:

Entrada de agua; deficiente trabajo de la junta.

Roturas progresivas.

Rugosidad inadecuada.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: Causa una calidad de tránsito de baja severidad.

(M) - Medio: Causa una calidad de tránsito de severidad media.

(A) - Alto: Causa una calidad de tránsito de alta severidad.

Medición:

En una grieta, un blowup se cuenta como presente en una losa. Sin embargo, si ocurre en una junta y afecta a dos losas se cuenta en ambas.

Cuando la severidad del blowup deja el pavimento inutilizable, este debe repararse de inmediato.

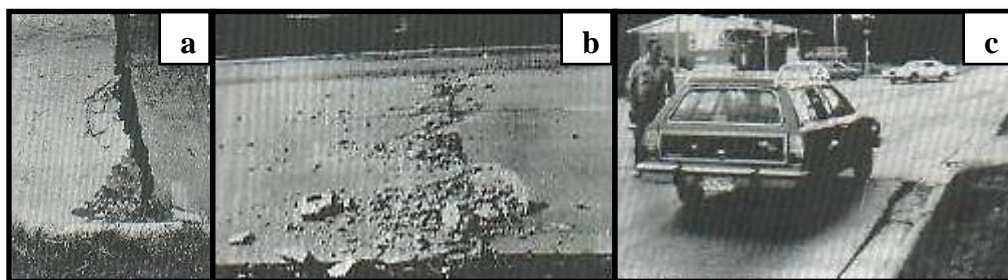
Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada. Parcheo profundo o parcial.

(M) - Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.

(A) - Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.

Figura 2.7 - Blow up - Buckling



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.6.2. Grieta de esquina

Una grieta de esquina es una grieta que intercepta las juntas de una losa a una distancia menor o igual que la mitad de la longitud de la misma en ambos lados, medida desde la esquina. Por ejemplo, una losa con dimensiones de 3,70 m por 6,10 m presenta una grieta a 1,50 m en un lado y a 3,70 m en el otro lado, está grieta no se considera grieta de esquina sino grieta diagonal; sin embargo, una grieta que intercepta un lado a 1,20 m y el otro lado a 2,40 m si es una grieta de esquina. Una grieta de esquina se diferencia de un descascaramiento de esquina en que aquella se extiende verticalmente a través de todo el espesor de la losa, mientras que el otro intercepta la junta en un ángulo. Generalmente, la repetición de cargas combinada con la pérdida de soporte y los esfuerzos de alabeo originan las grietas de esquina.

Causas posibles:

Falta de apoyo de la losa, originado por hundimiento de la subrasante.

Repetidas cargas en losas con deficiente soporte de apoyo.

Deficiente transmisión de cargas entre las juntas y esfuerzos de alabeo.

Efectos:

Escalonamiento, fracturamiento adicional de las losas.

Entrada de agua y de materiales incomprensibles.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: La grieta está definida por una grieta de baja severidad, el área entre la grieta y las juntas está ligeramente agrietada menor a 3 mm o no presenta grieta alguna.

(M) - Medio: Si la grieta presentada entre las juntas presenta aproximadamente valores entre 3 y 15 mm.

(A) - Alto: Si la grieta producida entre juntas presenta valores ≥ 15 mm o el trozo de la esquina está quebrado en dos o más pedazos.

Medición:

La losa dañada se registra como una 1 losa si:

Sólo tiene una grieta de esquina.

Contiene más de una grieta de una severidad particular.

Contiene dos o más grietas de severidades diferentes.

Para dos o más grietas se registrará el mayor nivel de severidad. Por ejemplo, una losa tiene una grieta de esquina de severidad baja y una de severidad media, deberá contabilizarse como una 1 losa con una grieta de esquina media.

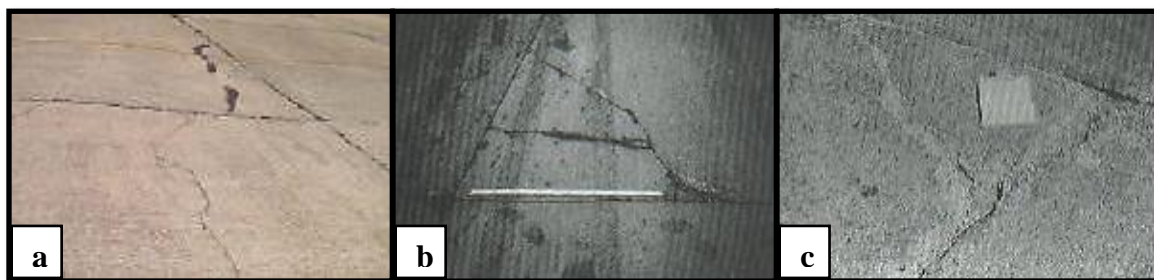
Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada. Sellado de grietas de más de 3 mm.

(M) - Sellado de grietas. Parcheo profundo.

(A) - Parcheo profundo.

Figura 2.8 - Grieta de esquina



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.6.3. Losa dividida

La losa es dividida por grietas en cuatro o más pedazos debido a sobrecarga o a soporte inadecuado. Si todos los pedazos o grietas están contenidos en una grieta de esquina, el daño se clasifica como una grieta de esquina severa.

Causas posibles:

Falta de capacidad portante de la subbase, subrasante o terracería.

Falta de espesor para el tránsito existente, sobrecargas.

Erosión de la subbase.

Efectos:

Mayor reducción de capacidad portante.

Fracturamiento adicional de las losas.

Entrada de agua y de materiales incomprensibles.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: Losa dividida en 4 a 5 piezas de baja severidad; de 6 a 8 piezas de baja severidad y 8 a más piezas de severidad media.

(M) - Medio: Losa dividida en 4 a 5 piezas de media severidad; de 6 a 8 piezas de media severidad y 8 a más piezas de severidad alta.

(A) - Alto: Losa dividida en 4 a 5 piezas de media severidad; de 6 a 8 piezas de media severidad y 8 a más piezas de severidad alta.

Medición:

Se la registra por losa deteriorada, cuando:

Una vez se ha establecido la severidad, el daño se registra como una losa.

Si la losa dividida es de severidad media o alta, no se contabiliza otro tipo de daño.

Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada, solo sellado de grietas de ancho mayor de 3 mm.

(M) - Reemplazo de la losa.

(A) - Reemplazo de la losa.

Figura 2.9 - Losa dividida



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.6.4. Grieta de durabilidad “D”

Las grietas de durabilidad “D” son causadas por la expansión de los agregados grandes debido al proceso de congelamiento y descongelamiento, el cual, con el tiempo, fractura gradualmente el concreto. Usualmente, este daño aparece como un patrón de grietas paralelas y cercanas a una junta o a una grieta lineal.

Dado que el concreto se satura cerca de las juntas y las grietas, es común encontrar un depósito de color oscuro en las inmediaciones de las grietas “D”. Este tipo de daño puede llevar a la destrucción eventual de la totalidad de la losa.

Causas posibles:

Composición, reactividad álcali-sílice de los agregados que conforman el hormigón, cuando estos se congelan y expanden.

Efectos:

Desintegración del concreto.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: Las grietas “D” cubren menos del 15 % del área. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unas pocas piezas pueden haberse desprendido.

(M) - Medio: Las grietas “D” cubren más del 15 % del área. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unos pocos pedazos se han desprendido.

(A) - Alto: Las grietas “D” cubren más del 15 % del área y la mayoría de los pedazos se han desprendido o pueden removerse fácilmente.

Medición:

Cuando el daño se localiza y se califica en una severidad, se cuenta como una losa. Si existe más de un nivel de severidad, la losa se cuenta como poseedora del nivel de daño más alto. Por ejemplo, si grietas “D” de baja y media severidad están en la misma losa, la losa se registra como de severidad media únicamente.

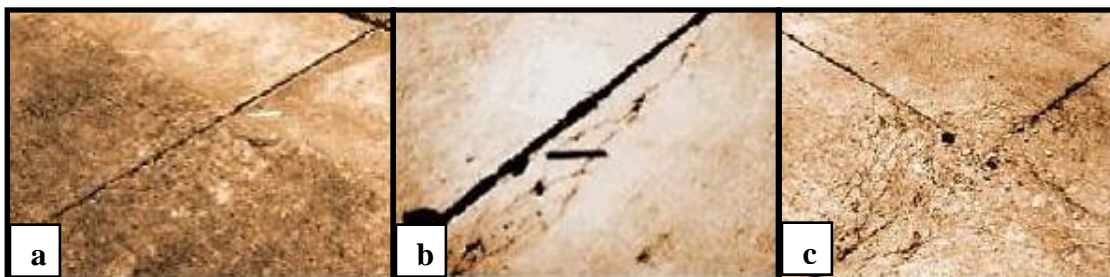
Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada.

(M) - Parcheo profundo. Reconstrucción de juntas.

(A) - Parcheo profundo. Reconstrucción de juntas. Reemplazo de la losa.

Figura 2.10 - Grieta de durabilidad "D"



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.6.5. Escalonamiento o escala

Diferencias de nivel entre losas se lo puede visualizar más claramente en los bordes de las juntas, también son apreciables en la presencia de fisuras importantes.

Causas posibles:

Asentamientos diferenciales de las capas de apoyo.

Fundación deficiente o material incorrecto.

Losas sin presencia de barras de transferencia.

Erosión del material de apoyo por efecto del fenómeno de bombeo.

Alabeo de los bordes de la losa debido a cambios de temperatura o humedad.

Efectos:

Rugosidad inadecuada.

Pueden generarse fracturas en las losas por falta de apoyo adecuado.

Generación de ruido.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: Desnivel de 3 a 10 mm.

(M) - Medio: Desnivel de 10 a 19 mm.

(A) - Alto: Desnivel mayor que 19 mm.

Medición:

La escala a través de una junta se cuenta como una losa; se cuentan únicamente las losas afectadas. Las escalas a través de una grieta no se cuentan como daño pero se consideran para definir la severidad de las grietas.

Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada. Fresado de la superficie.

(M) - Fresado de la superficie.

(A) - Fresado de la superficie.

Figura 2.11 - Escalonamiento o escala



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.6.6. Daño del sello de la junta

Es cualquier condición que permite que suelo o roca se acumule en las juntas, o que permite la infiltración de agua en forma importante. La acumulación de material incompresible impide que la losa se expanda y puede resultar en fragmentación, levantamiento o descascaramiento de los bordes de la junta.

Se considera como deterioro del sello cualquiera de los siguientes defectos: endurecimiento, despegado de una o ambas paredes, fluencia fuera de la caja, carencia total, incrustación de materias ajenas y crecimiento de vegetación.

Causas posibles:

Mala calidad del producto y del proceso de sellado.

Envejecimiento precoz del sello.

Forma inadecuada de la caja, exceso de material de sello.

Efectos:

Entrada de agua y de materiales incomprensibles.

Se impide que la losa se expanda y puede resultar en fragmentación, levantamiento o descascaramiento de los bordes de la junta.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: El sellante está en una condición buena en forma general en toda la sección. Se comporta bien, con solo daño menor.

(M) - Medio: Está en condición regular en toda la sección, con uno o más de los tipos de daño que ocurre en un grado moderado. El sellante requiere reemplazo en dos años.

(A) - Alto: Está en condición generalmente buena en toda la sección, con uno o más de los daños mencionados arriba, los cuales ocurren en un grado severo. El sellante requiere reemplazo inmediato.

Medición:

Se identifica ubicación y longitudes dañadas.

Se registra por losa y se evalúa con base en la condición total del sellante en toda el área.

Para juntas transversales indicar cuantas losas están deterioradas (Nº) y para cada una especificar el nivel de severidad del deterioro.

Para juntas longitudinales, contabilizar el número de tramos deteriorados y su longitud total (m). Indicar el nivel de deterioro que presenta cada una.

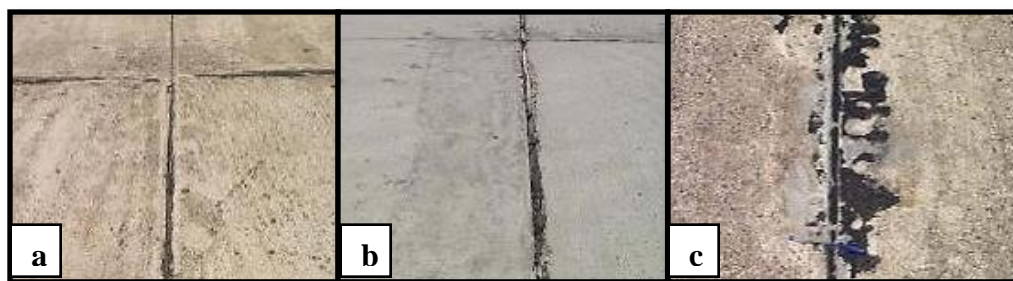
Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada.

(M) - Se procede a resellado de juntas.

(A) - Se procede a resellado de juntas.

Figura 2.12 - Daño del sello de la junta



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.6.7. Desnivel carril / berma

Es la diferencia de altura entre el borde externo del pavimento y la berma. Es la diferencia entre el asentamiento o erosión de la berma y el borde del pavimento. La diferencia de niveles puede constituirse como una amenaza para la seguridad.

Causas posibles:

Mala ejecución de las bermas no respetando el nivel del pavimento.

Asentamiento de la berma, normalmente por una compactación insuficiente.

En bermas no revestidas, principalmente por el tránsito; también por erosión de la capa superficial por agua que escurre desde el pavimento hacia el borde externo de la plataforma.

Puede ser causada por el incremento de la infiltración de agua.

Efectos:

Puede constituirse como una amenaza para la seguridad.

Acumulación de agua, posterior erosión de la berma.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: La diferencia de niveles es de 25 mm a 51 mm.

(M) - Medio: La diferencia de niveles es de 51 mm a 102 mm.

(A) - Alto: La diferencia de niveles es mayor que 102 mm.

Medición:

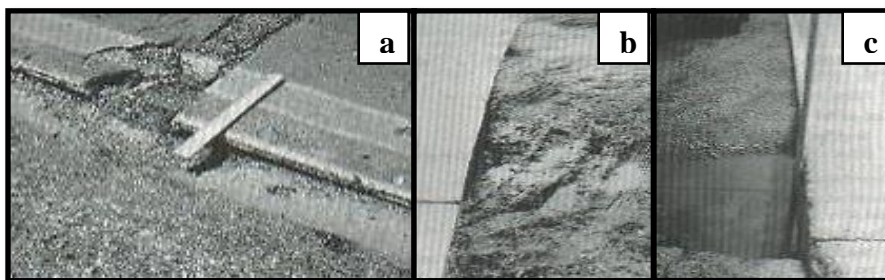
El desnivel carril / berma se calcula promediando los desniveles máximo y mínimo a lo largo de la losa.

Cada losa que exhiba el daño se mide separadamente y se registra como una losa con el nivel de severidad apropiado.

Opciones de reparación:

(B, M, A) - Para todos los grados de severidad realizar; renivelación y llenado de bermas para coincidir con el nivel del carril.

Figura 2.13 - Desnivel carril / berma



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.6.8. Grietas lineales (grietas longitudinales, transversales y diagonales)

Estas grietas, que dividen la losa en dos o tres pedazos, son causadas usualmente por una combinación de la repetición de las cargas de tránsito y el alabeo por gradiente térmico o de humedad.

Las losas divididas en cuatro o más pedazos se contabilizan como losas divididas. Comúnmente, las grietas de baja severidad están relacionadas con el alabeo o la fricción y no se consideran daños estructurales importantes.

Las grietas capilares, de pocos pies de longitud y que no se propagan en toda la extensión de la losa, se contabilizan como grietas de retracción; sin embargo cuando se refleja un escalonamiento en la fisura es posible que se deba a problemas estructurales.

Las fisuras longitudinales van, en general, paralelas a la línea central del pavimento; generalmente se extiende dividiendo la losa en dos unidades.

Las fisuras transversales son aquellas que recorren el pavimento en forma más o menos perpendicular a la línea central.

Las fisuras diagonales pueden extenderse desde una junta transversal hasta el borde del pavimento.

Causas posibles:

Ancho excesivo de la losa y espesor insuficiente.

Por circunstancias climáticas puede producir alabeo por gradiente térmico o de humedad.

Asentamiento lateral de las capas de apoyo de la losa.

Acción de repetición de las cargas del tránsito pesado.

Losas de longitud excesiva.

Junta de contracción aserrada o formada tardíamente.

Bajo soporte de la subrasante o cargas excesivas.

Efectos:

Escalonamiento.

Fracturamiento transversal adicional de las losas.

Entrada de agua por las grietas.

Entrada de materiales incomprensibles.

Fracturamiento adicional de las losas.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: Grietas ancho < 3 mm, sin saltaduras y escalonamiento imperceptible.

(M) - Medio: $3 <$ ancho grieta < 10 mm, escalonamiento < 15 mm.

(A) - Alto: Grietas ancho > 10 mm, escalonamiento > 15 mm.

Medición:

Una vez se ha establecido la severidad, el daño se registra como una losa. Si dos grietas de severidad media se presentan en una losa, se cuenta dicha losa como una poseedora de grieta de alta severidad.

Las losas divididas en cuatro o más pedazos se cuentan como losas divididas.

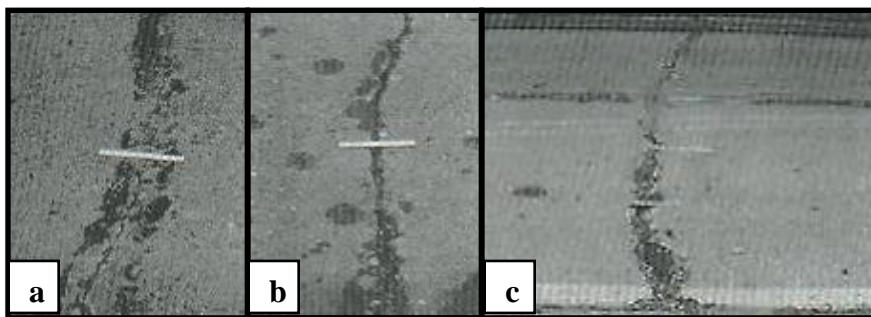
Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada. Sellado de grietas más anchas que 3,0 mm.

(M) - Sellado de grietas.

(A) - Sellado de grietas, parcheo profundo y reemplazo de la losa.

Figura 2.14 - Grietas lineales en losa de concreto simple



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.6.9. Parche grande (mayor de 0,45 m²)

Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por material nuevo. Una excavación de servicios públicos es un parche que ha reemplazado el pavimento original para permitir la instalación o mantenimiento de instalaciones subterráneas.

Causas posibles:

Áreas correspondientes a baches o a zonas muy fracturadas, depresiones o con defectos superficiales, que han sido deficientemente reparadas.

Es ocasionado por la instalación de servicios públicos destruyendo el pavimento original.

Efectos:

Rugosidad deficiente.

Infiltración de agua o materiales incomprensibles.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño.

(M) - Medio: El parche esta moderadamente deteriorado o moderadamente descascarado en sus bordes. El material del parche puede ser retirado con esfuerzo considerable.

(A) - Alto: El parche está muy dañado. El estado de deterioro exige remplazo.

Medición:

Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad.

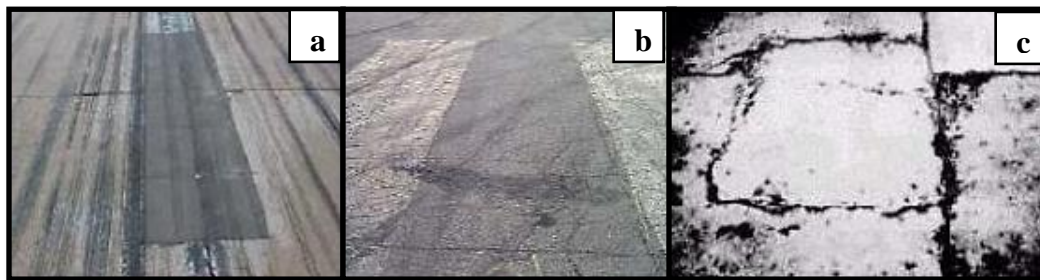
Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada.

(M) - Sellado de grietas, remplazo del parche correspondientemente.

(A) - Remplazo del parche.

Figura 2.15 - Parche grande (mayor de 0,45 m²)



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.7.0. Parche pequeño (menor de 0,45 m²)

Es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por un material de relleno.

Causas posibles:

Áreas correspondientes a baches o a zonas muy fracturadas, depresiones o con defectos superficiales, que han sido deficientemente reparadas, generando superficies irregulares.

Efectos:

Mal parchado provoca infiltración de agua y materiales incomprensibles.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño.

(M) - Medio: El parche está moderadamente deteriorado. El material del parche puede ser retirado con esfuerzo considerable.

(A) - Alto: El parche está muy dañado. El estado de deterioro exige reemplazo.

Medición:

Si una losa tiene uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se cuenta como una losa que tiene ese daño.

Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad.

Si la causa del parche es más severa, únicamente el daño original se cuenta.

Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada.

(M) - No se hace nada. Reemplazo del parche.

(A) - Reemplazo del parche.

Figura 2.16 - Parche pequeño (menor de 0,45 m²)



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.7.1. Pulimento de agregados

Este daño se causa por aplicaciones repetidas de cargas del tránsito. Cuando los agregados en la superficie se vuelven suaves al tacto, se reduce considerablemente la adherencia con las llantas.

Cuando la porción del agregado que se extiende sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye significativamente a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados que se extiende sobre el concreto es despreciable y suave al tacto. Este tipo de daño se reporta cuando el resultado de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha disminuido significativamente respecto a evaluaciones previas.

Causas posibles:

Agregados susceptibles al pulimento.

Texturizado mal ejecutado.

Hormigón mal dosificado o mala calidad de la arena.

Exceso de mortero en la superficie por mucha vibración o mala dosificación.

Efectos:

Reducción del coeficiente de fricción.

Grado de severidad:

No se definen grados de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de incluirlo en un inventario de la condición y calificarlo como un defecto.

No pueden establecerse a partir sólo de una inspección visual; debe graduarse en función de la reducción que experimente la resistencia al deslizamiento (coeficiente de fricción).

Medición:

Una losa con agregado pulido se cuenta como una losa.

Opciones de reparación:

(B, M, A) - Realizar un ranurado de la superficie. Sobrecarpeta.

Figura 2.17 - Pulimento de agregados



Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.7.2. Popouts o desprendimientos superficiales

Es un pequeño pedazo de pavimento que se desprende de la superficie del mismo. Varían en tamaño con diámetros entre 25,0 mm y 102,0 mm y en espesor de 13,0 mm a 51,0 mm.

Causas posibles:

Contaminación de la mezcla de hormigón con partículas blandas o fragmentos de madera, plásticos y desgastados por el tránsito.

Efectos:

Formación de cavidades o huecos en la superficie del pavimento.

Grado de severidad:

No se definen grados de severidad. Sin embargo, los desprendimientos deben ser extensos antes que se registre como un daño. La densidad promedio debe exceder aproximadamente tres por metro cuadrado en toda el área de la losa, para el registro.

Medición:

Establecer la cantidad (Nº) de huecos y la superficie (m²) de cada uno de ellos.

Debe medirse la densidad del daño. Si existe alguna duda de que el promedio es mayor que tres desprendimientos por metro cuadrado, deben revisarse al menos tres áreas de un metro cuadrado elegidas al azar. Cuando el promedio es mayor que dicha densidad, debe contabilizarse la losa.

Opciones de reparación:

(B, M, A) - Se procede al sellado de las cavidades.

Figura 2.18 - Popouts o desprendimientos superficiales



Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.7.3. Bombeo

El bombeo es la expulsión de material de la fundación de la losa a través de las juntas o grietas. Esto se origina por la deflexión de la losa debida a las cargas.

Cuando una carga pasa sobre la junta entre las losas, el agua es primero forzada bajo losa delantera y luego hacia atrás bajo la losa trasera. Esta acción erosiona y eventualmente remueve las partículas de suelo lo cual generan una pérdida progresiva del soporte del pavimento.

El bombeo puede identificarse por manchas en la superficie y la evidencia de material de base o subrasante en el pavimento cerca de las juntas o grietas. El bombeo cerca de las juntas es causado por un sellante pobre de la junta e indica la pérdida de soporte; eventualmente, la repetición de cargas producirá grietas.

Causas posibles:

Efecto del tránsito y del agua infiltrada sobre losas apoyadas en materiales con finos plásticos.

El fenómeno es especialmente activo cuando la transmisión de las cargas entre losas es inadecuado.

Efectos:

Formación de oquedades bajo la losa.

Agrietamientos excesivos.

Rugosidad inadecuada.

Escalonamientos.

Grado de severidad:

No se definen grados de severidad. Es suficiente indicar la existencia.

Medición:

El bombeo de una junta entre dos losas se contabiliza como una losa.

Sin embargo, si las juntas restantes alrededor de la losa tienen bombeo, se agrega una losa por junta adicional con bombeo.

Opciones de reparación:

(B, M, A) - Sellado de juntas y grietas. Restauración de la transferencia de cargas. Instalar drenes de pavimento.

Figura 2.19 - Bombeo



Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.7.4. Punzonamiento

Este daño es un área localizada de la losa que está rota en pedazos. Puede tomar muchas formas y figuras diferentes pero, usualmente, está definido por una grieta y una junta o dos grietas muy próximas, usualmente con 1,52 m entre sí.

Causas posibles:

Repetición de cargas pesada.

Espesor inadecuado de la losa.

Perdida de soporte de la fundación.

Deficiencia localizada de construcción del concreto (hormigueros).

Efectos:

Rugosidad deficiente.

Infiltración de agua o materiales incomprensibles.

Mala apariencia.

Escalonamientos.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: De 2 a 3 piezas de baja severidad.

(M) - Medio: De 4 a 5 piezas de media severidad.

(A) - Alto: De más de 5 piezas de severidad alta.

Medición:

Si la losa tiene uno o más punzonamientos, se contabiliza como si tuviera uno en el mayor nivel de severidad que se presente.

Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada, solo sellado de grietas.

(M) - Parcheo profundo.

(A) - Parcheo profundo.

Figura 2.20 - Punzonamiento



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.7.5. Cruce de vía férrea

El daño de cruce de vía férrea se caracteriza por depresiones o abultamientos alrededor de los rieles.

Causas posibles:

Depresiones, abultamientos.

Presencia de defectos superficiales.

Efectos:

Rugosidad deficiente.

Mala apariencia.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: Nos ocasiona calidad de tránsito de baja severidad.

(M) - Medio: Nos ocasiona calidad de tránsito de severidad media.

(A) - Alto: Nos ocasiona calidad de tránsito de alta severidad.

Medición:

Se registra el número de losas atravesadas por los rieles de la vía férrea.

Cualquier gran abultamiento producido por los rieles debe contarse como parte del cruce.

Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada.

(M) - Parcheo parcial de aproximación, reconstrucción del cruce.

(A) - Parcheo parcial de aproximación, reconstrucción del cruce.

Figura 2.21 - Cruce de vía férrea



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.7.6. Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado

El desconchamiento, mapa de grietas o craquelado se refiere a una red de grietas superficiales, finas o capilares, que se extienden únicamente en la parte superior de la superficie del concreto. Las grietas tienden a interceptarse en ángulos de 120 grados.

Generalmente, este daño ocurre por exceso de manipulación en el terminado y puede producir el descamado, que es la rotura de la superficie de la losa a una profundidad aproximada de 6,0 mm a 13,0 mm.

Causas posibles:

Mala dosificación del concreto o mala calidad de la arena.

Exceso de mortero en la superficie por demasiada vibración.

Exceso de manipulación en el terminado.

Incorrecta construcción y agregados de mala calidad.

Efectos:

Rugosidad inadecuada.

Desescamado de la superficie del pavimento.

Mala apariencia.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: El craquelado se presenta en la mayor parte del área de la losa; la superficie está en buena condición con solo un descamado menor presente.

(M) - Medio: La losa está descamada, pero menos del 15 % de la losa está afectada.

(A) - Alto: La losa esta descamada en más del 15 % de su área.

Medición:

Una losa descamada se contabiliza como una losa.

El craquelado de baja severidad debe contabilizarse únicamente si el descamado potencial es inminente, o unas pocas piezas pequeñas se han salido.

Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada.

(M) - No se hace nada. Reemplazo de la losa.

(A) - Parcheo profundo o parcial. Reemplazo de la losa. Sobrecarpeta.

Figura 2.22 - Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.7.7. Grietas de retracción

Son grietas capilares limitadas sólo a la superficie del pavimento, usualmente de unos pocos centímetros de longitud, no se extienden a lo largo de toda la losa y se encuentran interconectadas por grietas más finas distribuidas en forma aleatoria.

Se forman durante el fraguado y curado del concreto y generalmente no se extienden a través del espesor de la losa.

Causas posibles:

Ocurre por exceso de manipulación en el terminado.

Curado del hormigón inapropiado.

Exceso de amasado superficial y/o adición de agua durante el alisado de la superficie.

En zonas de clima frío; acción del clima o de productos químicos cuando el hormigón fue mal construido.

Efectos:

Puede producir el agrietamiento y posterior descamado.

La terminación manual excesiva traerá el agua a la superficie y puede afectar la lisura superficial y la durabilidad del concreto.

Grado de severidad:

No se definen niveles de severidad. Basta con indicar que están presentes.

Medición:

Si una o más grietas de retracción existen en una losa en particular, se cuenta como una losa con grietas de retracción.

Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada.

(M) - No se hace nada.

(A) - Sellado de grietas.

Figura 2.23 - Grietas de retracción



Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.7.8. Descascaramiento de esquina

Es la rotura mínima de la losa en la esquina, son considerados daños mínimos. Un descascaramiento de esquina difiere de la grieta de esquina en que el descascaramiento usualmente buza hacia abajo para interceptar la junta, mientras que la grieta se extiende verticalmente a través de la esquina de losa.

Un descascamiento menor que 127 mm, medidos en ambos lados desde la grieta hasta la esquina no deberá registrarse.

Causas posibles:

Procesos de acabado deficiente.

Errores en la operación de terminadora.

Mal proceso de aserrado de juntas.

Efectos:

Oquedades el pavimento.

Entrada de agua y materiales incomprensibles.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: Profundidad de la grieta de esquina < 25 mm.

(M) - Medio: Profundidad de la grieta de esquina > 25 mm hasta 51 mm.

(A) - Alto: Profundidad de la grieta de esquina > 51 mm.

Medición:

Si en una losa hay una o más grietas con descascamiento con el mismo nivel de severidad, la losa se registra como una losa con descascamiento de esquina.

Si ocurre más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad.

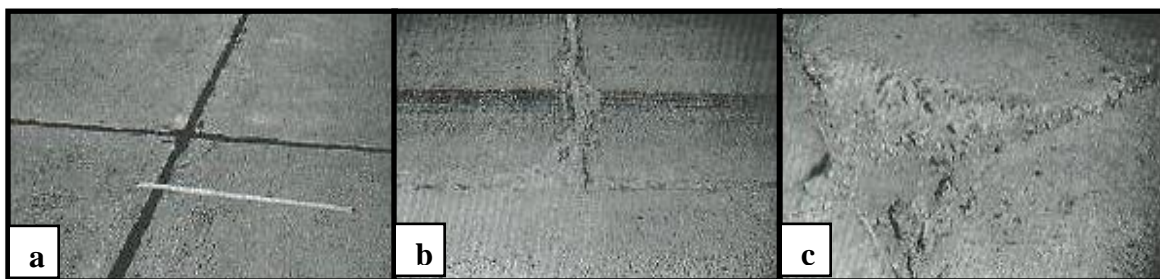
Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada.

(M) - Se hace un parcheo parcial.

(A) - Se hace un parcheo parcial.

Figura 2.24 - Descascaramiento de esquina



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.7.9. Descascaramiento de junta

Fracturamiento o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0,60 m de una junta o de una esquina. Por lo general, no se extienden verticalmente a través de la losa sino que intercepta la junta en ángulo.

Causas posibles:

Esfuerzos excesivos en la junta causados por las cargas de tránsito.

Debilitamiento de los bordes de la junta por acabado, manipulación excesiva.

Presencia de materiales incomprensibles en el interior de la junta.

Efectos:

Entrada de agua y de materiales incomprensibles.

Desportillamientos progresivos.

Destrucción del sello de junta.

Grado de severidad:

(B) - Bajo: Pequeños fracturamientos a menos de 80 mm de cada lado de la junta; forman pequeñas piezas que se mantienen firmes, fallas solo ocasionales.

(M) - Medio: Fracturas se extienden a lo largo de la junta, forma trozos sueltos, algunos removidos, profundidad < 25 mm.

(A) - Alto: Fracturas a lo largo de la junta a > 80 mm a cada lado de la misma, trozos removidos y afectan una profundidad > 25 mm.

Medición:

Si el descascaramiento se presenta a lo largo del borde de una losa, esta se cuenta como una losa con descascaramiento de junta.

Si está sobre más de un borde de la misma losa, el borde que tenga la mayor severidad se cuenta y se registra como una losa.

El descascaramiento de junta también puede ocurrir a lo largo de los bordes de dos losas adyacentes. Si este es el caso, cada losa se contabiliza con descascaramiento de junta.

Opciones de reparación:

(B) - No se hace nada.

(M) - Parcheo parcial.

(A) - Parcheo parcial, reconstrucción de la junta.

Figura 2.25 - Descascaramiento de junta



Nivel de severidad - (a) Baja, (b) Media y (c) Alta

Fuente: Manual de daños para evaluación de pavimentos con superficies de concreto asfáltico (Shahin, M. Y.)

2.5.3.7. Evaluación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

La serviciabilidad funcional del pavimento interpreta la percepción de la calidad de la superficie de rodadura que experimenta el usuario; se relaciona fundamentalmente con el estado de deterioro y con la regularidad que presenta la superficie del pavimento.

AASHTO Road Test (1955 - 1960), fue la primera en sistematizar un procedimiento objetivo para establecer el nivel de deterioro de los pavimentos, procurando relacionar la condición funcional con la estructural. Introdujo para ello el concepto de serviciabilidad, derivado de una encuesta efectuada en la década del 60 en la llamada prueba de carreteras, entre usuarios de carreteras en los Estados Unidos.

Los resultados de la encuesta fueron luego correlacionados con el estado real de deterioro que presentaban los pavimentos evaluados, ligando de esta manera la condición funcional con la estructural y convirtiéndolo así en un indicador objetivo, el índice de serviciabilidad de un pavimento. Los pavimentos fueron calificados con notas cuyos valores extremos variaban desde 0, para un camino intransitable, hasta 5 para una superficie en perfectas condiciones.

Tabla 2.6 - Índices de serviciabilidad de referencia

CONDICIÓN	ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE "PSI"
Pavimento de hormigón nuevo.	4,5
Pavimento asfáltico nuevo.	4,2
Nivel de restauración más exigente.	2,5
NIVEL INACEPTABLE SEGÚN PANEL AASHTO	
Para el 12 % de los encuestados.	3,0
Para el 55 % de los encuestados.	2,5
Para el 85 % de los encuestados.	2,0

La Tabla muestra valores de referencia para el PSI, tal como lo define AASHTO.

Fuente: AASHTO Road Test (1955 - 1960)

El PSI se define como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios, en esencia significa la habilidad de una sección o parte de un pavimento para servir al tráfico en condiciones favorables. Está basado en las condiciones geométricas de la sección del pavimento, fundamentalmente en la rugosidad superficial así como en la cuantía de las fallas en la superficie del pavimento.

Es la combinación matemática de valores obtenidos de ciertas medidas físicas de una cantidad importante de secciones de carreteras, que permiten predecir el promedio.

La principal característica operacional de un pavimento es el nivel de servicio que provee a los usuarios, tanto hoy como en el futuro. Es importante medir este nivel de servicio para:

Establecer la condición actual del pavimento.

Predecir los cambios de esa condición en el futuro.

2.5.3.7.1. Rangos de calificación del PSI

A continuación se muestra una tabla presentada por el banco mundial para carreteras, para la calificación del estado de servicio.

Tabla 2.7 - Calificación de la serviciabilidad según el valor del PSI

VALOR DEL ÍNDICE DE SERVICIO PRESENTE "PSI"	TRANSITABILIDAD SERVICIO O PERFORMANCE
4 - 5	Muy bueno
3 - 4	Bueno
2 - 3	Regular
1 - 2	Malo
0 - 1	Muy malo

Fuente: Banco mundial para carreteras

2.5.3.7.2. Procedimiento de evaluación de la serviciabilidad del pavimento

La evaluación a realizar para efectos prácticos, considera el registro de datos como la base metodológica principal a desarrollar a partir de la inspección visual del pavimento, debiéndose hacer las anotaciones de lo observado mientras se maneja o camina sobre el tramo en estudio, en la Tabla 2.8 se ilustra el modelo de la planilla de recolección de datos adoptado para el presente método.

Dentro de los valores o coeficientes de apreciación de la superficie del pavimento a ser inspeccionados están:

1. Rugosidad longitudinal del pavimento rígido.
2. Intensidad de grietas y parches en el pavimento rígido.
3. Deformación transversal del pavimento rígido.

A continuación se describen en forma resumida los pasos a seguir para efectuar el proceso de recolección, registro y procesamiento de valores de apreciación de la superficie del pavimento; todo esto mediante la inspección visual, revisión de valores de rugosidad del tramo en estudio.

Inspección visual de las vías: Para tal efecto, se efectuará un recorrido de la vía a estudiar, con la finalidad de obtener información sistematizada para lo cual será necesario seleccionar o subdividir en secciones de características y condiciones homogéneas.

Si se observan diferencias significativas, como cambios en la superficie de rodadura se procede al registro de las apreciaciones correspondientes a la rugosidad longitudinal para cada sección.

Para efectos de ayudar en el manejo de la información y obtener una imagen completa de la sección de estudio, las secciones serán subdivididas en unidades de inspección, basados en la metodología empleada por el PCI.

Observación de fallas: De la misma manera que en el paso anterior, se procede a la división del tramo en estudio en secciones y estos en unidades de inspección.

Si se observan diferencias significativas, como cambios en la superficie de rodadura se procede al registro de las apreciaciones correspondientes a la intensidad de grietas - parches y deformación transversal para cada sección.

Para un eficaz registro de apreciaciones de la superficie, se procede a observar los valores encontrados por el PCI, realizando comparaciones para un correcto análisis del estado del pavimento.

Registro en planilla de evaluación: Se deberá efectuar registro de todo lo observado en el recorrido de la inspección visual, anotando todas las apreciaciones presentadas en el pavimento, representados por coeficientes de valoración.

Tabla 2.8 - Planilla de muestreo de datos - Método PSI

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”						
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE (PSI)						
CARRETERAS CON SUPERFICIE DE CEMENTO HIDRÁULICO						
Nombre de la Vía:						
Realizado por:						
Fecha:						
Abscisa Inicial:					N° de Muestra:	
Abscisa Final:					N° de Losas:	
PROGRESIVAS		UNIDAD DE MUESTRA	N° LOSAS	“C ₁ ”	“C ₂ ”	“C ₃ ”
INICIAL	FINAL					

Fuente: Elaboración propia

2.5.3.7.3. Metodología para el cálculo del PSI

El índice de serviciabilidad presente da una orientación sobre el estado del pavimento desde el punto de vista del usuario, por lo que es necesario que se exprese el estado de la superficie del pavimento en términos de serviciabilidad.

El método utilizado en el presente trabajo es el más práctico puesto que expresa el estado de la superficie en términos de severidad y los coeficientes de acuerdo a apreciaciones en el terreno; se los identifica según los criterios del proyectista.

Un método práctico desarrollado por los ensayos de la AASHO para pavimentos flexibles y rígidos es la utilización de la siguiente ecuación:

$$PSI = 6,20 - 0,8 * C_1 - 0,3 * C_2 - 0,1 * C_3$$

Donde: C₁, C₂, C₃, son apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento de acuerdo a la siguiente escala ver Tabla 2.9.

Tabla 2.9 - Coeficientes de estado del pavimento rígido

RUGOSIDAD LONGITUDINAL	VALOR “C₁”
Perfectamente lisa	1
Algo rugosa	2
Medianamente rugosa	3
Rugosidad alta	4
Extremadamente rugosa	5
INTENSIDAD DE GRIETAS Y PARCHES	VALOR “C₂”
Ausencia de grietas	1
Grietas y parches escasos	2
Fuertemente agrietado y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4
DEFORMACIÓN TRANSVERSAL	VALOR “C₃”
Sin deformidad, ni ahullamiento	1
Medianamente deformado y ahuellado	2
Fuertemente deformado y ahuellado	3

Fuente: AASHTO Road Test (1955 – 1960)

Para el cálculo del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) de la sección del pavimento se utiliza la siguiente expresión:

$$\overline{\text{PSI}} = \frac{\sum \text{PSI}_i}{n}$$

Donde:

PSI_i = PSI de cada unidad evaluada.

n = Número de unidades existentes en la sección.

Tabla 2.10 - Planilla de muestreo de datos - Método PSI

MUESTRA	N° LOSAS	ABS. INI.	ABS. FIN.	“C₁”	“C₂”	“C₃”	PSI

Fuente: Elaboración propia

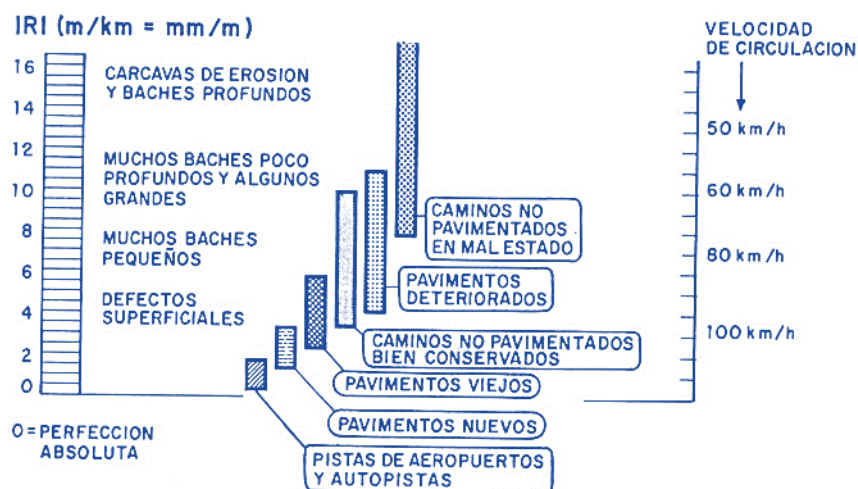
2.5.3.8. Evaluación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

En la actualidad, a fin de poder comparar las medidas realizadas con equipos diferentes, se está imponiendo el empleo del IRI (Índice Internacional de Rugosidad), establecidos a partir de estudios auspiciados por el banco mundial (1986). Para definir el IRI se emplea un modelo matemático que simula la suspensión y masas de un vehículo circulando por

un tramo de carretera a una velocidad de 80 km/h. Este modelo se denomina QCS (Quarter Car Simulation), o simplemente QI (Quarter Index), dado que representa la cuarta parte de un vehículo de cuatro ruedas o un remolque de una sola rueda.

El IRI en un punto de una carretera se define como el cociente entre el desplazamiento relativo acumulado por la suspensión del vehículo tipo y la distancia recorrida por dicho vehículo. Se expresa en milímetros por metro o metros por kilómetro. Valores inferiores a 2 mm/m representan una magnífica regularidad superficial para todo tipo de carreteras; para carreteras secundarias, de velocidad específica en torno a los 80 km/h, basta que el IRI sea inferior a 5 mm/m (Fig. 2.26).

Figura 2.26 - Escala IRI



Permite evaluar las características superficiales y la velocidad confortable para la conducción de la carretera en función de la rugosidad

Fuente: Banco mundial (1986)

2.5.3.8.1. Rangos de calificación del IRI

Con el objeto de conocer valores del Índice de Rugosidad Internacional IRI, establecidos en diferente países como ser: Estados Unidos, España, Chile, Perú, Honduras, Uruguay; etc.; a partir del estudio realizado por el Banco Mundial en 1982, se propuso una escala de medición de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías para recepción de obras y evaluación del estado de la carretera.

Tabla 2.11 - Escala de valores de rugosidad para pavimentos

Carreteras, autopistas y aeropuertos	0 - 2,0
Pavimentos nuevos	1,5 - 3,5
Pavimentos viejos	2,5 - 6,0
Carreteras sin pavimentar	3,5 - 10,0
Pavimentos deteriorados	4,0 - 11,0
Carreteras sin pavimentar deteriorados	8,0 para adelante

Fuente: Banco mundial para carreteras

2.5.3.8.2. Procedimiento de evaluación de la rugosidad del pavimento

Para llevar adelante este método de evaluación, se utilizara el software denominado “INPACO” del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca de Colombia.

Previo a la utilización de este programa, se debe realizar la nivelación con mira y nivel, del tramo total o sub tramos escogidos para el estudio, con el fin de obtener las cotas del perfil de la superficie del pavimento, pues estos son esenciales para la ejecución del programa.

El software para determinar el IRI hace uso del programa: IRI método (mira y nivel), este programa está conformado por 6 módulos, a saber:

Delta X (DX)
Identificación del tramo ()
Entrada información
Cálculo IRI
Gráfica
Imprimir información
Terminar

Fuente: Elaboración propia

1. DELTA X (DX)

Es la parte del programa que permite escoger el incremento en el abscisado de los datos de nivelación. Se dispone de los siguientes deltas en el programa:

50 mm.
100 mm.
152,4 mm. (0,5 ft).
166,7 mm.
200 mm.
250 mm.
304,8 mm. (1,0 ft).
333,3 mm.
500 mm.
609,6 mm. (2,0 ft).

Fuente: Elaboración propia

2. IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO

Este módulo es el encargado de entrar las características esenciales del tramo de análisis. Estas características son:

Código tramo
Nombre del tramo
Abscisa inicial y final

Fuente: Elaboración propia

La abscisa inicial y final corresponde al inicio y fin del tramo, la longitud máxima del tramo depende del Delta escogido de acuerdo al siguiente cuadro:

Delta (mm)	Longitud máxima (m)
50	800
100	1600
152,4	2438
166,7	2667
200	3200
250	4000
304,8	4876
333,3	5332
500	8000
609,6	9753

Fuente: Elaboración propia

3. ENTRADA DE INFORMACIÓN

Esta parte del programa dará la posibilidad de entrada de las cotas por abscisa de la nivelación.

4. CÁLCULO DEL IRI

Se calculará el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) teniendo en cuenta la información digitada anteriormente. En la pantalla aparecerá la siguiente información, la cual identifica el proceso de cálculo necesario para encontrar el valor del IRI.

Delta X = Delta escogido.

Número total de datos = Es la cantidad de abscisas existentes en el tramo.

Z₁, Z₂, Z₃, Z₄, Y, ΣRS_i = Variables requeridas por el sistema.

IRI = Valor del Índice de Rugosidad Internacional calculado.

5. GRÁFICA

Sacará una gráfica del perfil del tramo con 2 ejes coordenados (X - Abscisas y Y - Cotas), dando la posibilidad definir límites superior e inferior.

6. IMPRIMIR INFORMACIÓN

Se obtendrá un listado por impresora de todos los datos digitados anteriormente, el IRI (Índice de Rugosidad Internacional) encontrado debe ser analizado de acuerdo a la Fig.

La evaluación estructural de los pavimentos ha ido variando con el tiempo en función de los avances tecnológicos, requiriendo cada vez un mejor rendimiento de trabajo, una recolección sistemática de los parámetros del pavimento y menor daño físico y operacional al pavimento en estudio.

Dentro de las mediciones realizadas en la evaluación estructural habrá que considerar los siguientes aspectos ya que pueden inducir errores al interpretar los resultados:

Temperatura. Será necesario realizar ajustes en las deflexiones en base a la temperatura bajo las que se realizaron los ensayos y se observara cual es el comportamiento térmico del pavimento.

Humedad. Esta afecta a las bases, subbases y subrasantes, ya que algunos de los materiales componentes de las mismas tienen una gran susceptibilidad a dicha humedad.

2.5.4.1. Medición de deflexiones

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento rígido, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado “Viga Benkelman”. Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quien la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la WASHO (WASHO Road Test). Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos rígidos, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

2.5.4.2. La Viga Benkelman

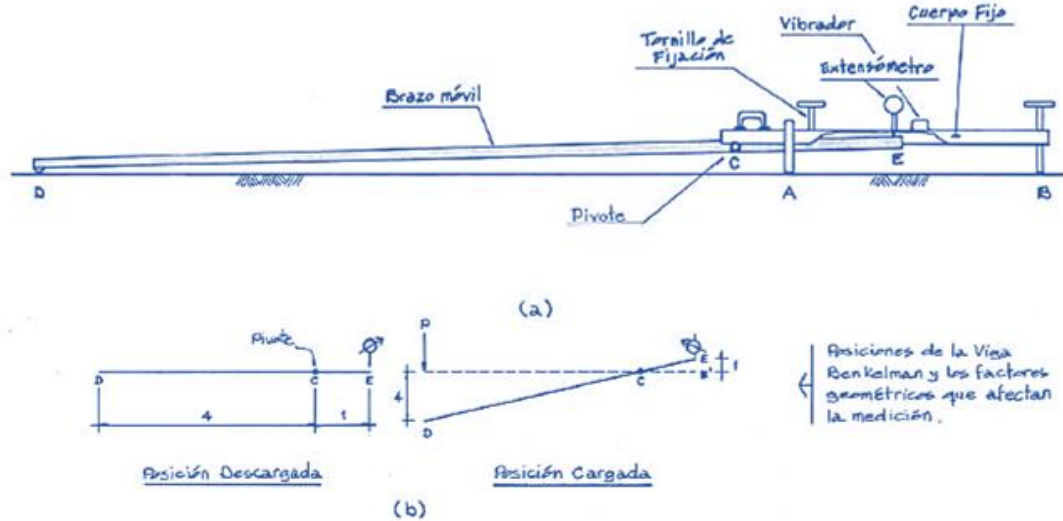
El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la Figura 2.27, la viga consta esencialmente de dos partes: **(1)** Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos “A” y uno trasero regulable “B”) y **(2)** Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote “C”, uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto “D”) y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto “E”).

Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

El extremo “D” o “punta de la viga” es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo “DE” gira en torno al punto fijo “C”, con respecto al cuerpo “AB”, determinando que el extremo “E” produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto “D” se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro.

La operación expuesta representa el “principio de medición” con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son solo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto “D” de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto “D” al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (ver Figura 2.27).

Figura 2.27 - Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman



*Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexión
Mario S. Hoffman - Pablo M. del Águila*

2.5.4.3. Equipo y metodología para la medición de las deflexiones en los pavimentos

2.5.4.3.1. Viga Benkelman

2.5.4.3.2. Equipo requerido

El equipo mínimo para la realización de ensayos de medición de deflexiones es el siguiente:

Deflectómetro Viga Benkelman.

Camión cargado con eje trasero de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 Psi.

Vehículo auxiliar para transportar el personal y equipo misceláneo (camioneta).

Balanza portátil para pesaje de camión, con capacidad de 10 toneladas.

Accesorios de medición y varios (cinta métrica, hojas de campo, señales de seguridad, termómetro, etc.).

2.5.4.3.3. Procedimiento de la medición

Carga y pesaje de la volqueta, debe tener un peso en el eje trasero de 8,2 Ton. (18000 Lb) puede tener una variación en el orden de ± 1 %.

Verificación de inflado de las llantas a 80 Psi.

Posicionamiento de la volqueta en el punto a ensayar, las ruedas gemelas deben estar situados sobre la huella de circulación de los vehículos.

Centrado del extremo delantero de la Viga Benkelman en la proyección vertical del centro de gravedad del eje trasero de la volqueta, debe situarse en el medio del par de ruedas (ver Figura 2.28, punto “D”).

Nivelación de la viga, colocación del extensómetro y puesta en cero del mismo, esta posición se asumirá como 100 o 200.

Colocar la regla en la rasante haciendo coincidir el “0” con la proyección vertical del eje de la rueda trasera.

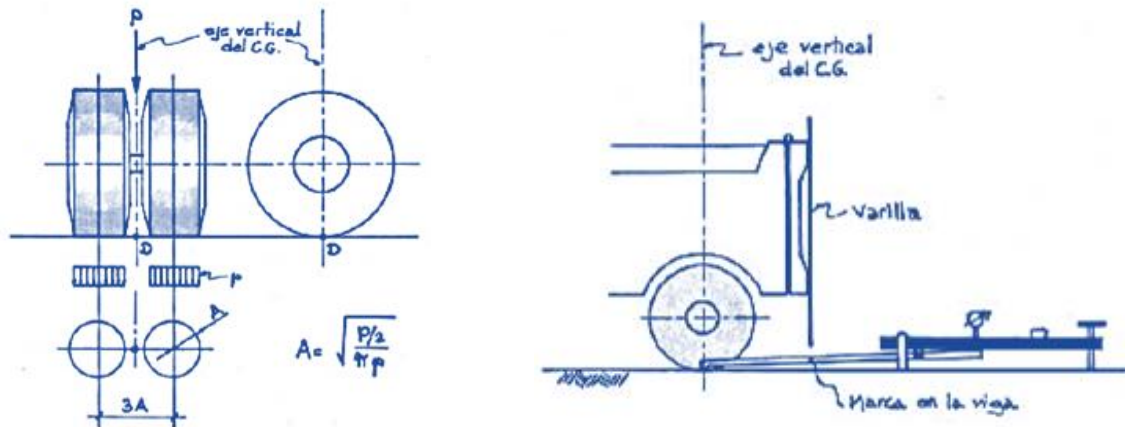
Ordenar el avance del camión a muy baja velocidad, la velocidad recomendada es de 1 cm/seg.

Anotar las lecturas del dial en el estado inicial (deflexión máxima), a 0,25 m y cuando el pavimento este totalmente libre de deflexión (> 5 m).

Tomar la temperatura del pavimento para cada ensayo.

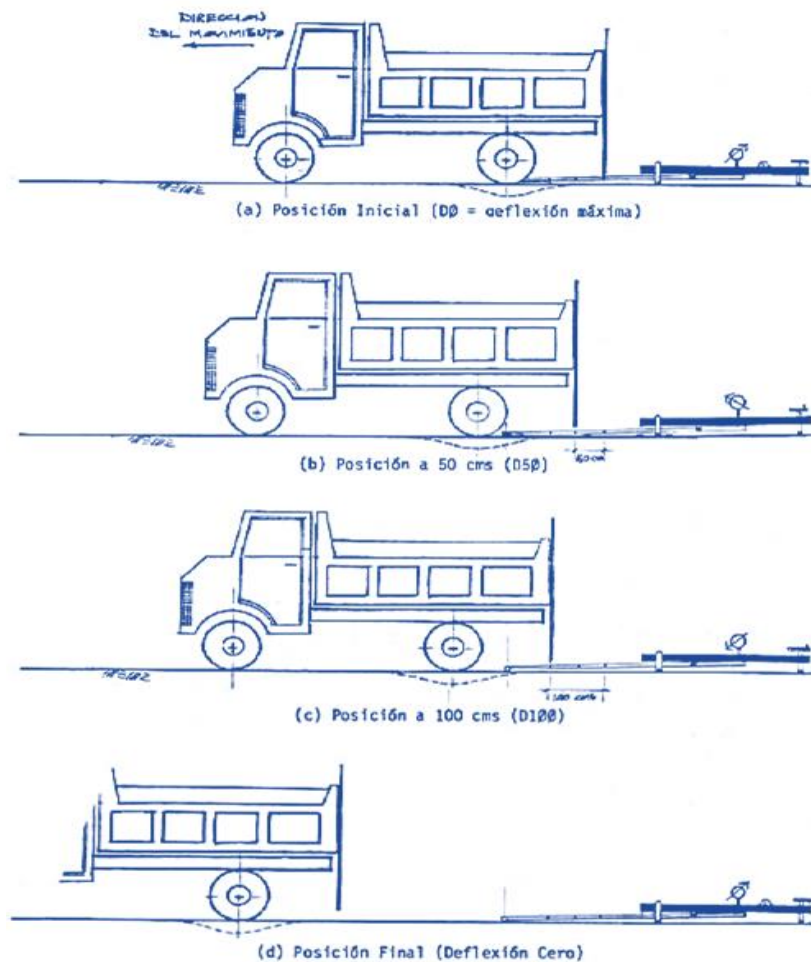
Repetir este procedimiento en cada uno de los puntos de ensayo.

Figura 2.28 - Principio de operación de la Viga Benkelman



Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexión
Mario S. Hoffman - Pablo M. del Águila

Figura 2.29 - Esquema del proceso de medición de la Viga Benkelman



Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexión
Mario S. Hoffman - Pablo M. del Águila

2.5.4.3.4. Metodología de cálculo

Cálculo de la deflexión máxima

$$D_0 = K * [L_0 - L_f]$$

Donde:

D_0 = Deflexión máxima.

K = Constante de la Viga Benkelman depende de la relación de brazos y de la calibración.

L_0 = Lectura inicial.

L_f = Lectura final.

Deflexión media a la distancia

$$D_{25} = K * [L_{25} - L_f]$$

Donde:

D_{25} = Deflexión media a la distancia (deflexión a los 0,25 m).

K = Constante de la Viga Benkelman depende de la relación de brazos y de la calibración.

L_{25} = Lectura a 0,25 m de la posición inicial.

L_f = Lectura final.

Corrección por temperatura

El asfalto tiene un comportamiento visco - elástico, por tanto las deflexiones son afectadas directamente por la temperatura, por lo tanto deben estar corregidas en función a la temperatura media de la capa de rodadura durante la ejecución del ensayo que varía a lo largo del día.

Para llevar todas las mediciones a una temperatura standard de 20 °C se emplea la siguiente ecuación:

$$D_{20} = \frac{D_t}{k * [t - 20 \text{ } ^\circ\text{C}] * e + 1}$$

Donde:

D_{20} = Deflexión a la temperatura standard, (20 °C).

D_t = Deflexión a la temperatura, (t).

k = Coeficiente de temperatura, (1×10^{-3} °C/cm).

t = Temperatura del pavimento medida para cada ensayo.

e = Espesor de la carpeta de rodadura, (cm).

Corrección por estacionalidad

La correcta medición de las deflexiones debería ser en época de lluvias, puesto que el grado de saturación de los suelos tiene influencia directa en la deformación de los suelos, si los ensayos se realizan en época seca deben ser corregidos para simular tal condición. Para fines prácticos se recomienda el uso de los siguientes factores de corrección que dependen del tipo de suelo de subrasante y la época del año en el que se realiza el ensayo.

Tabla 2.13 - Factor de corrección por estacionalidad

TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE	ESTACIÓN LLUVIOSA	ESTACIÓN SECA
Arenosa - Permeable	1,0	1,1 a 1,3
Arcillosa - Sensible al agua	1,0	1,2 a 1,4

Fuente: Medición y análisis empírico de deflexiones (Ing. Pablo del Águila)

Cálculo del radio de curvatura

El método asume que la curvatura que experimenta la superficie del pavimento, durante la aplicación de la carga, es de forma parabólica, es un segmento de aproximadamente 0,25 m a partir del punto de máxima deflexión.

$$R_c = \frac{6250}{K * [D_0 - D_{25}]}$$

Donde:

R_c = Radio de curvatura, (m).

D_0 = Deflexión máxima corregida.

D_{25} = Deflexión a 0,25 m corregida.

LÍMITES

Deflexión admisible

La deflexión admisible es un parámetro que está definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión por encima del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura en el periodo considerado, la expresión que define este parámetro es:

$$D_a = \left[\frac{1,15}{N18} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Donde:

D_a = Deflexión admisible, (mm).

N18 = Número total de ejes equivalentes a 8,2 Ton. (18000 Lb).

El pavimento sujeto a evaluación tendrá capacidad estructural suficiente para resistir las solicitaciones del tráfico de diseño, para las condiciones de resistencia de la subrasante, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible.

$$D_o < D_{adm.}$$

El comportamiento del pavimento evaluado o sometido a evaluación se podrá calificar como satisfactorio siempre que se cumpla que:

Los valores de radio de curvatura calculados son mayores de 100 m.

$$R_c > 100 \text{ m}$$

El radio de curvatura promedio está comprendido entre 300 - 500 m.

$$300 < R_c < 500$$

3.1. INFORMACIÓN PRELIMINAR DE TRAMOS EN ESTUDIO

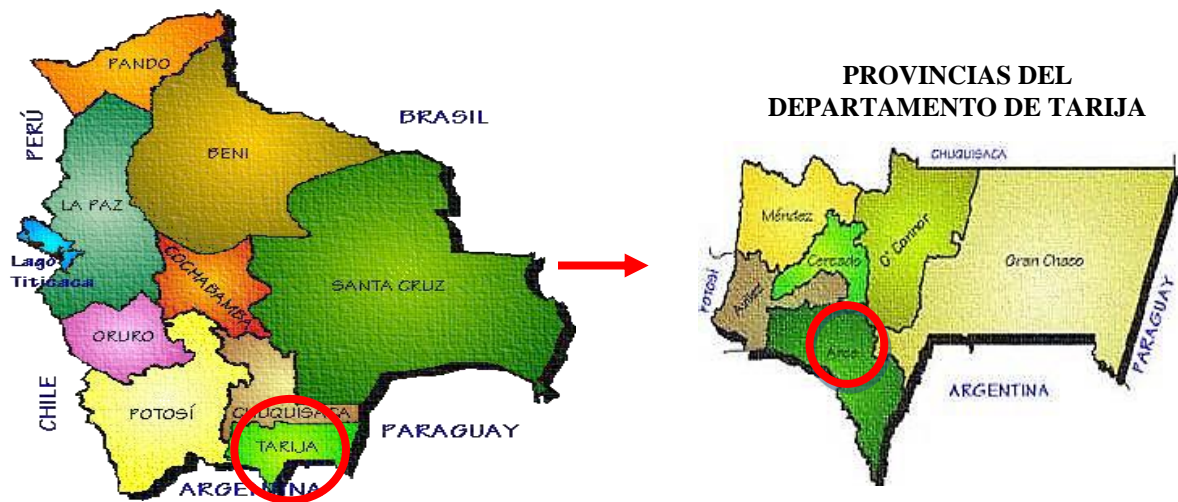
Debido a las falencias que presentan los tramos en estudio (calles Cochabamba, Tarija y Argentina) se vio la necesidad de realizar la evaluación superficial y estructural para lo cual se realizó el estudio de la información lo cual se desarrolla en los siguientes puntos:

3.1.1. Ubicación

Las calles Cochabamba, Tarija y Argentina se encuentran ubicados en el municipio de Bermejo segunda sección de la provincia Arce del departamento de Tarija, al Sur de Bolivia, son tramos importantes y representativos para la circulación del tránsito vial, ya que brindan al usuario la conexión directa con los lugares céntricos de la ciudad, la longitud total de los tramos en estudio es aproximadamente de 3,27 Km lineales de pavimento rígido.

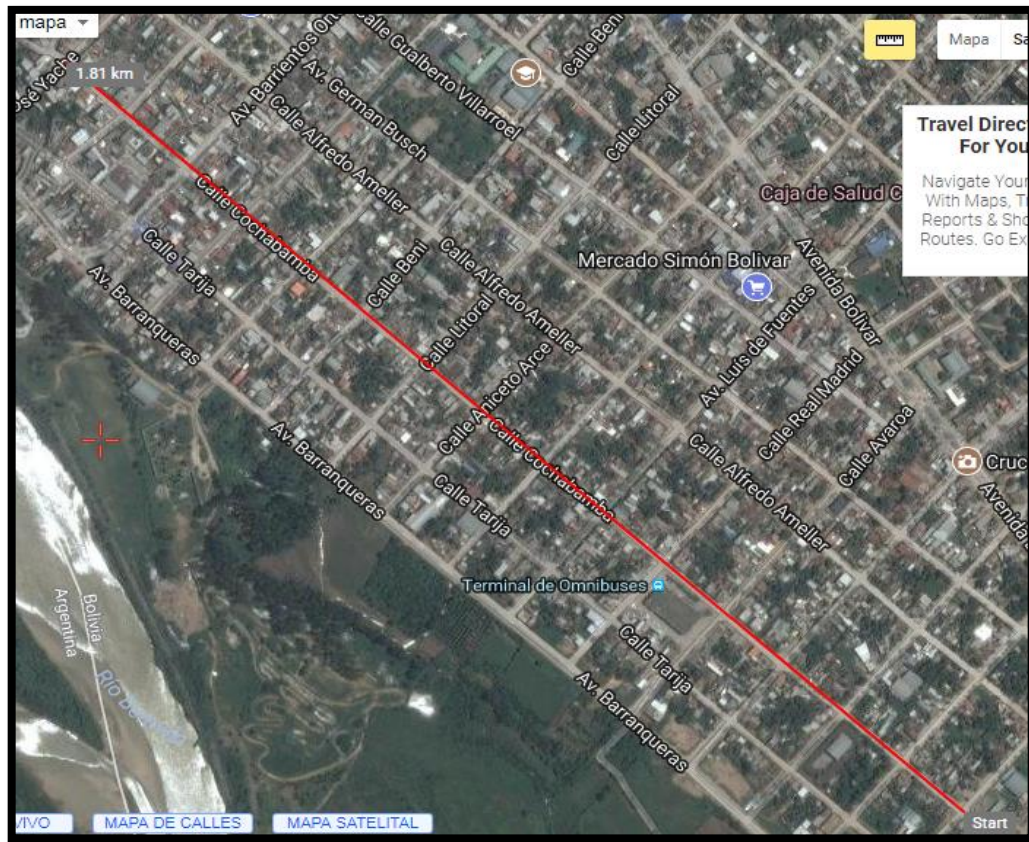
Figura 3.1 - Ubicación geográfica de la zona en estudio

DIVISIÓN POLÍTICA DE BOLIVIA



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2 - Coordenadas de ubicación - Calle Cochabamba



Fuente: google-maps.pro

Calle Cochabamba

Coordenadas geográficas:

Longitud: 64°20'12,97" O

Latitud: 22°44'23,27" S

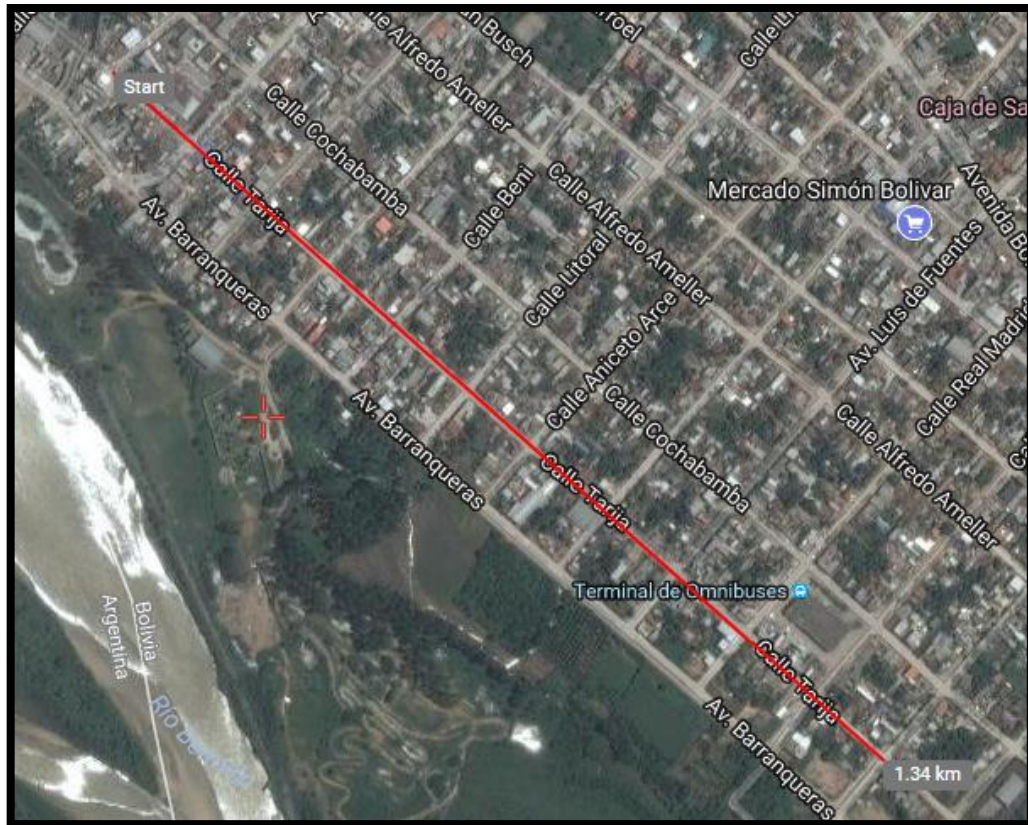
Altitud: 407 m.s.n.m.

Coordenadas UTM:

UTM Este X: 362719 m

UTM Norte Y: 7484665 m

Figura 3.3 - Coordenadas de ubicación - Calle Tarija



Fuente: google-maps.pro

Calle Tarija

Coordenadas geográficas:

Longitud: 64°20'12,63" O

Latitud: 22°44'29,03" S

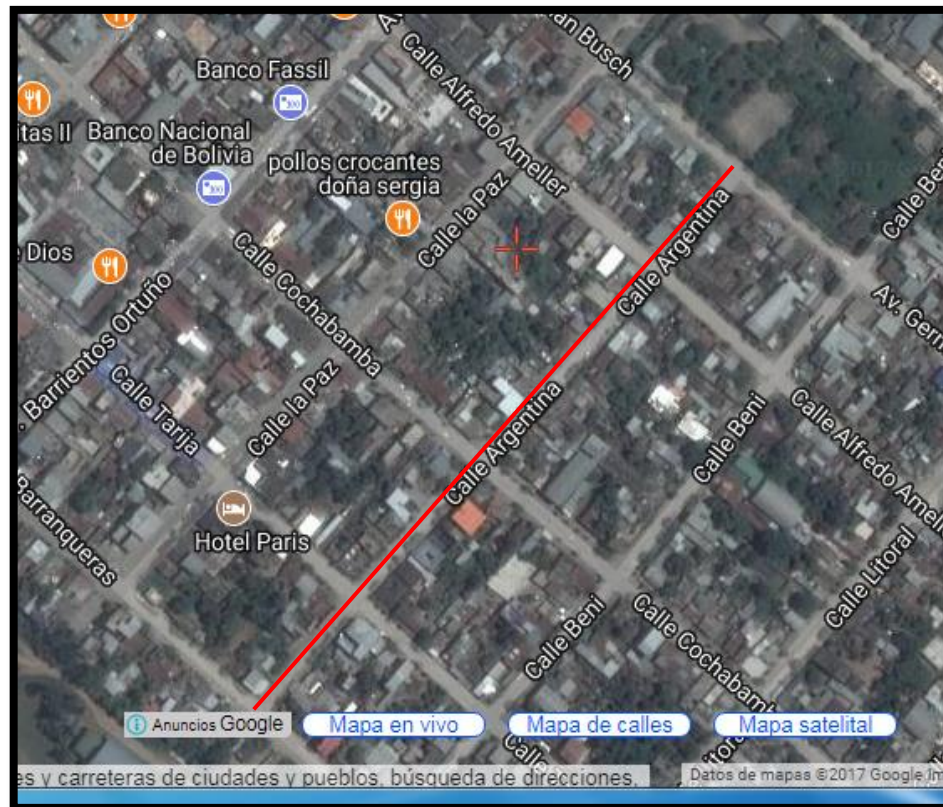
Altitud: 402 m.s.n.m.

Coordenadas UTM:

UTM Este X: 362730 m

UTM Norte Y: 7484488 m

Figura 3.4 - Coordenadas de ubicación - Calle Argentina



Fuente: google-maps.pro

Calle Argentina

Coordenadas geográficas:

Longitud: 64°20'12,05" O

Latitud: 22°43'47,88" S

Altitud: 418 m.s.n.m.

Coordenadas UTM:

UTM Este X: 362735 m

UTM Norte Y: 7485754 m

3.1.2. Antecedentes

Los tramos en estudio (calles Cochabamba, Tarija y Argentina) han sido ejecutados por el gobierno municipal de Bermejo, hace más de 20 años atrás y a la fecha nunca se realizó un mantenimiento periódico (recapamiento), por lo cual se cuenta con la siguiente información:

Características geométricas de los tramos en estudio:

Calle Cochabamba

Intersecciones: Entre calle Francisco Uriondo y avenida Barrientos Ortuño

N° de cuadras: 13

Longitud del tramo: 1560,07 m

Capa de rodadura: Losa de concreto hidráulico

Calle Tarija

Intersecciones: Entre calle Chuquisaca y avenida Topater

N° de cuadras: 11

Longitud del tramo: 1343,08 m

Capa de rodadura: Losa de concreto hidráulico

Calle Argentina

Intersecciones: Entre calle Tarija y calle German Busch

N° de cuadras: 3

Longitud del tramo: 372,53 m

Capa de rodadura: Losa de concreto hidráulico

Debido a que no se logró obtener antecedentes históricos del gobierno municipal de Bermejo de los tramos en estudio (calles Cochabamba, Tarija y Argentina), es que se realizó la complementación de la información necesaria para complementar al estudio de la información:

Longitud de los tramos: Se lo obtuvo mediante un plano de AUTO CAD proporcionado por la alcaldía de Bermejo, en el cual se procedió a identificar los puntos de inicio para la evaluación de los tramos en estudio y se lo determino mediante progresivas, dejando como

línea de referencia a las unidades de muestreo y así consecuentemente con la finalidad que una vez que se inicie con el estudio de fallas y los ensayos para la evaluación superficial y estructural se considere las progresivas para la ubicación de cada falla. (ANEXO 12)

Número de ejes equivalentes: Luego de identificar al número de ejes equivalentes como un dato preponderante para la realización de la evaluación estructural se dispuso a realizar el levantamiento de la información con la finalidad de obtener el tráfico que transita actualmente por los tramos en estudio, para el relevamiento de la información inicialmente se identificaron días (3 días) y horarios críticos (de 6:00 a 14:00) para realizar los aforos, este relevamiento de la información se lo realizó en la calle Cochabamba debido a que es más representativa y se lo hizo en todo el tramo progresiva 1+560 considerando el conteo de automóviles, buses de transporte público, camiones de eje simple y camiones de eje doble, posteriormente se realizó el cálculo del número de ejes equivalentes. (ANEXO 10)

3.2. EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE TRAMOS EN ESTUDIO

Para la evaluación superficial de los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina) se evaluaron los siguientes parámetros: PCI (Índice de Condición del Pavimento), PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) e IRI (Índice de Rugosidad Internacional), lo cual se detalla de mejor manera en los puntos posteriores.

3.2.1. Aplicación del método PCI (Índice de Condición del Pavimento)

3.2.1.1. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

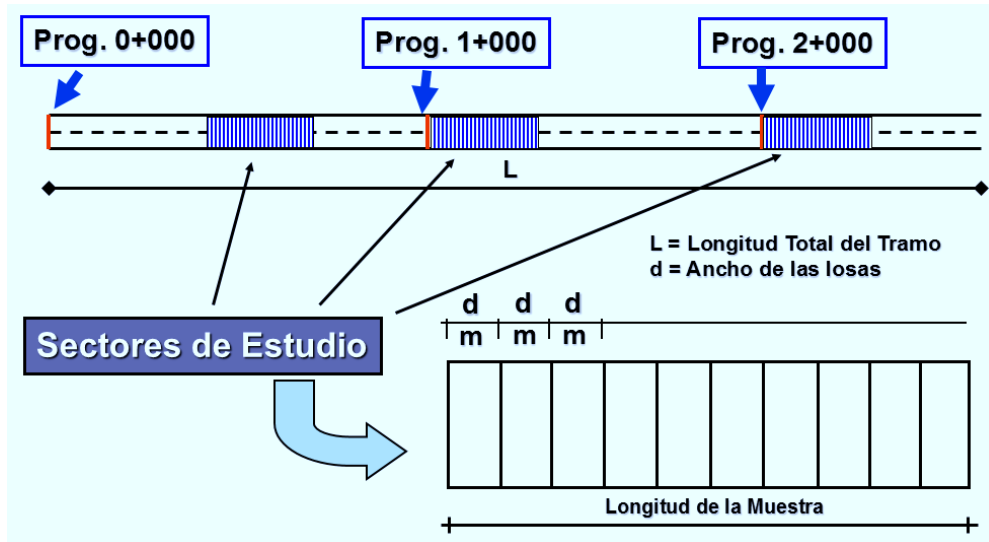
Se detallara la metodología aplicada para la evaluación superficial de los tramos en estudio, siguiendo los lineamientos definidos por el método PCI, procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento, ya que el método PCI permitirá conocer el estado de la superficie de los pavimentos.

3.2.1.2. Muestreo y unidades de muestra

Se divide las vías en áreas, secciones y unidades de muestreo, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía: para losas de concreto con longitud inferior a 7,60 m, el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango de 20 ± 8 losas.

En función a las medidas tomadas en el diseño teórico se adoptaron las longitudes de las muestras para la evaluación de cada una de las muestras, donde cada unidad de evaluación individual debe ser marcada e identificada mediante progresivas de manera que permita al personal de inspección localizarlas más fácilmente en toda la superficie y permitir el monitoreo de manera más eficiente.

Figura 3.5 - Unidad de muestreo para el método PCI



Fuente: Elaboración propia

No todas las unidades de muestra requieren tener el mismo tamaño de muestra, pero deben tener similares patrones para asegurar la exactitud en el cálculo del PCI (Índice de Condición del Pavimento).

3.2.1.3. Procedimiento de evaluación PCI

Se inspecciono cuidadosamente cada una de las unidades de muestreo identificadas en los planos y en base a progresivas para medir el tipo, cantidad y severidad de las fallas de acuerdo con el manual de daños del método PCI, en base a la siguiente tabla:

Tabla 3.1 - Tipos de fallas en pavimentos rígidos

FALLA N°	DESCRIPCIÓN
1	Blow up - Bluckling
2	Grieta de esquina
3	Losa dividida
4	Grieta de durabilidad "D"
5	Escalonamiento o escala
6	Daño del sello de junta
7	Desnivel carril / berma
8	Grietas lineales (grietas long, trans. y diag.)
9	Parche grande (mayor de 0,45 m ²)
10	Parche pequeño (menor de 0,45 m ²)
11	Pulimento de agregados
12	Popouts o desprendimientos superficiales
13	Bombeo
14	Punzonamiento
15	Cruce de vía férrea
16	Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado
17	Grietas de retracción
18	Descascaramiento de esquina
19	Descascaramiento de junta

Fuente: Elaboración propia

Se registró la información en el formato adoptado, para tal fin se tiene que conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida para determinar los tipos de fallas encontrados en los tramos de estudio.

Posteriormente se registró los datos en una planilla de toma de datos para cada una de las unidades de muestreo que fueron señaladas en el pavimento e identificadas por medio de un código, por ejemplo, UM-1 (unidad de muestra N°1). Esto permitirá su fácil localización en caso se quiera verificar alguna información para los ensayos posteriores; se registró el tipo de falla, su extensión y severidad, además de tomar en cuenta todas las medidas de seguridad para una buena inspección de las áreas de muestreo, en la Tabla 3.2 se ilustra el modelo de la planilla de recolección de datos adoptado para el presente método.

Tabla 3.2 - Planilla de muestreo de datos - Método PCI

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”					
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)					
CARRETERAS CON SUPERFICIE DE CEMENTO HIDRÁULICO					
Nombre de la Vía:	Calle Tarija				
Realizado por:	Juan Gabriel Bejarano Suyo				
Fecha:	26/08/18				
Abscisa Inicial:	0+000	N° de Muestra:		“UM”	
Abscisa Final:	0+000	N° de Losas:		14	
TIPOS DE FALLAS					
1. Blow up / Buckling			13. Bombeo		
2. Grieta de esquina			14. Punzonamiento		
3. Losa dividida			15. Cruce de vía férrea		
4. Grieta de durabilidad “D”			16. Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado		
5. Escalonamiento o escala			17. Grietas de retracción		
6. Daño del sello de junta			18. Descascaramiento de esquina		
7. Desnivel carril / berma			19. Descascaramiento de junta		
8. Grietas lineales (long., trans. y diag.)					
9. Parche grande (mayor a 0,45 m ²)			SEVERIDADES		
10. Parche pequeño (menor de 0,45 m ²)			Baja:	“B”	
11. Pulimiento de agregados			Media:	“M”	
12. Popouts o desprend. superficiales			Alta:	“A”	
PROGRESIVAS		UNIDAD DE MUESTRA	TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	N° LOSAS
INICIAL	FINAL				
0+000	0+000	“UM”	4	B	3
			6	A	14
			12	B	8
			12	M	6

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Aplicación del método PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)

3.2.2.1. Procedimiento de evaluación PSI

Se detallara la metodología aplicada para la evaluación superficial de los tramos en estudio, siguiendo los lineamientos definidos por el método PSI, procedimiento estándar para la inspección del índice de serviciabilidad del pavimento, ya que el método PSI permitirá conocer el estado de la superficie de los pavimentos.

Paso N° 1: A continuación de la demarcación de secciones y unidades de inspección se procede a realizar un recorrido; utilizando un vehículo se manejará lentamente sobre la vía para inspeccionar visualmente las condiciones generales de la superficie del

pavimento. Si se observan diferencias significativas, como cambios en la superficie de rodadura se procede al registro de las apreciaciones correspondientes a la rugosidad longitudinal para cada sección.

Paso N° 2: Al realizar la inspección de las fallas se observaran diferencias significativas, como cambios en la superficie de rodadura se procede al registro de las apreciaciones correspondientes a la intensidad de grietas - parches y deformación transversal para cada sección. Este registro o calificación debe estar acorde a criterios de funcionalidad del pavimento, realizados por parte del personal de evaluación.

Paso N° 3: Luego del registro de datos, se procede a procesar la información en planillas electrónicas, obteniendo como resultados el Índice de Servicio Presente y el rango de calificación que identifica el grado de transitabilidad, en la Tabla 3.3 se ilustra el modelo de la planilla de recolección de datos adoptado para el presente método.

Tabla 3.3 - Planilla de muestreo de datos - Método PSI

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”							
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE (PSI)							
CARRETERAS CON SUPERFICIE DE CEMENTO HIDRÁULICO							
Nombre de la Vía:		Calle Tarija					
Realizado por:		Juan Gabriel Bejarano Suyo					
Fecha:		26/08/18					
Abscisa Inicial:		0+000			N° de Muestra:		“UM”
Abscisa Final:		0+000			N° de Losas:		14
PROGRESIVAS		UNIDAD DE MUESTRA	N° LOSAS	“C ₁ ”	“C ₂ ”	“C ₃ ”	PSI
INICIAL	FINAL						
0+000	0+000	“UM”	14	2	1	1	---

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Aplicación del método IRI (Índice de Rugosidad Internacional)

3.2.3.1. Procedimiento de evaluación IRI

Se detallara la metodología aplicada para la evaluación superficial de los tramos en estudio, siguiendo los lineamientos definidos por el método IRI, procedimiento para la inspección del índice de rugosidad del pavimento, ya que el método IRI permitirá conocer

el estado de la superficie de los pavimentos mediante la utilización del software denominado “INPACO” del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca de Colombia.

Para este método de evaluación realizamos un trabajo de nivelación, empleando para ello una mira y un nivel, esta nivelación nos permitirá conocer las cotas de la superficie del pavimento. La nivelación se hará en las huellas, o lugar de tránsito de las llantas de los vehículos en el carril, una vez llevado adelante la nivelación, se obtienen las cotas de la superficie del pavimento de los sub tramos estudiados, seguidamente estas cotas son introducidas en el programa IRI (método mira y nivel) del software denominado “INPACO” del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca de Colombia, el cual nos dará como resultado el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para cada sub tramo, el promedio de estos, será el IRI que representa al tramo total en estudio, en la Tabla 3.4 se ilustra el modelo de la planilla de recolección de datos adoptado para el presente método.

Tabla 3.4 - Planilla de muestreo de datos - Método IRI

CARRIL IZQUIERDO		EJE	CARRIL DERECHO	
ABSCISA [m]	COTA [m]		ABSCISA [m]	COTA [m]
0,00	1,57		0,00	1,39
0,50	1,57		0,50	1,38
1,00	1,57		1,00	1,38
1,50	1,56		1,50	1,37
2,00	1,54		2,00	1,36
2,50	1,54		2,50	1,35
3,00	1,53		3,00	1,34
3,50	1,52		3,50	1,33
4,00	1,51		4,00	1,33
4,50	1,50		4,50	1,32
5,00	1,49		5,00	1,31
5,50	1,48		5,50	1,30
6,00	1,47		6,00	1,29
6,50	1,47		6,50	1,29
7,00	1,47		7,00	1,28
7,50	1,45		7,50	1,27
8,00	1,43		8,00	1,26
8,50	1,42		8,50	1,26
9,00	1,42		9,00	1,25
9,50	1,41		9,50	1,24
10,00	1,40		10,00	1,25

Lecturas de cotas muestra “UM” IRI

Fuente: Elaboración propia

3.3. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE TRAMOS EN ESTUDIO

3.3.1. Procedimiento de aplicación

3.3.2. Método de la Viga Benkelman

Los ensayos para la evaluación estructural se realizaron utilizando el mismo procedimiento adoptado anteriormente en unidades de muestreo obtenidas del método de evaluación PCI (Índice de Condición del Pavimento).

Se efectuó inicialmente la calibración de la Viga Benkelman en instalaciones del laboratorio de la empresa “CONSULTORA APOLO” en la ciudad de Bermejo, para verificar que el equipo esté en condiciones óptimas para ser manejado, mediante esta calibración definir el valor de la constante (K) a ser utilizada para el cálculo de las deflexiones, donde se obtuvo la constante $K = 2$.

La volqueta que se alquiló para la realización de los ensayos fue de 8,00 m³ de capacidad con eje trasero simple de llantas dobles, para realizar el ensayo se comunicó al chofer que realice la medición de la presión de inflado de las llantas de tal forma que registre 80 Psi, posteriormente se pesó en el eje trasero de la volqueta para lograr el peso necesario de 8,2 Ton. (8200 Kg), una vez localizadas las unidades de muestreo, se definieron una línea de medición longitudinal al eje de la vía de 5 m, a una distancia de 0,60 a 0,90 m del borde de la carpeta, variando estas medidas en función a la ubicación del ensayo, en cada punto de ensayo en el formato adoptado se registraron lecturas a 0,25, 0,50, 0,75, 1, 2, 3 y 5 m, el procedimiento de ensayo se desarrolla de la siguiente manera; en primer lugar se procedió a ensamblar la viga ya que se tiene un brazo desplegable de dos módulos los cuales van ensamblados con tornillos de ajuste, posteriormente se nivela el apoyo principal con una manivela para lograr que el puntero del brazo de la viga este en contacto mínimo con la superficie de concreto hidráulico, este procedimiento se realizó de igual manera en los siguientes puntos definidos de estudio, las fotos que se incluyen a continuación ilustran en forma general el procedimiento de medición del ensayo. Como se puede observar, un extremo de la viga se colocó entre las ruedas traseras de la volqueta a usarse sobre el punto de manera tal que este coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de la llanta, dejando el otro extremo fijo sobre el pavimento, en cada

punto de ensayo se registraron las temperaturas del pavimento, se repitieron las mismas operaciones descritas a lo largo de los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina).

Figura 3.6 - Procedimiento del ensayo de la Viga Benkelman



Tablero de lectura del pesaje

Fuente: Elaboración propia

BALANZA " MENDOZA "		Km 7.5 CARRET. AL CHACO - CEL. 70218371- 70451178	
Tarija - Bolivia			
N° 8002		Ingreso	03/09/2018 11:06:09 AM
Fecha 03/09/2018		Salida	03/09/2018 11:14:24 AM
BRUTO:	0		
TARA:	8,300		
NETO:	8,300		
			180,43 qq
Cliente	JUAN GABRIEL BEJARANO	Monto Bs	20.0
Material	VOLVO MOD. 89		
Chafer	BARTOLOMÉ FERNÁNDEZ	Placa	2752 BDU
Destino	NULL		
Observación			

BALANZA ELECTRÓNICA
" MENDOZA "

TARIJA - BOLIVIA

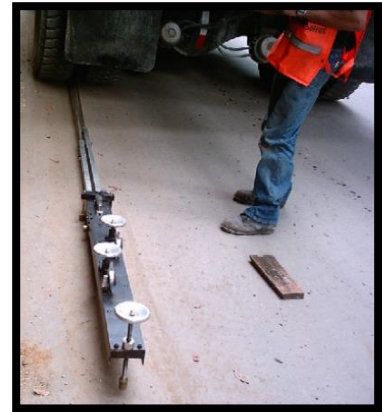
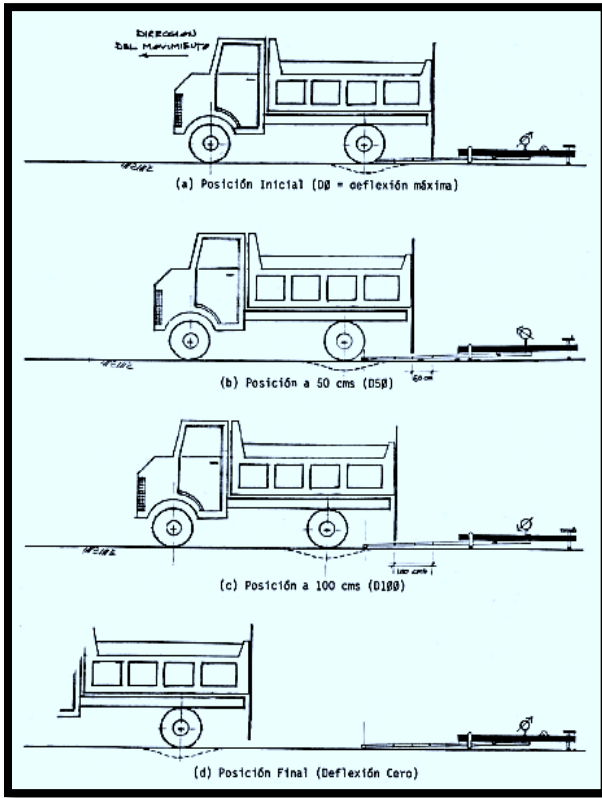
TEL. 70218371 - 70451178

Pesado de la volqueta

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento del ensayo de la Viga Benkelman

Fuente: Elaboración propia



Lectura de la Viga Benkelman



Extensómetro / Dial

Procedimiento de medición de deflexión

Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Hoffman y Del Águila, 1985)



Medición de la presión en las llantas del camión



Zona para medir temperatura

Correcta ubicación en el centro de gravedad de la llanta doble

4.1. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL

4.1.1. Evaluación por el método PCI (Índice de Condición del Pavimento)

4.1.1.1. Procedimiento de cálculo del PCI

Luego de culminar la inspección de campo, la información de las fallas presentes en las unidades de muestreo y los grados de severidad esta fueron recopilados, registrada para calcular el PCI, el cálculo del PCI puede realizarse de forma manual o computarizada.

Posteriormente se procedió a determinar por cada falla de acuerdo a la cantidad y severidad reportadas, los valores deducidos (VD), los valores deducidos corregidos (CDV), el número de valores deducidos (q) mayores que 2, y con el valor deducido total y con el máximo (CDV) se obtuvo el índice de condición presente PCI en los tramos de estudio.

Con la finalidad de facilitar el entendimiento de cálculo del PCI, se ha descrito mediante diversos pasos:

Deben totalizarse cada uno de los tipos de falla y su severidad y registrarlos en los formatos correspondientes, ver Tabla 4.1.

Tabla 4.1 - Fallas existentes - Método PCI

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)			
CARRETERAS CON SUPERFICIE DE CEMENTO HIDRÁULICO			
Nombre de la Vía:	Calle Tarija		
Realizado por:	Juan Gabriel Bejarano Suyo		
Fecha:	26/03/18		
Abscisa Inicial:	0+000	Nº de Muestra:	“UM”
Abscisa Final:	0+000	Nº de Losas:	14
TIPOS DE FALLAS			
1. Blow up / Buckling	13. Bombeo		
2. Grieta de esquina	14. Punzonamiento		
3. Losa dividida	15. Cruce de vía férrea		
4. Grieta de durabilidad “D”	16. Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado		
5. Escalonamiento o escala	17. Grietas de retracción		
6. Daño del sello de junta	18. Descascaramiento de esquina		
7. Desnivel carril / berma	19. Descascaramiento de junta		
8. Grietas lineales (long., trans. y diag.)	SEVERIDADES		
9. Parche grande (mayor de 0,45 m ²)			
10. Parche pequeño (menor de 0,45 m ²)	Baja:	“B”	
11. Pulimiento de agregados	Media:	“M”	
12. Popouts o desprend. superficiales	Alta:	“A”	

N° DE FALLA	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	DENSIDAD (%)
4	B	3	21,43
6	A	14	---
12	B	8	57,14
12	M	6	42,86

Fuente: Elaboración propia

DETERMINACIÓN DE VALORES DEDUCIDOS

Se totaliza cada tipo de deterioro y su severidad, es importante separar el mismo daño que se clasifique con diferente severidad. El daño se puede medir en área, longitud o número según su tipo. Para la obtención de la densidad se debe dividir cada una de las fallas en cada nivel de severidad especificado, entre el número total de losas de la unidad de muestreo en la que se trabaja esta densidad y se expresa en porcentaje.

Grieta de durabilidad “D”

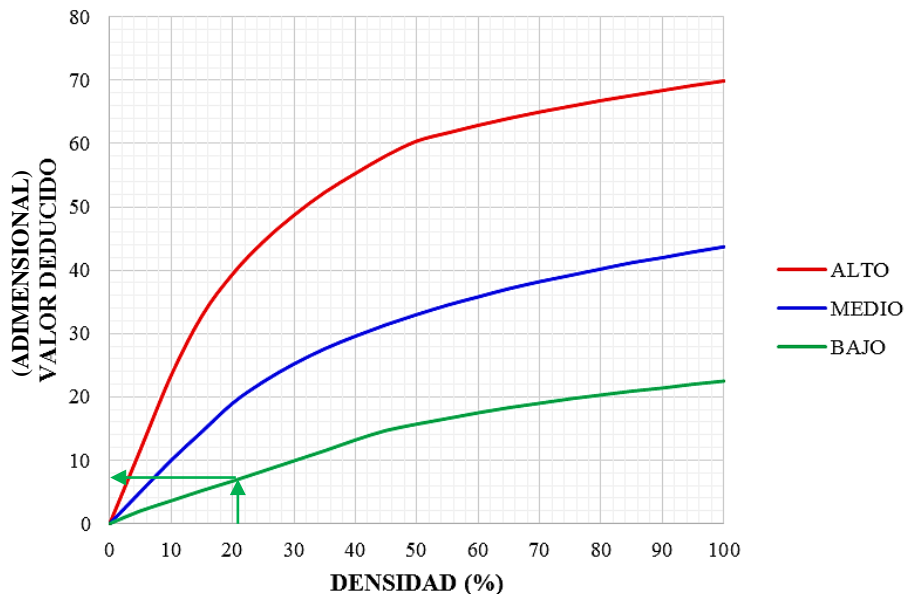
Tabla 4.2 - Severidad y densidad grieta de durabilidad “D”

FALLA N°	SEVERIDAD	DENSIDAD (%)
4	B	21,43

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos entramos a la gráfica de valores deducidos.

Figura 4.1 - Valores deducidos grieta de durabilidad “D”



Fuente: Pavement Condition Index, Manizales, Ingepav

Por lo tanto el valor deducido para este nivel de severidad será:

Tabla 4.3 - Valores deducidos grieta de durabilidad "D"

FALLA N°	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO
4	B	7,16

Fuente: Elaboración propia

Daño del sello de junta

Tabla 4.4 - Severidad y densidad daño del sello de junta

FALLA N°	SEVERIDAD	DENSIDAD (%)
6	A	---

Fuente: Elaboración propia

El sello de junta no está relacionado con la densidad. La severidad del daño es determinada por la condición del sellador en general para una unidad de muestra en particular.

Los valores deducidos para los tres niveles de severidad son:

Tabla 4.5.a - Valores deducidos daño del sello de junta

SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO
Bajo: (B)	2 Puntos
Medio: (M)	4 Puntos
Alto: (A)	8 Puntos

Fuente: Pavement Condition Index, Manizales, Ingepav

Por lo tanto el valor deducido para este nivel de severidad será:

Tabla 4.5.b - Valores deducidos daño del sello de junta

FALLA N°	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO
6	A	8 Puntos

Fuente: Elaboración propia

Popouts o desprendimientos superficiales

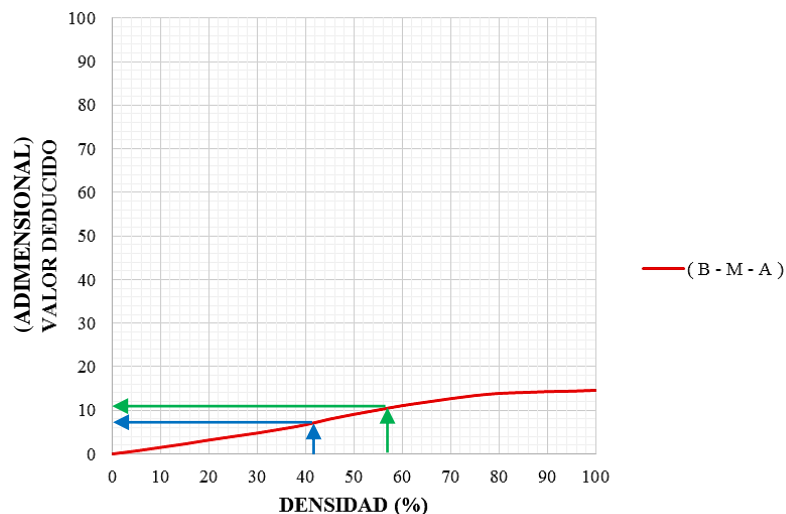
Tabla 4.6 - Severidad y densidad Popouts o desprendimientos superficiales

FALLA N°	SEVERIDAD	DENSIDAD (%)
12	B	57,14
12	M	42,86

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos entramos a la gráfica de valores deducidos.

Figura 4.2 - Valores deducidos Popouts o desprendimientos superficiales



Fuente: Pavement Condition Index, Manizales, Ingepav

Por lo tanto el valor deducido para este nivel de severidad será:

Tabla 4.7 - Valores deducidos Popouts o desprendimientos superficiales

FALLA N°	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO
12	B	10,53
12	M	7,44

Fuente: Elaboración propia

CÁLCULO NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS (m)

Se procede a colocar los valores deducidos de mayor a menor, como se muestra a continuación:

Tabla 4.8 - Resumen de valores deducidos

FALLA N°	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO
12	B	10,53
6	A	8,00
12	M	7,44
4	B	7,16

Fuente: Elaboración propia

Se determina el “número máximo admisible de valores deducidos” (m) utilizando la ecuación mencionada en los capítulos anteriores, donde reemplazando valores en la ecuación tenemos:

$$m_i = 1 + \frac{9}{98} * [100 - 10,53]$$

$$m_i = 9,22 \cong 9$$

CÁLCULO DEL MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO (CDV)

El máximo (CDV) se determina siguiendo proceso iterativo mostrado a continuación:

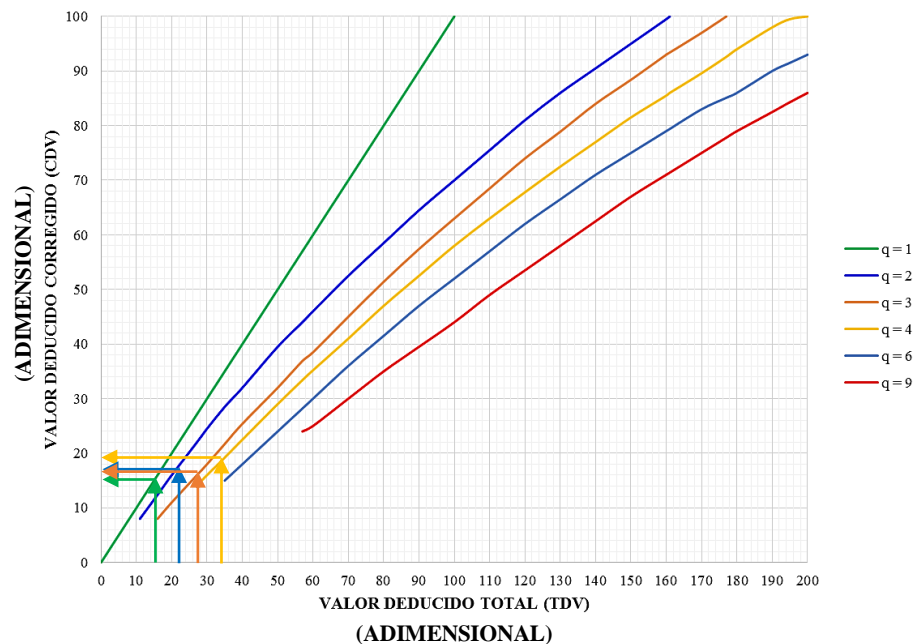
Tabla 4.9 - Máximo valor deducido

N°	VALORES DEDUCIDOS				TOTAL	“q”
1	10,53	8,00	7,44	7,16	33,13	4
2	10,53	8,00	7,44	2,00	27,97	3
3	10,53	8,00	2,00	2,00	22,53	2
4	10,53	2,00	2,00	2,00	16,53	1

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos entramos a la gráfica para determinar el máximo valor de deducido corregido (CDV).

Figura 4.3 - Valores deducidos corregidos



Fuente: Pavement Condition Index, Manizales, Ingepav

Por lo tanto el valor deducido corregido será:

Tabla 4.10 - Valor deducido corregido

N°	TOTAL	“q”	CDV
1	33,13	4	18,00
2	27,97	3	16,58
3	22,53	2	18,13
4	16,53	1	16,53

Fuente: Elaboración propia

El PCI de la muestra se obtiene restando 100 al máximo (CDV).

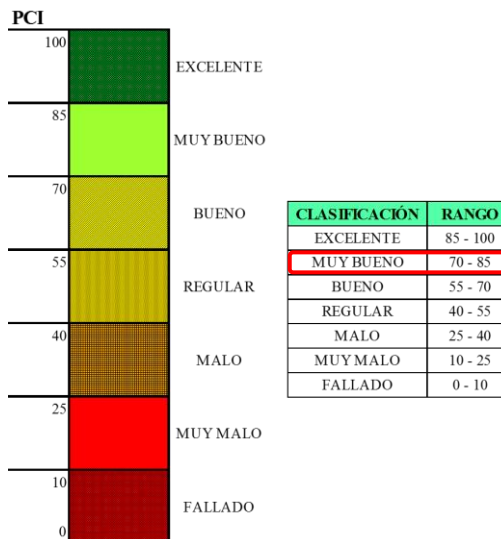
$$\text{PCI} = 100 - \text{CDV}_{\text{máx.}}$$

$$\text{PCI} = 100 - 18,13$$

$$\text{PCI} = 81,87$$

CLASIFICACIÓN

Figura 4.4 - Rangos de clasificación del PCI



*Fuente: Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concretos en carreteras
“Traducido por el Ing. Luis Ricardo Vásquez, Abril de 2006”*

Este valor encontrado según la escala o rango del PCI que se muestra en la Figura 4.4 es correspondiente a un Índice de Condición del Pavimento de: **MUY BUENO**.

Este proceso es reiterativo para cada una de las unidades de muestra inspeccionadas de todos los tramos en estudio, el cálculo del PCI de todas las unidades de muestra se muestran en el ANEXO 5 más detalladamente.

4.1.1.2. Resultados del método de evaluación PCI

4.1.1.2.1. Resultados parciales del método de evaluación PCI

En las siguientes tablas se resumen los resultados de todas las unidades de muestreo de los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina).

*Tabla 4.11 - Resultados del Índice de Condición del Pavimento
PCI - Calle Cochabamba*

CALLE COCHABAMBA - CIUDAD DE BERMEJO PROG. 0+000 a PROG. 1+560			
TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	VALOR DEL PCI	CLASIFICACIÓN
UM-1	0+000 - 0+024	80,21	Muy bueno
UM-2	0+072 - 0+096	56,64	Bueno
UM-3	0+144 - 0+168	61,30	Bueno
UM-4	0+217 - 0+241	54,73	Regular
UM-5	0+288 - 0+312	17,99	Muy Malo
UM-6	0+360 - 0+384	50,80	Regular
UM-7	0+432 - 0+456	56,36	Bueno
UM-8	0+504 - 0+528	46,62	Regular
UM-9	0+576 - 0+600	69,26	Bueno
UM-10	0+648 - 0+672	70,31	Bueno
UM-11	0+720 - 0+744	56,06	Bueno
UM-12	0+792 - 0+816	60,31	Bueno
UM-13	0+865 - 0+890	50,75	Regular
UM-14	0+941 - 0+967	69,26	Bueno
UM-15	1+012 - 1+035	59,73	Bueno
UM-16	1+081 - 1+105	43,48	Regular
UM-17	1+154 - 1+179	57,54	Bueno
UM-18	1+227 - 1+250	60,40	Bueno
UM-19	1+297 - 1+320	56,00	Bueno
UM-20	1+368 - 1+392	71,08	Muy bueno
UM-21	1+439 - 1+463	68,84	Bueno
UM-22	1+511 - 1+536	51,27	Regular
UM-23	0+288 - 0+312	35,89	Malo
UM-24	0+217 - 0+241	77,06	Muy bueno
UM-25	0+144 - 0+168	55,94	Bueno
UM-26	0+072 - 0+096	47,14	Regular
UM-27	0+000 - 0+024	75,50	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.12 - Resultados del Índice de Condición del Pavimento
PCI - Calle Tarija**

CALLE TARIJA - CIUDAD DE BERMEJO PROG. 0+000 a PROG. 1+343			
TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	VALOR DEL PCI	CLASIFICACIÓN
UM-1	0+000 - 0+027	64,53	Bueno
UM-2	0+055 - 0+083	52,70	Regular
UM-3	0+110 - 0+138	65,12	Bueno
UM-4	0+162 - 0+186	71,60	Muy bueno
UM-5	0+210 - 0+234	65,75	Bueno
UM-6	0+258 - 0+281	66,92	Bueno
UM-7	0+305 - 0+329	43,99	Regular
UM-8	0+352 - 0+376	67,91	Bueno
UM-9	0+400 - 0+424	68,36	Bueno
UM-10	0+447 - 0+471	67,10	Bueno
UM-11	0+495 - 0+520	71,01	Muy bueno
UM-12	0+545 - 0+571	60,00	Bueno
UM-13	0+596 - 0+621	67,10	Bueno
UM-14	0+643 - 0+665	56,77	Bueno
UM-15	0+687 - 0+709	44,94	Regular
UM-16	0+731 - 0+757	62,75	Bueno
UM-17	0+783 - 0+809	57,48	Bueno
UM-18	0+835 - 0+861	52,96	Regular
UM-19	0+885 - 0+909	70,45	Bueno
UM-20	0+934 - 0+958	46,05	Regular
UM-21	0+982 - 1+006	41,05	Regular
UM-22	1+030 - 1+054	57,29	Bueno
UM-23	1+078 - 1+102	45,00	Regular
UM-24	1+126 - 1+149	54,73	Regular
UM-25	1+173 - 1+197	50,95	Regular
UM-26	1+221 - 1+245	30,00	Malo
UM-27	1+270 - 1+294	78,40	Muy bueno
UM-28	1+318 - 1+343	80,50	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.13 - Resultados del Índice de Condición del Pavimento
PCI - Calle Argentina**

CALLE ARGENTINA - CIUDAD DE BERMEJO PROG. 0+000 a PROG. 0+372			
TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	VALOR DEL PCI	CLASIFICACIÓN
UM-1	0+000 - 0+023	67,25	Bueno
UM-2	0+023 - 0+047	84,72	Muy bueno
UM-3	0+047 - 0+071	82,06	Muy bueno
UM-4	0+071 - 0+095	57,99	Bueno
UM-5	0+095 - 0+119	59,60	Bueno
UM-6	0+119 - 0+153	55,60	Regular
UM-7	0+153 - 0+187	79,80	Muy bueno
UM-8	0+187 - 0+221	54,73	Regular
UM-9	0+221 - 0+256	83,58	Muy bueno
UM-10	0+256 - 0+290	70,31	Bueno
UM-11	0+306 - 0+323	72,30	Muy bueno
UM-12	0+323 - 0+339	53,18	Regular
UM-13	0+339 - 0+356	45,48	Regular

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2.2. Resultados del estado de las unidades de muestreo de los tramos en estudio

ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CALLE COCHABAMBA

Se realizará un tratamiento estadístico al PCI (Índice de Condición del Pavimento), para poder verificar que los resultados parciales obtenidos son coherentes para ser objeto de estudio de este trabajo de investigación.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

*Resultados de las unidades de muestreo
PCI - Calle Cochabamba*

n	(x_i) Datos	(x_i) Ordenada	$x_i - \bar{x}$	$[x_i - \bar{x}]^2$
1	80,21	17,99	-39,81	1584,45
2	56,64	35,89	-21,91	479,84
3	61,30	43,48	-14,32	204,92
4	54,73	46,62	-11,18	124,88
5	17,99	47,14	-10,66	113,53
6	50,80	50,75	-7,05	49,63
7	56,36	50,80	-7,00	48,93
8	46,62	51,27	-6,53	42,58
9	69,26	54,73	-3,07	9,40
10	70,31	55,94	-1,86	3,44
11	56,06	56,00	-1,80	3,22
12	60,31	56,06	-1,74	3,01
13	50,75	56,36	-1,44	2,06
14	69,26	56,64	-1,16	1,33
15	59,73	57,54	-0,26	0,07
16	43,48	59,73	1,93	3,74
17	57,54	60,31	2,51	6,32
18	60,40	60,40	2,60	6,79
19	56,00	61,30	3,50	12,28
20	71,08	68,84	11,04	121,99
21	68,84	69,26	11,46	131,44
22	51,27	69,26	11,46	131,44
23	35,89	70,31	12,51	156,62
24	77,06	71,08	13,28	176,49
25	55,94	75,50	17,70	313,46
26	47,14	77,06	19,26	371,13
27	75,50	80,21	22,41	502,42
	$\Sigma =$	1560,47	0,00	4605,44

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de tendencia central son indicadores que tienden a sintetizar o describir de la manera más representativa las características de un conjunto de datos.

Primeramente se ordenó los datos de menor a mayor para poder calcular los siguientes parámetros estadísticos:

Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{1560,47}{27} = 57,80$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

x_i = Es la observación individual de cada elemento de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Mediana:

Sí: “n” es impar

$$Posición_{Me} = \frac{n + 1}{2} = \frac{27 + 1}{2} = 14$$

Por lo tanto tenemos que la mediana es:

$$Me = 56,64$$

Este valor nos indica que el 50 % de los valores están por encima de 56,64 y el otro 50 % por debajo de 56,64.

Moda:

Es el valor que más se repite dentro de toda la muestra.

$$Mo = 69,26$$

Relación empírica entre Media, Mediana y Moda:

DISTRIBUCIONES	RELACIÓN
Simétricas	$\bar{x} = Me = Mo$
Asimétricas a la derecha	$Mo > Me > \bar{x}$
Asimétricas a la izquierda	$Mo < Me < \bar{x}$

En nuestro caso vemos que no existe simetría en nuestros resultados obtenidos, ya que la media aritmética, la mediana y la moda son de diferentes valores debido a su distribución.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Son un conjunto de indicadores que nos expresan el grado de concentración o alejamiento de los datos respecto de la media aritmética.

Rango de los datos:

$$R = x_{m\acute{a}x.} - x_{m\acute{i}n.} = 80,21 - 17,99 = 62,22$$

Donde:

$x_{m\acute{a}x.}$ = Es el mayor valor de la muestra.

$x_{m\acute{i}n.}$ = Es el menor valor de la muestra.

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{4605,44}{27 - 1}} = 13,31$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 13,31.

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} * [100\%] = \frac{13,31}{57,80} * [100\%] = 23,03\%$$

Si Cv es alto (mayor al 25 %) los datos están muy alejados del promedio, o el control de calidad de la variable media es pobre. Si Cv es bajo (menor al 5 %) los datos se acercan mucho al promedio y el control de calidad es excelente.

Lo que significa que la variación de los datos es de un 23,03 % por lo tanto la media aritmética es representativa en un 76,97 %.

MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Estas medidas indican la forma que toma la distribución de frecuencias de los datos observados.

Coefficiente de sesgo:

$$Cs = \frac{3 [\bar{x} - Me]}{S} = \frac{3 [57,80 - 56,64]}{13,31} = 0,26$$

Los resultados obtenidos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Cs > 0	Cs = 0	Cs < 0
Asimetría positiva Sesgo hacia la izquierda Cola hacia la derecha	Simetría	Asimetría negativa Sesgo hacia la derecha Cola hacia la izquierda

La oblicuidad se debe a que algunos de los valores están por arriba del valor promedio, por lo que ésta es de 0,26 indicando que la media pudo ser menor, ya que ha sido influenciada por estos datos de mayor valor, esto significa que la mayor cantidad de datos se agrupa en valores menores de 57,80.

Lo que significa que la serie de datos cuenta con una asimetría positiva, ya que la oblicuidad que se obtuvo es positiva, lo que significa que se presenta el sesgo hacia la izquierda y la cola hacia la derecha ya que la serie de datos presenta una distribución asimétrica a la derecha (Moda > Mediana > Media aritmética).

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

PCI - Calle Cochabamba

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS		VALORES
Medidas de tendencia central		
Número de datos	n =	27
Media aritmética	\bar{x} =	57,80
Mediana	Me =	56,64
Moda	Mo =	69,26
Medidas de dispersión		
Desviación estándar	S =	13,31
Coefficiente de variación	Cv =	23,03 %
Valor mínimo	$x_{\min.}$ =	17,99
Valor máximo	$x_{\max.}$ =	80,21
Rango	R =	62,22
Medidas de asimetría		
Coefficiente de sesgo	Cs =	0,26

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA

Debido a que la muestra tiene menos de treinta elementos y se desconoce la desviación estándar de la población, es necesario utilizar una distribución “t” de **Student** para estimar el intervalo de confianza de la serie.

Se utilizara para el presente estudio un coeficiente de confianza convencional del 95 %, ya que no se trata de ninguna investigación de tipo político o médico.

Estimación de intervalo de confianza al 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

IC = Intervalo de confianza a calcular.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 57,80$$

$$S = 13,31$$

$$n = 27$$

Cálculo del valor de distribución “t”

$$t = \left[gl; 1 - \frac{\alpha}{2} \right] = \left[26; 1 - \frac{0,05}{2} \right]$$

$$t = [26 ; 0,975]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$gl = n - 1 = 27 - 1 = 26$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**26 ; 0,975**] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$$t = 2,06 \text{ Valor obtenido de “TABLAS”}$$

Reemplazando valores en la ecuación del intervalo de confianza tenemos:

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$$IC = 57,80 \pm 2,06 * \left[\frac{13,31}{\sqrt{27}} \right]$$

$$IC = 57,80 \pm 2,06 * [2,56]$$

$$IC = 57,80 \pm 5,28$$

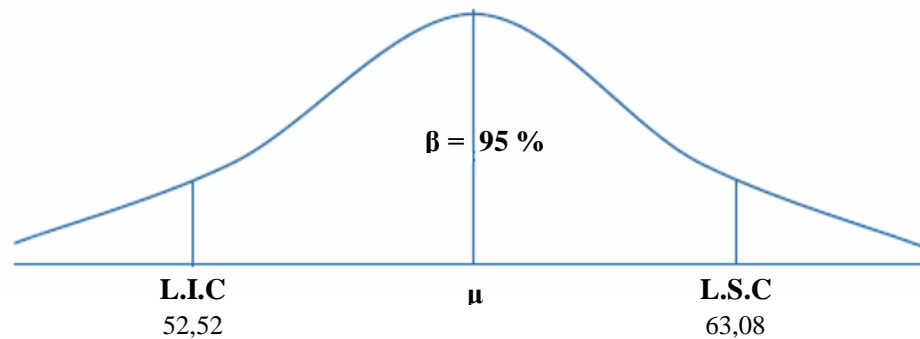
$$L.I.C = 52,52 \text{ "Límite Inferior de Confianza"}$$

$$L.S.C = 63,08 \text{ "Límite Superior de Confianza"}$$

$$E = 5,28 \text{ "Error en la Estimación"}$$

INTERVALOS DE CONFIANZA

PCI - Calle Cochabamba



De acuerdo a la estimación puntual, el valor promedio del PCI (Índice de Condición del Pavimento) es de 57,80; una desviación estándar de 13,31; el error estándar del muestreo es de 2,56 con un máximo error en la estimación E, con una aceptación del 95 % de 5,28. Lo que quiere decir que existe un 95 % de confianza de que el valor promedio calculado del PCI este entre 52,52 y 63,08.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CALLE TARIJA

Se realizará un tratamiento estadístico al PCI (Índice de Condición del Pavimento), para poder verificar que los resultados parciales obtenidos son coherentes para ser objeto de estudio de este trabajo de investigación.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

*Resultados de las unidades de muestreo
PCI - Calle Tarija*

n	(x_i) Datos	(x_i) Ordenada	$x_i - \bar{x}$	$[x_i - \bar{x}]^2$
1	64,53	30,00	-29,34	860,61
2	52,70	41,05	-18,29	334,38
3	65,12	43,99	-15,35	235,50
4	71,60	44,94	-14,40	207,25
5	65,75	45,00	-14,34	205,52
6	66,92	46,05	-13,29	176,52
7	43,99	50,95	-8,39	70,33
8	67,91	52,70	-6,64	44,04
9	68,36	52,96	-6,38	40,65
10	67,10	54,73	-4,61	21,22
11	71,01	56,77	-2,57	6,58
12	60,00	57,29	-2,05	4,19
13	67,10	57,48	-1,86	3,45
14	56,77	60,00	0,66	0,44
15	44,94	62,75	3,41	11,65
16	62,75	64,53	5,19	26,98
17	57,48	65,12	5,78	33,45
18	52,96	65,75	6,41	41,44
19	70,45	66,92	7,58	57,52
20	46,05	67,10	7,76	60,28
21	41,05	67,10	7,76	60,28
22	57,29	67,91	8,57	73,51
23	45,00	68,36	9,02	81,43
24	54,73	70,45	11,11	123,52
25	50,95	71,01	11,67	136,28
26	30,00	71,60	12,26	150,40
27	78,40	78,40	19,06	363,43
28	80,50	80,50	21,16	447,91
	$\Sigma =$	1661,41	0,00	3878,46

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de tendencia central son indicadores que tienden a sintetizar o describir de la manera más representativa las características de un conjunto de datos.

Primeramente se ordenó los datos de menor a mayor para poder calcular los siguientes parámetros estadísticos:

Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{1661,41}{28} = 59,34$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

x_i = Es la observación individual de cada elemento de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Mediana:

Sí: “n” es par

$$Posición_{Me} = \frac{1}{2} \left[\frac{n}{2} + \left(\frac{n}{2} + 1 \right) \right] = \frac{1}{2} \left[\frac{28}{2} + \left(\frac{28}{2} + 1 \right) \right] = 14,50$$

Haciendo una interpolación de datos tenemos:

$$14,00 \longrightarrow 60,00$$

$$14,50 \longrightarrow x$$

$$15,00 \longrightarrow 62,75$$

$$x = \left[\frac{62,75 - 60,00}{15,00 - 14,00} * (14,50 - 14,00) \right] + 60,00 = 61,38$$

Por lo tanto tenemos que la mediana es:

$$Me = 61,38$$

Este valor nos indica que el 50 % de los valores están por encima de 61,38 y el otro 50 % por debajo de 61,38.

Moda:

Es el valor que más se repite dentro de toda la muestra.

$$Mo = 67,10$$

Relación empírica entre Media, Mediana y Moda:

DISTRIBUCIONES	RELACIÓN
Simétricas	$\bar{x} = Me = Mo$
Asimétricas a la derecha	$Mo > Me > \bar{x}$
Asimétricas a la izquierda	$Mo < Me < \bar{x}$

En nuestro caso vemos que no existe simetría en nuestros resultados obtenidos, ya que la media aritmética, la mediana y la moda son de diferentes valores debido a su distribución.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Son un conjunto de indicadores que nos expresan el grado de concentración o alejamiento de los datos respecto de la media aritmética.

Rango de los datos:

$$R = x_{m\acute{a}x.} - x_{m\acute{i}n.} = 80,50 - 30,00 = 50,50$$

Donde:

$x_{m\acute{a}x.}$ = Es el mayor valor de la muestra.

$x_{m\acute{i}n.}$ = Es el menor valor de la muestra.

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{3878,46}{28 - 1}} = 11,99$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 11,99.

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} * [100\%] = \frac{11,99}{59,34} * [100\%] = 20,20\%$$

Si Cv es alto (mayor al 25 %) los datos están muy alejados del promedio, o el control de calidad de la variable media es pobre. Si Cv es bajo (menor al 5 %) los datos se acercan mucho al promedio y el control de calidad es excelente.

Lo que significa que la variación de los datos es de un 20,20 % por lo tanto la media aritmética es representativa en un 79,80 %.

MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Estas medidas indican la forma que toma la distribución de frecuencias de los datos observados.

Coefficiente de sesgo:

$$C_s = \frac{3 [\bar{x} - Me]}{S} = \frac{3 [59,34 - 61,38]}{11,99} = -0,51$$

Los resultados obtenidos se pueden clasificar de la siguiente manera:

$C_s > 0$	$C_s = 0$	$C_s < 0$
Asimetría positiva Sesgo hacia la izquierda Cola hacia la derecha	Simetría	Asimetría negativa Sesgo hacia la derecha Cola hacia la izquierda

La oblicuidad se debe a que algunos de los valores están muy debajo del valor promedio, por lo que ésta es de -0,51 indicando que la media pudo ser mayor, ya que ha sido influenciada por estos datos de menor valor, de tal forma que la mayor cantidad de datos se agrupa en valores mayores de 59,34.

Lo que significa que la serie de datos cuenta con una asimetría negativa, ya que la oblicuidad que se obtuvo es negativa, lo que significa que se presenta el sesgo hacia la derecha y la cola hacia la izquierda ya que la serie de datos presenta una distribución asimétrica a la derecha (Moda > Mediana > Media aritmética).

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

PCI - Calle Tarija

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	VALORES	
Medidas de tendencia central		
Número de datos	n =	28
Media aritmética	\bar{x} =	59,34
Mediana	Me =	61,38
Moda	Mo =	67,10
Medidas de dispersión		
Desviación estándar	S =	11,99
Coefficiente de variación	Cv =	20,20 %
Valor mínimo	$x_{\min.}$ =	30,00
Valor máximo	$x_{\max.}$ =	80,50
Rango	R =	50,50
Medidas de asimetría		
Coefficiente de sesgo	C_s =	- 0,51

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA

Debido a que la muestra tiene menos de treinta elementos y se desconoce la desviación estándar de la población, es necesario utilizar una distribución “t” de **Student** para estimar el intervalo de confianza de la serie.

Se utilizara para el presente estudio un coeficiente de confianza convencional del 95 %, ya que no se trata de ninguna investigación de tipo político o médico.

Estimación de intervalo de confianza al 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

IC = Intervalo de confianza a calcular.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 59,34$$

$$S = 11,99$$

$$n = 28$$

Cálculo del valor de distribución “t”

$$t = \left[gl; 1 - \frac{\alpha}{2} \right] = \left[27; 1 - \frac{0,05}{2} \right]$$

$$t = [27 ; 0,975]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$gl = n - 1 = 28 - 1 = 27$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [27 ; 0,975] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$$t = 2,05 \text{ Valor obtenido de “TABLAS”}$$

Reemplazando valores en la ecuación del intervalo de confianza tenemos:

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$$IC = 59,34 \pm 2,05 * \left[\frac{11,99}{\sqrt{28}} \right]$$

$$IC = 59,34 \pm 2,05 * [2,27]$$

$$IC = 59,34 \pm 4,64$$

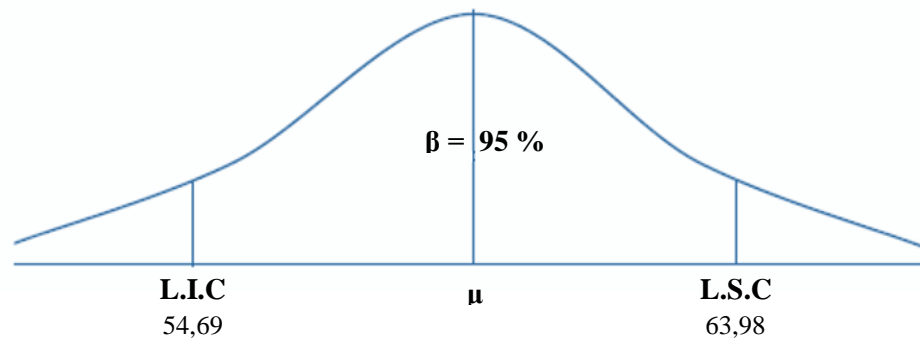
$$L.I.C = 54,69 \text{ "Límite Inferior de Confianza"}$$

$$L.S.C = 63,98 \text{ "Límite Superior de Confianza"}$$

$$E = 4,64 \text{ "Error en la Estimación"}$$

INTERVALOS DE CONFIANZA

PCI - Calle Tarija



De acuerdo a la estimación puntual, el valor promedio del PCI (Índice de Condición del Pavimento) es de 59,34; una desviación estándar de 11,99; el error estándar del muestreo es de 2,27 con un máximo error en la estimación E, con una aceptación del 95 % de 4,64. Lo que quiere decir que existe un 95 % de confianza de que el valor promedio calculado del PCI este entre 54,69 y 63,98.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CALLE ARGENTINA

Se realizará un tratamiento estadístico al PCI (Índice de Condición del Pavimento), para poder verificar que los resultados parciales obtenidos son coherentes para ser objeto de estudio de este trabajo de investigación.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

*Resultados de las unidades de muestreo
PCI - Calle Argentina*

n	(x_i) Datos	(x_i) Ordenada	$x_i - \bar{x}$	$[x_i - \bar{x}]^2$
1	67,25	45,48	-21,18	448,66
2	84,72	53,18	-13,48	181,75
3	82,06	54,73	-11,93	142,36
4	57,99	55,60	-11,06	122,36
5	59,60	57,99	-8,67	75,20
6	55,60	59,60	-7,06	49,87
7	79,80	67,25	0,59	0,35
8	54,73	70,31	3,65	13,31
9	83,58	72,30	5,64	31,79
10	70,31	79,80	13,14	172,62
11	72,30	82,06	15,40	237,11
12	53,18	83,58	16,92	286,23
13	45,48	84,72	18,06	326,11
	$\Sigma =$	866,60	0,00	2087,71

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de tendencia central son indicadores que tienden a sintetizar o describir de la manera más representativa las características de un conjunto de datos.

Primeramente se ordenó los datos de menor a mayor para poder calcular los siguientes parámetros estadísticos:

Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{866,60}{13} = 66,66$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

x_i = Es la observación individual de cada elemento de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Mediana:

Sí: “n” es impar

$$Posición_{Me} = \frac{n + 1}{2} = \frac{13 + 1}{2} = 7$$

Por lo tanto tenemos que la mediana es:

$$Me = 67,25$$

Este valor nos indica que el 50 % de los valores están por encima de 67,25 y el otro 50 % por debajo de 67,25.

Moda:

Es el valor que más se repite dentro de toda la muestra, en nuestro caso la serie de datos no cuenta con una moda.

Relación empírica entre Media, Mediana y Moda:

DISTRIBUCIONES	RELACIÓN
Simétricas	$\bar{x} = Me = Mo$
Asimétricas a la derecha	$Mo > Me > \bar{x}$
Asimétricas a la izquierda	$Mo < Me < \bar{x}$

En nuestro caso vemos que no existe simetría en nuestros resultados obtenidos, ya que la media aritmética, la mediana y la moda son de diferentes valores debido a su distribución.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Son un conjunto de indicadores que nos expresan el grado de concentración o alejamiento de los datos respecto de la media aritmética.

Rango de los datos:

$$R = x_{m\acute{a}x.} - x_{m\acute{i}n.} = 84,72 - 45,48 = 39,24$$

Donde:

$x_{m\acute{a}x.}$ = Es el mayor valor de la muestra.

$x_{m\acute{i}n.}$ = Es el menor valor de la muestra.

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{2087,71}{13 - 1}} = 13,19$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 13,19.

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} * [100\%] = \frac{13,19}{66,66} * [100\%] = 19,79\%$$

Si Cv es alto (mayor al 25 %) los datos están muy alejados del promedio, o el control de calidad de la variable media es pobre. Si Cv es bajo (menor al 5 %) los datos se acercan mucho al promedio y el control de calidad es excelente.

Lo que significa que la variación de los datos es de un 19,79 % por lo tanto la media aritmética es representativa en un 80,21 %.

MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Estas medidas indican la forma que toma la distribución de frecuencias de los datos observados.

Coefficiente de sesgo:

$$Cs = \frac{3 [\bar{x} - Me]}{S} = \frac{3 [66,66 - 67,25]}{13,19} = -0,13$$

Los resultados obtenidos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Cs > 0	Cs = 0	Cs < 0
Asimetría positiva Sesgo hacia la izquierda Cola hacia la derecha	Simetría	Asimetría negativa Sesgo hacia la derecha Cola hacia la izquierda

La oblicuidad se debe a que algunos de los valores están muy debajo del valor promedio, por lo que ésta es de -0,13 indicando que la media pudo ser mayor, ya que ha sido influenciada por estos datos de menor valor, de tal forma que la mayor cantidad de datos se agrupa en valores mayores de 66,66.

Lo que significa que la serie de datos cuenta con una asimetría negativa, ya que la oblicuidad que se obtuvo es negativa, lo que significa que se presenta el sesgo hacia la derecha y la cola hacia la izquierda ya que la serie de datos presenta una distribución asimétrica a la derecha (Mediana > Media aritmética).

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO
PCI - Calle Argentina

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS		VALORES
Medidas de tendencia central		
Número de datos	n =	13
Media aritmética	\bar{x} =	66,66
Mediana	Me =	67,25
Moda	Mo =	---
Medidas de dispersión		
Desviación estándar	S =	13,19
Coefficiente de variación	Cv =	19,79 %
Valor mínimo	$x_{\min.}$ =	45,48
Valor máximo	$x_{\max.}$ =	84,72
Rango	R =	39,24
Medidas de asimetría		
Coefficiente de sesgo	Cs =	- 0,13

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA

Debido a que la muestra tiene menos de treinta elementos y se desconoce la desviación estándar de la población, es necesario utilizar una distribución “t” de **Student** para estimar el intervalo de confianza de la serie.

Se utilizara para el presente estudio un coeficiente de confianza convencional del 95 %, ya que no se trata de ninguna investigación de tipo político o médico.

Estimación de intervalo de confianza al 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

IC = Intervalo de confianza a calcular.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 66,66$$

$$S = 13,19$$

$$n = 13$$

Cálculo del valor de distribución "t"

$$t = \left[gl; 1 - \frac{\alpha}{2} \right] = \left[12; 1 - \frac{0,05}{2} \right]$$

$$t = [12 ; 0,975]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$gl = n - 1 = 13 - 1 = 12$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**12 ; 0,975**] en la tabla de valores críticos de "t" de **Student** se tiene:

$$t = \mathbf{2,18}$$
 Valor obtenido de "TABLAS"

Reemplazando valores en la ecuación del intervalo de confianza tenemos:

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$$IC = 66,66 \pm 2,18 * \left[\frac{13,19}{\sqrt{13}} \right]$$

$$IC = 66,66 \pm 2,18 * [3,66]$$

$$IC = 66,66 \pm 7,97$$

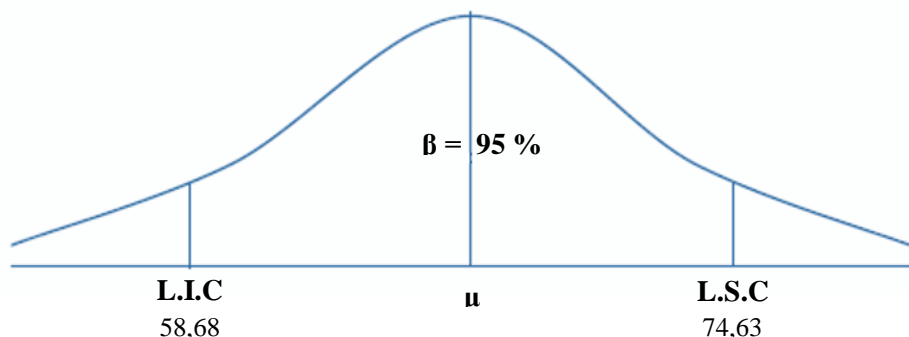
$$L. I. C = 58,68 \text{ "Límite Inferior de Confianza"}$$

$$L. S. C = 74,63 \text{ "Límite Superior de Confianza"}$$

$$E = 7,97 \text{ "Error en la Estimación"}$$

INTERVALOS DE CONFIANZA

PCI - Calle Argentina



De acuerdo a la estimación puntual, el valor promedio del PCI (Índice de Condición del Pavimento) es de 66,66; una desviación estándar de 13,19; el error estándar del muestreo es de 3,66 con un máximo error en la estimación E, con una aceptación del 95 % de 7,97. Lo que quiere decir que existe un 95 % de confianza de que el valor promedio calculado del PCI este entre 58,68 y 74,63.

De acuerdo al muestreo y al análisis estadístico efectuado a los tramos de estudio, el resumen de los resultados obtenidos es el siguiente:

PARÁMETROS	\bar{x}	Me	Mo	S	Cv	Cs	L.I.C	L.S.C	E
Calle Cochabamba	57,80	56,64	69,26	13,31	23,03 %	0,26	52,52	63,08	5,28
Calle Tarija	59,34	61,38	67,10	11,99	20,20 %	- 0,51	54,69	63,98	4,64
Calle Argentina	66,66	67,25	---	13,19	19,79 %	- 0,13	58,68	74,63	7,97

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra cada uno de los valores promedios obtenidos, ya que cada valor obtenido es el más representativo de cada uno de los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina), el cual deberá ser el valor que se le establecerá al PCI (Índice de Condición del Pavimento), como valor estimado para la evaluación superficial.

Así también por medio de los cálculos efectuados, se obtuvo el intervalo de confianza en el cual oscilara el valor necesario para cada uno de los tramos en estudio. Tomando en cuenta este dato, se puede efectuar una comparación de los valores estimados según los valores del PCI y los intervalos de confianza establecidos.

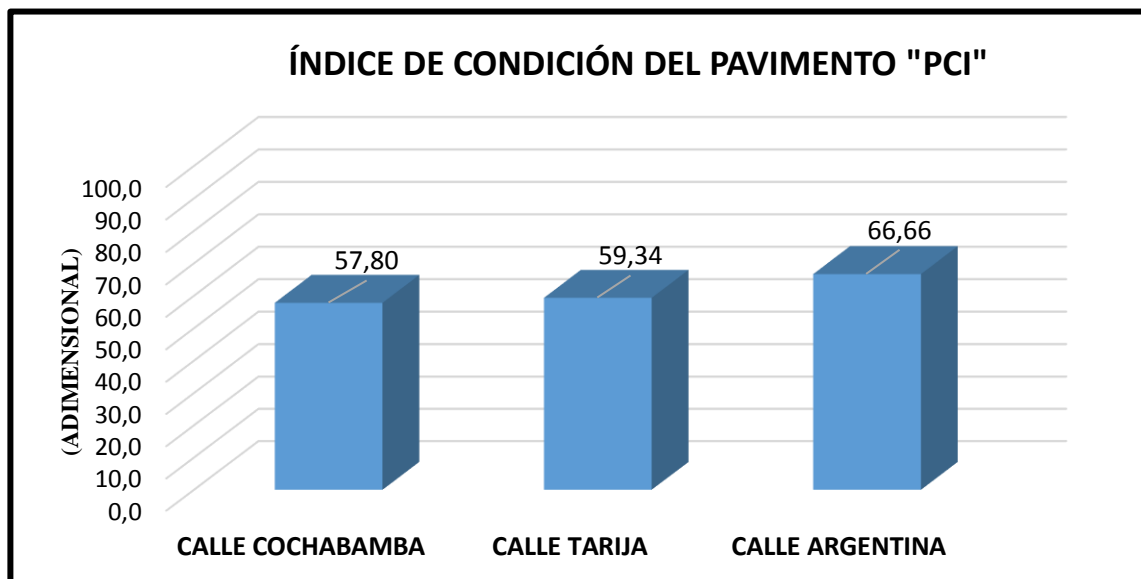
Finalmente podemos decir que los valores obtenidos del PCI (Índice de Condición del Pavimento) de los tramos en estudio están dentro de los intervalos de confianza, ya que los resultados obtenidos están totalmente respaldados por técnicas y procedimientos estadísticos, de forma que, los resultados pueden ser tomados como reales, tanto para la presente investigación, como para futuras investigaciones que tengan relación con los mismos.

Tabla 4.14 - Resultados del estado de las unidades de muestreo - PCI

TRAMO DE EVALUACIÓN	ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
CALLES	PCI "CALCULADO"	CLASIFICACIÓN
Cochabamba	57,80	Bueno
Tarija	59,34	Bueno
Argentina	66,66	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5 - Resultados del Índice de Condición del Pavimento - PCI



Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3. Análisis de resultados del método de evaluación PCI

ESTADÍSTICA INFERENCIAL - CALLE COCHABAMBA

Se realizara una estadística inferencial al PCI (Índice de Condición del Pavimento), para formular proposiciones en base a la información de los valores obtenidos de las muestras, mediante técnicas estadísticas para determinar el riesgo de la afirmación propuesta.

PRUEBA DE HIPÓTESIS RELACIONADA CON LA MEDIA

CASO: $n < 30$ (MUESTRAS PEQUEÑAS)

Parámetro: μ (Es la medida poblacional cuyo valor se desea estimar).

Población con distribución **Normal**, varianza σ^2 **desconocida**.

Estimador: **T** (Variable aleatoria con distribución **T**, con $v = n-1$).

Valor propuesto para el parámetro: μ_0

Para realizar inferencias se usa una variable aleatoria con distribución **T**.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}; \quad v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

PASOS A SEGUIR PARA LOS CÁLCULOS

1° Formulación de la Hipótesis Nula.

Donde: $H_0 =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 = 52,52$

2° Formulación de la Hipótesis Alternativa.

Donde: $H_a =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 > 52,52$

3° Especificar el nivel de significancia de la prueba α .

Donde: $\alpha =$ Nivel de significancia $\alpha = 5 \%$

4° Seleccionar el estadístico de prueba y definir la región de rechazo de H_0 .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}; \quad \text{tiene distribución } t \text{ con } v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

Donde: $\bar{x} =$ Media aritmética de la muestra.

$S =$ Desviación estándar de la muestra.

$n =$ Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 57,80$$

$$S = 13,31$$

$$n = 27$$

Región de rechazo de H_0

Cálculo del valor de distribución “ t_α ”

$$t_\alpha = [gl; \alpha] = [26; 0,05]$$

$$t_\alpha = [26; 0,05]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Nivel de significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$v = n - 1 = 27 - 1 = 26$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [26 ; 0,05] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$$t_\alpha = 1,706 \quad \text{Valor obtenido de “TABLAS”}$$

$$\text{Rechazar } H_0 \quad \text{Sí: } t > t_\alpha = 1,706$$

5° Con los datos de la muestra, calcular el valor estadístico.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{57,80 - 52,52}{\frac{13,31}{\sqrt{27}}} = 2,061$$

Por lo tanto: $t = 2,061 > t_\alpha = 1,706$ **OK...!!! Si cae en la región de rechazo**

6° Criterio de decisión: Verificación de las Hipótesis

Por lo tanto se rechaza que la media es igual a 52,52 y se concluye con un nivel de significancia del 5 % que el valor promedio del PCI (Índice de Condición del Pavimento) es mayor a 52,52.

ESTADÍSTICA INFERENCIAL - CALLE TARIJA

Se realizara una estadística inferencial al PCI (Índice de Condición del Pavimento), para formular proposiciones en base a la información de los valores obtenidos de las muestras, mediante técnicas estadísticas para determinar el riesgo de la afirmación propuesta.

PRUEBA DE HIPÓTESIS RELACIONADA CON LA MEDIA

CASO: $n < 30$ (MUESTRAS PEQUEÑAS)

Parámetro: μ (Es la medida poblacional cuyo valor se desea estimar).

Población con distribución **Normal**, varianza σ^2 **desconocida**.

Estimador: **T** (Variable aleatoria con distribución **T**, con $v = n-1$).

Valor propuesto para el parámetro: μ_0

Para realizar inferencias se usa una variable aleatoria con distribución **T**.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \quad v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

PASOS A SEGUIR PARA LOS CÁLCULOS

1° Formulación de la Hipótesis Nula.

Donde: $H_0 =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 = 54,69$

2° Formulación de la Hipótesis Alternativa.

Donde: $H_a =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 > 54,69$

3° Especificar el nivel de significancia de la prueba α .

Donde: $\alpha =$ Nivel de significancia $\alpha = 5 \%$

4° Seleccionar el estadístico de prueba y definir la región de rechazo de H_0 .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \text{ tiene distribución } t \text{ con } v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

Donde: \bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos: $\bar{x} = 59,34$
 $S = 11,99$
 $n = 28$

Región de rechazo de H_0

Cálculo del valor de distribución “ t_α ”

$$t_\alpha = [gl; \alpha] = [27; 0,05]$$

$$t_\alpha = [27; 0,05]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Nivel de significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$v = n - 1 = 28 - 1 = 27$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [27 ; 0,05] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$t_\alpha = 1,703$ Valor obtenido de “TABLAS”

Rechazar H_0 Sí: $t > t_\alpha = 1,703$

5° Con los datos de la muestra, calcular el valor estadístico.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{59,34 - 54,69}{\frac{11,99}{\sqrt{28}}} = 2,052$$

Por lo tanto: $t = 2,052 > t_\alpha = 1,703$ **OK...!!! Si cae en la región de rechazo**

6° Criterio de decisión: Verificación de las Hipótesis

Por lo tanto se rechaza que la media es igual a 54,69 y se concluye con un nivel de significancia del 5 % que el valor promedio del PCI (Índice de Condición del Pavimento) es mayor a 54,69.

ESTADÍSTICA INFERENCIAL - CALLE ARGENTINA

Se realizara una estadística inferencial al PCI (Índice de Condición del Pavimento), para formular proposiciones en base a la información de los valores obtenidos de las muestras, mediante técnicas estadísticas para determinar el riesgo de la afirmación propuesta.

PRUEBA DE HIPÓTESIS RELACIONADA CON LA MEDIA

CASO: $n < 30$ (MUESTRAS PEQUEÑAS)

Parámetro: μ (Es la medida poblacional cuyo valor se desea estimar).

Población con distribución **Normal**, varianza σ^2 **desconocida**.

Estimador: **T** (Variable aleatoria con distribución **T**, con $v = n-1$).

Valor propuesto para el parámetro: μ_0

Para realizar inferencias se usa una variable aleatoria con distribución **T**.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \quad v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

PASOS A SEGUIR PARA LOS CÁLCULOS

1° Formulación de la Hipótesis Nula.

Donde: $H_0 =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 = 58,68$

2° Formulación de la Hipótesis Alternativa.

Donde: $H_a =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 > 58,68$

3° Especificar el nivel de significancia de la prueba α .

Donde: $\alpha =$ Nivel de significancia $\alpha = 5 \%$

4° Seleccionar el estadístico de prueba y definir la región de rechazo de H_0 .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \text{ tiene distribución } t \text{ con } v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

Donde: \bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 66,66$$

$$S = 13,19$$

$$n = 13$$

Región de rechazo de H_0

Cálculo del valor de distribución " t_α "

$$t_\alpha = [gl; \alpha] = [12; 0,05]$$

$$t_\alpha = [12; 0,05]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Nivel de significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$v = n - 1 = 13 - 1 = 12$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [12 ; 0,05] en la tabla de valores críticos de "t" de **Student** se tiene:

$$t_\alpha = 1,782 \text{ Valor obtenido de "TABLAS"}$$

$$\text{Rechazar } H_0 \text{ Sí: } t > t_\alpha = 1,782$$

5° Con los datos de la muestra, calcular el valor estadístico.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{66,66 - 58,68}{\frac{13,19}{\sqrt{13}}} = 2,181$$

Por lo tanto: $t = 2,181 > t_\alpha = 1,782$ **OK...!!! Si cae en la región de rechazo**

6° Criterio de decisión: Verificación de las Hipótesis

Por lo tanto se rechaza que la media es igual a 58,68 y se concluye con un nivel de significancia del 5 % que el valor promedio del PCI (Índice de Condición del Pavimento) es mayor a 58,68.

4.1.2. Evaluación por el método PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)

4.1.2.1. Procedimiento de cálculo del PSI

El índice de serviciabilidad presente da una orientación sobre el estado del pavimento desde el punto de vista del usuario, por lo que es necesario que se exprese el estado de la superficie del pavimento en términos de serviciabilidad.

El método utilizado en el presente trabajo es el más práctico puesto que expresa el estado de la superficie en términos de severidad y los coeficientes de acuerdo a apreciaciones en el terreno; se los identifica según los criterios del proyectista.

Un método práctico desarrollado por los ensayos de la AASHO para pavimentos flexibles y rígidos es la utilización de la siguiente ecuación:

$$PSI = 6,20 - 0,8 * C_1 - 0,3 * C_2 - 0,1 * C_3$$

Donde: C₁, C₂, C₃, son apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento de acuerdo a la siguiente escala ver Tabla 4.15.

Tabla 4.15 - Coeficientes de estado del pavimento rígido

RUGOSIDAD LONGITUDINAL	VALOR “C₁”
Perfectamente lisa	1
Algo rugosa	2
Medianamente rugosa	3
Rugosidad alta	4
Extremadamente rugosa	5
INTENSIDAD DE GRIETAS Y PARCHES	VALOR “C₂”
Ausencia de grietas	1
Grietas y parches escasos	2
Fuertemente agrietado y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4
DEFORMACIÓN TRANSVERSAL	VALOR “C₃”
Sin deformidad, ni ahullamiento	1
Medianamente deformado y ahuellado	2
Fuertemente deformado y ahuellado	3

Fuente: AASHO Road Test (1955 – 1960)

Para el cálculo del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) de la sección del pavimento se utiliza la siguiente expresión:

$$\overline{\text{PSI}} = \frac{\sum \text{PSI}_i}{n}$$

Donde:

PSI_i = PSI de cada unidad evaluada.

n = Número de unidades existentes en la sección.

Tabla 4.16 - Cuantificación de fallas muestra "UM" PSI

MUESTRA	N° LOSAS	ABS. INI.	ABS. FIN.	"C ₁ "	"C ₂ "	"C ₃ "	PSI
"UM"	14	0+000	0+000	2	1	1	4,20

Fuente: Elaboración propia

CLASIFICACIÓN

Tabla 4.17 - Clasificación de la serviciabilidad según el valor del PSI

VALOR ÍNDICE DE SERVICIO PRESENTE (PSI)	TRANSITABILIDAD SERVICIO O PERFORMANCE
4 - 5	Muy Bueno
3 - 4	Bueno
2 - 3	Regular
1 - 2	Malo
0 - 1	Muy Malo

Fuente: Banco mundial para carreteras

Este valor encontrado según la escala o rango del PSI que se muestra en la Tabla 4.17 es correspondiente a un Índice de Servicio de: **MUY BUENO**.

Este proceso es reiterativo para cada una de las unidades de muestra inspeccionadas de todos los tramos en estudio, el cálculo del PSI de todas las unidades de muestra se muestran en el ANEXOS 6 más detalladamente.

4.1.2.2. Resultados del método de evaluación PSI

4.1.2.2.1. Resultados parciales del método de evaluación PSI

En las siguientes tablas se resumen los resultados de todas las unidades de muestreo de los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina).

*Tabla 4.18 - Resultados del Índice de Serviciabilidad Presente
PSI - Calle Cochabamba*

CALLE COCHABAMBA - CIUDAD DE BERMEJO PROG. 0+000 a PROG. 1+560			
TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	VALOR DEL PSI	CLASIFICACIÓN
UM-1	0+000 - 0+024	3,00	Regular
UM-2	0+072 - 0+096	4,20	Muy bueno
UM-3	0+144 - 0+168	3,10	Bueno
UM-4	0+217 - 0+241	2,30	Regular
UM-5	0+288 - 0+312	3,90	Bueno
UM-6	0+360 - 0+384	2,80	Regular
UM-7	0+432 - 0+456	3,10	Bueno
UM-8	0+504 - 0+528	2,30	Regular
UM-9	0+576 - 0+600	3,10	Bueno
UM-10	0+648 - 0+672	3,90	Bueno
UM-11	0+720 - 0+744	3,10	Bueno
UM-12	0+792 - 0+816	2,80	Regular
UM-13	0+865 - 0+890	2,30	Regular
UM-14	0+941 - 0+967	3,90	Bueno
UM-15	1+012 - 1+035	3,60	Bueno
UM-16	1+081 - 1+105	2,80	Regular
UM-17	1+154 - 1+179	3,10	Bueno
UM-18	1+227 - 1+250	2,80	Regular
UM-19	1+297 - 1+320	3,10	Bueno
UM-20	1+368 - 1+392	3,10	Bueno
UM-21	1+439 - 1+463	2,30	Regular
UM-22	1+511 - 1+536	2,80	Regular
UM-23	0+288 - 0+312	3,10	Bueno
UM-24	0+217 - 0+241	3,90	Bueno
UM-25	0+144 - 0+168	3,90	Bueno
UM-26	0+072 - 0+096	3,10	Bueno
UM-27	0+000 - 0+024	3,90	Bueno

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.19 - Resultados del Índice de Serviciabilidad Presente
PSI - Calle Tarija**

CALLE TARIJA - CIUDAD DE BERMEJO PROG. 0+000 a PROG. 1+343			
TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	VALOR DEL PSI	CLASIFICACIÓN
UM-1	0+000 - 0+027	3,90	Bueno
UM-2	0+055 - 0+083	3,90	Bueno
UM-3	0+110 - 0+138	3,10	Bueno
UM-4	0+162 - 0+186	4,20	Muy bueno
UM-5	0+210 - 0+234	3,90	Bueno
UM-6	0+258 - 0+281	4,20	Muy bueno
UM-7	0+305 - 0+329	3,10	Bueno
UM-8	0+352 - 0+376	3,90	Bueno
UM-9	0+400 - 0+424	3,10	Bueno
UM-10	0+447 - 0+471	3,90	Bueno
UM-11	0+495 - 0+520	4,70	Muy bueno
UM-12	0+545 - 0+571	3,90	Bueno
UM-13	0+596 - 0+621	3,10	Bueno
UM-14	0+643 - 0+665	3,90	Bueno
UM-15	0+687 - 0+709	2,80	Regular
UM-16	0+731 - 0+757	3,10	Bueno
UM-17	0+783 - 0+809	3,10	Bueno
UM-18	0+835 - 0+861	3,90	Bueno
UM-19	0+885 - 0+909	3,10	Bueno
UM-20	0+934 - 0+958	2,30	Regular
UM-21	0+982 - 1+006	3,10	Bueno
UM-22	1+030 - 1+054	3,10	Bueno
UM-23	1+078 - 1+102	3,10	Bueno
UM-24	1+126 - 1+149	3,90	Bueno
UM-25	1+173 - 1+197	3,10	Bueno
UM-26	1+221 - 1+245	3,10	Bueno
UM-27	1+270 - 1+294	3,90	Bueno
UM-28	1+318 - 1+343	3,10	Bueno

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.20 - Resultados del Índice de Serviciabilidad Presente
PSI - Calle Argentina**

CALLE ARGENTINA - CIUDAD DE BERMEJO PROG. 0+000 a PROG. 0+372			
TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	VALOR DEL PSI	CLASIFICACIÓN
UM-1	0+000 - 0+023	3,90	Bueno
UM-2	0+023 - 0+047	4,20	Muy bueno
UM-3	0+047 - 0+071	2,60	Regular
UM-4	0+071 - 0+095	3,10	Bueno
UM-5	0+095 - 0+119	4,70	Muy bueno
UM-6	0+119 - 0+153	3,10	Bueno
UM-7	0+153 - 0+187	2,60	Regular
UM-8	0+187 - 0+221	3,10	Bueno
UM-9	0+221 - 0+256	2,30	Regular
UM-10	0+256 - 0+290	3,10	Bueno
UM-11	0+306 - 0+323	3,10	Bueno
UM-12	0+323 - 0+339	2,30	Regular
UM-13	0+339 - 0+356	3,10	Bueno

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2. Resultados del estado de las unidades de muestreo de los tramos en estudio

ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CALLE COCHABAMBA

Se realizará un tratamiento estadístico al PSI (Índice de Serviciabilidad Presente), para poder verificar que los resultados parciales obtenidos son coherentes para ser objeto de estudio de este trabajo de investigación.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

*Resultados de las unidades de muestreo
PSI - Calle Cochabamba*

n	(x_i) Datos	(x_i) Ordenada	$x_i - \bar{x}$	$[x_i - \bar{x}]^2$
1	3,00	2,30	-0,86	0,74
2	4,20	2,30	-0,86	0,74
3	3,10	2,30	-0,86	0,74
4	2,30	2,30	-0,86	0,74
5	3,90	2,80	-0,36	0,13
6	2,80	2,80	-0,36	0,13
7	3,10	2,80	-0,36	0,13
8	2,30	2,80	-0,36	0,13
9	3,10	2,80	-0,36	0,13
10	3,90	3,00	-0,16	0,03
11	3,10	3,10	-0,06	0,00
12	2,80	3,10	-0,06	0,00
13	2,30	3,10	-0,06	0,00
14	3,90	3,10	-0,06	0,00
15	3,60	3,10	-0,06	0,00
16	2,80	3,10	-0,06	0,00
17	3,10	3,10	-0,06	0,00
18	2,80	3,10	-0,06	0,00
19	3,10	3,10	-0,06	0,00
20	3,10	3,60	0,44	0,19
21	2,30	3,90	0,74	0,55
22	2,80	3,90	0,74	0,55
23	3,10	3,90	0,74	0,55
24	3,90	3,90	0,74	0,55
25	3,90	3,90	0,74	0,55
26	3,10	3,90	0,74	0,55
27	3,90	4,20	1,04	1,08
	$\Sigma =$	85,30	0,00	8,23

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de tendencia central son indicadores que tienden a sintetizar o describir de la manera más representativa las características de un conjunto de datos.

Primeramente se ordenó los datos de menor a mayor para poder calcular los siguientes parámetros estadísticos:

Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{85,30}{27} = 3,16$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

x_i = Es la observación individual de cada elemento de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Mediana:

Sí: “n” es impar

$$Posición_{Me} = \frac{n + 1}{2} = \frac{27 + 1}{2} = 14$$

Por lo tanto tenemos que la mediana es:

$$Me = 3,10$$

Este valor nos indica que el 50 % de los valores están por encima de 3,10 y el otro 50 % por debajo de 3,10.

Moda:

Es el valor que más se repite dentro de toda la muestra.

$$Mo = 3,10$$

Relación empírica entre Media, Mediana y Moda:

DISTRIBUCIONES	RELACIÓN
Simétricas	$\bar{x} = Me = Mo$
Asimétricas a la derecha	$Mo > Me > \bar{x}$
Asimétricas a la izquierda	$Mo < Me < \bar{x}$

En nuestro caso vemos que no existe simetría en nuestros resultados obtenidos, ya que la media aritmética, la mediana y la moda son de diferentes valores debido a su distribución.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Son un conjunto de indicadores que nos expresan el grado de concentración o alejamiento de los datos respecto de la media aritmética.

Rango de los datos:

$$R = x_{m\acute{a}x.} - x_{m\acute{i}n.} = 4,20 - 2,30 = 1,90$$

Donde:

$x_{m\acute{a}x.}$ = Es el mayor valor de la muestra.

$x_{m\acute{i}n.}$ = Es el menor valor de la muestra.

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{8,23}{27 - 1}} = 0,56$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 0,56.

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} * [100\%] = \frac{0,56}{3,16} * [100\%] = 17,80\%$$

Si Cv es alto (mayor al 25 %) los datos están muy alejados del promedio, o el control de calidad de la variable media es pobre. Si Cv es bajo (menor al 5 %) los datos se acercan mucho al promedio y el control de calidad es excelente.

Lo que significa que la variación de los datos es de un 17,80 % por lo tanto la media aritmética es representativa en un 82,20 %.

MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Estas medidas indican la forma que toma la distribución de frecuencias de los datos observados.

Coefficiente de sesgo:

$$Cs = \frac{3 [\bar{x} - Me]}{S} = \frac{3 [3,16 - 3,10]}{0,56} = 0,32$$

Los resultados obtenidos se pueden clasificar de la siguiente manera:

$C_s > 0$	$C_s = 0$	$C_s < 0$
Asimetría positiva Sesgo hacia la izquierda Cola hacia la derecha	Simetría	Asimetría negativa Sesgo hacia la derecha Cola hacia la izquierda

La oblicuidad se debe a que algunos de los valores están por arriba del valor promedio, por lo que ésta es de 0,32 indicando que la media pudo ser menor, ya que ha sido influenciada por estos datos de mayor valor, esto significa que la mayor cantidad de datos se agrupa en valores menores de 3,16.

Lo que significa que la serie de datos cuenta con una asimetría positiva, ya que la oblicuidad que se obtuvo es positiva, lo que significa que se presenta el sesgo hacia la izquierda y la cola hacia la derecha ya que la serie de datos presenta una distribución asimétrica a la izquierda ($\text{Moda} < \text{Mediana} < \text{Media aritmética}$).

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

PSI - Calle Cochabamba

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS		VALORES
Medidas de tendencia central		
Número de datos	n =	27
Media aritmética	\bar{x} =	3,16
Mediana	Me =	3,10
Moda	Mo =	3,10
Medidas de dispersión		
Desviación estándar	S =	0,56
Coeficiente de variación	Cv =	17,80 %
Valor mínimo	$x_{\min.}$ =	2,30
Valor máximo	$x_{\max.}$ =	4,20
Rango	R =	1,90
Medidas de asimetría		
Coeficiente de sesgo	C_s =	0,32

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA

Debido a que la muestra tiene menos de treinta elementos y se desconoce la desviación estándar de la población, es necesario utilizar una distribución “t” de **Student** para estimar el intervalo de confianza de la serie.

Se utilizara para el presente estudio un coeficiente de confianza convencional del 95 %, ya que no se trata de ninguna investigación de tipo político o médico.

Estimación de intervalo de confianza al 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

IC = Intervalo de confianza a calcular.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 3,16$$

$$S = 0,56$$

$$n = 27$$

Cálculo del valor de distribución “t”

$$t = \left[gl ; 1 - \frac{\alpha}{2} \right] = \left[26 ; 1 - \frac{0,05}{2} \right]$$

$$t = [26 ; 0,975]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$gl = n - 1 = 27 - 1 = 26$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**26 ; 0,975**] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$$t = 2,06 \text{ Valor obtenido de “TABLAS”}$$

Reemplazando valores en la ecuación del intervalo de confianza tenemos:

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$$IC = 3,16 \pm 2,06 * \left[\frac{0,56}{\sqrt{27}} \right]$$

$$IC = 3,16 \pm 2,06 * [0,11]$$

$$IC = 3,16 \pm 0,22$$

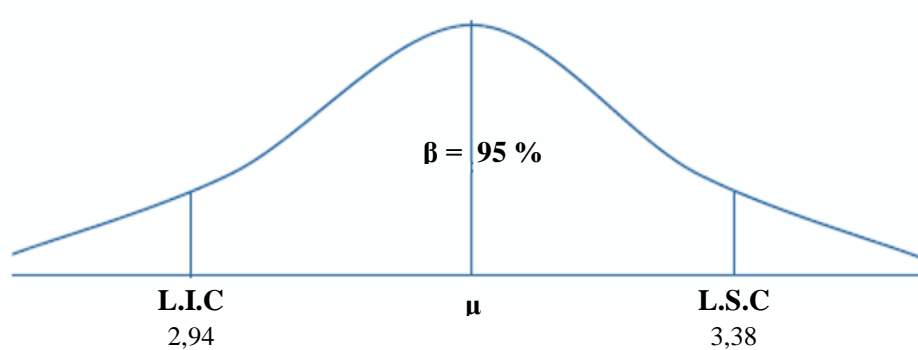
$$L.I.C = 2,94 \text{ "Límite Inferior de Confianza"}$$

$$L.S.C = 3,38 \text{ "Límite Superior de Confianza"}$$

$$E = 0,22 \text{ "Error en la Estimación"}$$

INTERVALOS DE CONFIANZA

PSI - Calle Cochabamba



De acuerdo a la estimación puntual, el valor promedio del PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) es de 3,16; una desviación estándar de 0,56; el error estándar del muestreo es de 0,11 con un máximo error en la estimación E, con una aceptación del 95 % de 0,22. Lo que quiere decir que existe un 95 % de confianza de que el valor promedio calculado del PSI este entre 2,94 y 3,38.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CALLE TARIJA

Se realizará un tratamiento estadístico al PSI (Índice de Serviciabilidad Presente), para poder verificar que los resultados parciales obtenidos son coherentes para ser objeto de estudio de este trabajo de investigación.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

*Resultados de las unidades de muestreo
PSI - Calle Tarija*

n	(x_i) Datos	(x_i) Ordenada	$x_i - \bar{x}$	$[x_i - \bar{x}]^2$
1	3,90	2,30	-1,18	1,40
2	3,90	2,80	-0,68	0,47
3	3,10	3,10	-0,38	0,15
4	4,20	3,10	-0,38	0,15
5	3,90	3,10	-0,38	0,15
6	4,20	3,10	-0,38	0,15
7	3,10	3,10	-0,38	0,15
8	3,90	3,10	-0,38	0,15
9	3,10	3,10	-0,38	0,15
10	3,90	3,10	-0,38	0,15
11	4,70	3,10	-0,38	0,15
12	3,90	3,10	-0,38	0,15
13	3,10	3,10	-0,38	0,15
14	3,90	3,10	-0,38	0,15
15	2,80	3,10	-0,38	0,15
16	3,10	3,90	0,42	0,17
17	3,10	3,90	0,42	0,17
18	3,90	3,90	0,42	0,17
19	3,10	3,90	0,42	0,17
20	2,30	3,90	0,42	0,17
21	3,10	3,90	0,42	0,17
22	3,10	3,90	0,42	0,17
23	3,10	3,90	0,42	0,17
24	3,90	3,90	0,42	0,17
25	3,10	3,90	0,42	0,17
26	3,10	4,20	0,72	0,52
27	3,90	4,20	0,72	0,52
28	3,10	4,70	1,22	1,48
	$\Sigma =$	97,50	0,00	8,02

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de tendencia central son indicadores que tienden a sintetizar o describir de la manera más representativa las características de un conjunto de datos.

Primeramente se ordenó los datos de menor a mayor para poder calcular los siguientes parámetros estadísticos:

Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{97,50}{28} = 3,48$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

x_i = Es la observación individual de cada elemento de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Mediana:

Sí: “n” es par

$$Posición_{Me} = \frac{1}{2} \left[\frac{n}{2} + \left(\frac{n}{2} + 1 \right) \right] = \frac{1}{2} \left[\frac{28}{2} + \left(\frac{28}{2} + 1 \right) \right] = 14,50$$

Haciendo una interpolación de datos tenemos:

$$14,00 \longrightarrow 3,10$$

$$14,50 \longrightarrow x$$

$$15,00 \longrightarrow 3,10$$

$$x = \left[\frac{3,10 - 3,10}{15,00 - 14,00} * (14,50 - 14,00) \right] + 3,10 = 3,10$$

Por lo tanto tenemos que la mediana es:

$$Me = 3,10$$

Este valor nos indica que el 50 % de los valores están por encima de 3,10 y el otro 50 % por debajo de 3,10.

Moda:

Es el valor que más se repite dentro de toda la muestra.

$$Mo = 3,10$$

Relación empírica entre Media, Mediana y Moda:

DISTRIBUCIONES	RELACIÓN
Simétricas	$\bar{x} = Me = Mo$
Asimétricas a la derecha	$Mo > Me > \bar{x}$
Asimétricas a la izquierda	$Mo < Me < \bar{x}$

En nuestro caso vemos que no existe simetría en nuestros resultados obtenidos, ya que la media aritmética, la mediana y la moda son de diferentes valores debido a su distribución.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Son un conjunto de indicadores que nos expresan el grado de concentración o alejamiento de los datos respecto de la media aritmética.

Rango de los datos:

$$R = x_{\text{máx.}} - x_{\text{mín.}} = 4,70 - 2,30 = 2,40$$

Donde:

$x_{\text{máx.}}$ = Es el mayor valor de la muestra.

$x_{\text{mín.}}$ = Es el menor valor de la muestra.

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{8,02}{28 - 1}} = 0,55$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 0,55.

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} * [100\%] = \frac{0,55}{3,48} * [100\%] = 15,65\%$$

Si Cv es alto (mayor al 25 %) los datos están muy alejados del promedio, o el control de calidad de la variable media es pobre. Si Cv es bajo (menor al 5 %) los datos se acercan mucho al promedio y el control de calidad es excelente.

Lo que significa que la variación de los datos es de un 15,65 % por lo tanto la media aritmética es representativa en un 84,35 %.

MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Estas medidas indican la forma que toma la distribución de frecuencias de los datos observados.

Coefficiente de sesgo:

$$C_s = \frac{3 [\bar{x} - Me]}{S} = \frac{3 [3,48 - 3,10]}{0,55} = 2,10$$

Los resultados obtenidos se pueden clasificar de la siguiente manera:

$C_s > 0$	$C_s = 0$	$C_s < 0$
Asimetría positiva Sesgo hacia la izquierda Cola hacia la derecha	Simetría	Asimetría negativa Sesgo hacia la derecha Cola hacia la izquierda

La oblicuidad se debe a que algunos de los valores están por arriba del valor promedio, por lo que ésta es de 2,10 indicando que la media pudo ser menor, ya que ha sido influenciada por estos datos de mayor valor, esto significa que la mayor cantidad de datos se agrupa en valores menores de 3,48.

Lo que significa que la serie de datos cuenta con una asimetría positiva, ya que la oblicuidad que se obtuvo es positiva, lo que significa que se presenta el sesgo hacia la izquierda y la cola hacia la derecha ya que la serie de datos presenta una distribución asimétrica a la izquierda (Moda < Mediana < Media aritmética).

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

PSI - Calle Tarija

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	VALORES	
Medidas de tendencia central		
Número de datos	n =	28
Media aritmética	\bar{x} =	3,48
Mediana	Me =	3,10
Moda	Mo =	3,10
Medidas de dispersión		
Desviación estándar	S =	0,55
Coefficiente de variación	Cv =	15,65 %
Valor mínimo	$x_{\min.}$ =	2,30
Valor máximo	$x_{\max.}$ =	4,70
Rango	R =	2,40
Medidas de asimetría		
Coefficiente de sesgo	Cs =	2,10

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA

Debido a que la muestra tiene menos de treinta elementos y se desconoce la desviación estándar de la población, es necesario utilizar una distribución “t” de **Student** para estimar el intervalo de confianza de la serie.

Se utilizara para el presente estudio un coeficiente de confianza convencional del 95 %, ya que no se trata de ninguna investigación de tipo político o médico.

Estimación de intervalo de confianza al 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

IC = Intervalo de confianza a calcular.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 3,48$$

$$S = 0,55$$

$$n = 28$$

Cálculo del valor de distribución “t”

$$t = \left[gl; 1 - \frac{\alpha}{2} \right] = \left[27; 1 - \frac{0,05}{2} \right]$$

$$t = [27 ; 0,975]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$gl = n - 1 = 28 - 1 = 27$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [27 ; 0,975] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$$t = 2,052 \text{ Valor obtenido de "TABLAS"}$$

Reemplazando valores en la ecuación del intervalo de confianza tenemos:

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$$IC = 3,48 \pm 2,052 * \left[\frac{0,55}{\sqrt{28}} \right]$$

$$IC = 3,48 \pm 2,052 * [0,10]$$

$$IC = 3,48 \pm 0,21$$

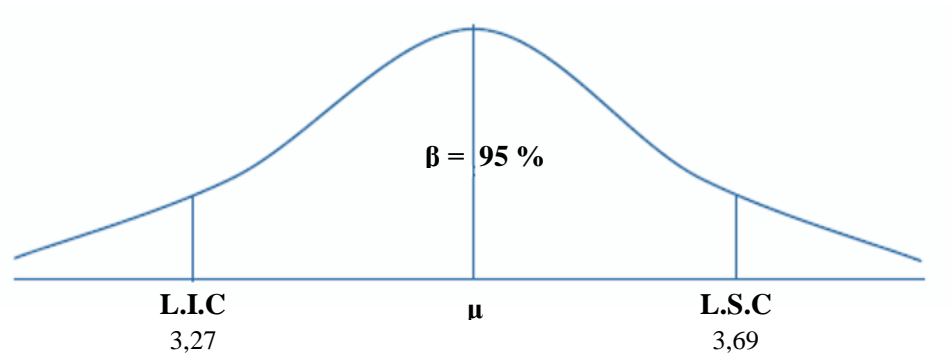
$$L.I.C = 3,27 \text{ "Límite Inferior de Confianza"}$$

$$L.S.C = 3,69 \text{ "Límite Superior de Confianza"}$$

$$E = 0,21 \text{ "Error en la Estimación"}$$

INTERVALOS DE CONFIANZA

PSI - Calle Tarija



De acuerdo a la estimación puntual, el valor promedio del PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) es de 3,48; una desviación estándar de 0,55; el error estándar del muestreo es de 0,10 con un máximo error en la estimación E, con una aceptación del 95 % de 0,21. Lo que quiere decir que existe un 95 % de confianza de que el valor promedio calculado del PSI este entre 3,27 y 3,69.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CALLE ARGENTINA

Se realizará un tratamiento estadístico al PSI (Índice de Serviciabilidad Presente), para poder verificar que los resultados parciales obtenidos son coherentes para ser objeto de estudio de este trabajo de investigación.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

*Resultados de las unidades de muestreo
PSI - Calle Argentina*

n	(x_i) Datos	(x_i) Ordenada	$x_i - \bar{x}$	$[x_i - \bar{x}]^2$
1	3,90	2,30	-0,87	0,76
2	4,20	2,30	-0,87	0,76
3	2,60	2,60	-0,57	0,32
4	3,10	2,60	-0,57	0,32
5	4,70	3,10	-0,07	0,00
6	3,10	3,10	-0,07	0,00
7	2,60	3,10	-0,07	0,00
8	3,10	3,10	-0,07	0,00
9	2,30	3,10	-0,07	0,00
10	3,10	3,10	-0,07	0,00
11	3,10	3,90	0,73	0,53
12	2,30	4,20	1,03	1,06
13	3,10	4,70	1,53	2,34
	$\Sigma =$	41,20	0,00	6,13

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de tendencia central son indicadores que tienden a sintetizar o describir de la manera más representativa las características de un conjunto de datos.

Primeramente se ordenó los datos de menor a mayor para poder calcular los siguientes parámetros estadísticos:

Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{41,20}{13} = 3,17$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

x_i = Es la observación individual de cada elemento de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Mediana:

Sí: “n” es impar

$$Posición_{Me} = \frac{n + 1}{2} = \frac{13 + 1}{2} = 7$$

Por lo tanto tenemos que la mediana es:

$$Me = 3,10$$

Este valor nos indica que el 50 % de los valores están por encima de 3,10 y el otro 50 % por debajo de 3,10.

Moda:

Es el valor que más se repite dentro de toda la muestra.

$$Mo = 3,10$$

Relación empírica entre Media, Mediana y Moda:

DISTRIBUCIONES	RELACIÓN
Simétricas	$\bar{x} = Me = Mo$
Asimétricas a la derecha	$Mo > Me > \bar{x}$
Asimétricas a la izquierda	$Mo < Me < \bar{x}$

En nuestro caso vemos que no existe simetría en nuestros resultados obtenidos, ya que la media aritmética, la mediana y la moda son de diferentes valores debido a su distribución.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Son un conjunto de indicadores que nos expresan el grado de concentración o alejamiento de los datos respecto de la media aritmética.

Rango de los datos:

$$R = x_{m\acute{a}x.} - x_{m\acute{i}n.} = 4,70 - 2,30 = 2,40$$

Donde:

$x_{m\acute{a}x.}$ = Es el mayor valor de la muestra.

$x_{m\acute{i}n.}$ = Es el menor valor de la muestra.

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{6,13}{13 - 1}} = 0,71$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 0,71.

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} * [100\%] = \frac{0,71}{3,17} * [100\%] = 22,55\%$$

Si Cv es alto (mayor al 25 %) los datos están muy alejados del promedio, o el control de calidad de la variable media es pobre. Si Cv es bajo (menor al 5 %) los datos se acercan mucho al promedio y el control de calidad es excelente.

Lo que significa que la variación de los datos es de un 22,55 % por lo tanto la media aritmética es representativa en un 77,45 %.

MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Estas medidas indican la forma que toma la distribución de frecuencias de los datos observados.

Coefficiente de sesgo:

$$Cs = \frac{3 [\bar{x} - Me]}{S} = \frac{3 [3,17 - 3,10]}{0,71} = 0,29$$

Los resultados obtenidos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Cs > 0	Cs = 0	Cs < 0
Asimetría positiva Sesgo hacia la izquierda Cola hacia la derecha	Simetría	Asimetría negativa Sesgo hacia la derecha Cola hacia la izquierda

La oblicuidad se debe a que algunos de los valores están por arriba del valor promedio, por lo que ésta es de 0,29 indicando que la media pudo ser menor, ya que ha sido influenciada por estos datos de mayor valor, esto significa que la mayor cantidad de datos se agrupa en valores menores de 3,17.

Lo que significa que la serie de datos cuenta con una asimetría positiva, ya que la oblicuidad que se obtuvo es positiva, lo que significa que se presenta el sesgo hacia la izquierda y la cola hacia la derecha ya que la serie de datos presenta una distribución asimétrica a la izquierda (Moda < Mediana < Media aritmética).

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO
PSI - Calle Argentina

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS		VALORES
Medidas de tendencia central		
Número de datos	n =	13
Media aritmética	\bar{x} =	3,17
Mediana	Me =	3,10
Moda	Mo =	3,10
Medidas de dispersión		
Desviación estándar	S =	0,71
Coefficiente de variación	Cv =	22,55 %
Valor mínimo	$x_{\min.}$ =	2,30
Valor máximo	$x_{\max.}$ =	4,70
Rango	R =	2,40
Medidas de asimetría		
Coefficiente de sesgo	Cs =	0,29

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA

Debido a que la muestra tiene menos de treinta elementos y se desconoce la desviación estándar de la población, es necesario utilizar una distribución “t” de **Student** para estimar el intervalo de confianza de la serie.

Se utilizara para el presente estudio un coeficiente de confianza convencional del 95 %, ya que no se trata de ninguna investigación de tipo político o médico.

Estimación de intervalo de confianza al 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

IC = Intervalo de confianza a calcular.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 3,17$$

$$S = 0,71$$

$$n = 13$$

Cálculo del valor de distribución "t"

$$t = \left[gl; 1 - \frac{\alpha}{2} \right] = \left[12; 1 - \frac{0,05}{2} \right]$$

$$t = [12 ; 0,975]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$gl = n - 1 = 13 - 1 = 12$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**12 ; 0,975**] en la tabla de valores críticos de "t" de **Student** se tiene:

$$t = \mathbf{2,18}$$
 Valor obtenido de "TABLAS"

Reemplazando valores en la ecuación del intervalo de confianza tenemos:

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$$IC = 3,17 \pm 2,18 * \left[\frac{0,71}{\sqrt{13}} \right]$$

$$IC = 3,17 \pm 2,18 * [0,20]$$

$$IC = 3,17 \pm 0,43$$

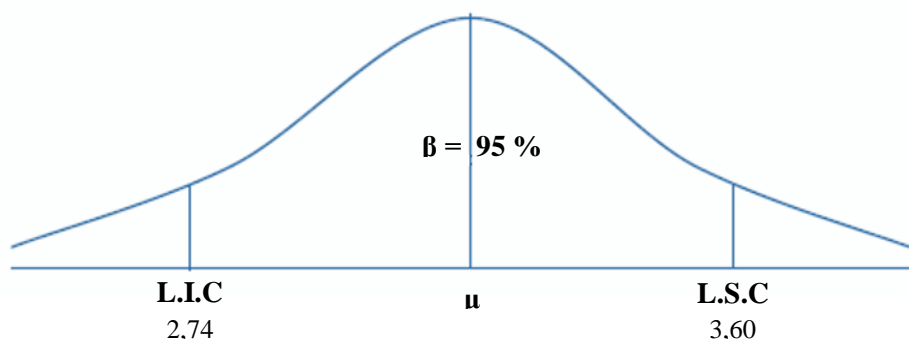
$$L.I.C = 2,74 \text{ "Límite Inferior de Confianza"}$$

$$L.S.C = 3,60 \text{ "Límite Superior de Confianza"}$$

$$E = 0,43 \text{ "Error en la Estimación"}$$

INTERVALOS DE CONFIANZA

PSI - Calle Argentina



De acuerdo a la estimación puntual, el valor promedio del PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) es de 3,17; una desviación estándar de 0,71; el error estándar del muestreo es de 0,20 con un máximo error en la estimación E, con una aceptación del 95 % de 0,43. Lo que quiere decir que existe un 95 % de confianza de que el valor promedio calculado del PSI este entre 2,74 y 3,60.

De acuerdo al muestreo y al análisis estadístico efectuado a los tramos de estudio, el resumen de los resultados obtenidos es el siguiente:

PARÁMETROS	\bar{x}	Me	Mo	S	Cv	Cs	L.I.C	L.S.C	E
Calle Cochabamba	3,16	3,10	3,10	0,56	17,80 %	0,32	2,94	3,38	0,22
Calle Tarija	3,48	3,10	3,10	0,55	15,65 %	2,10	3,27	3,69	0,21
Calle Argentina	3,17	3,10	3,10	0,71	22,55 %	0,29	2,74	3,60	0,43

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra cada uno de los valores promedios obtenidos, ya que cada valor obtenido es el más representativo de cada uno de los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina), el cual deberá ser el valor que se le establecerá al PSI (Índice de Serviciabilidad Presente), como valor estimado para la evaluación superficial.

Así también por medio de los cálculos efectuados, se obtuvo el intervalo de confianza en el cual oscilara el valor necesario para cada uno de los tramos en estudio. Tomando en cuenta este dato, se puede efectuar una comparación de los valores estimados según los valores del PSI y los intervalos de confianza establecidos.

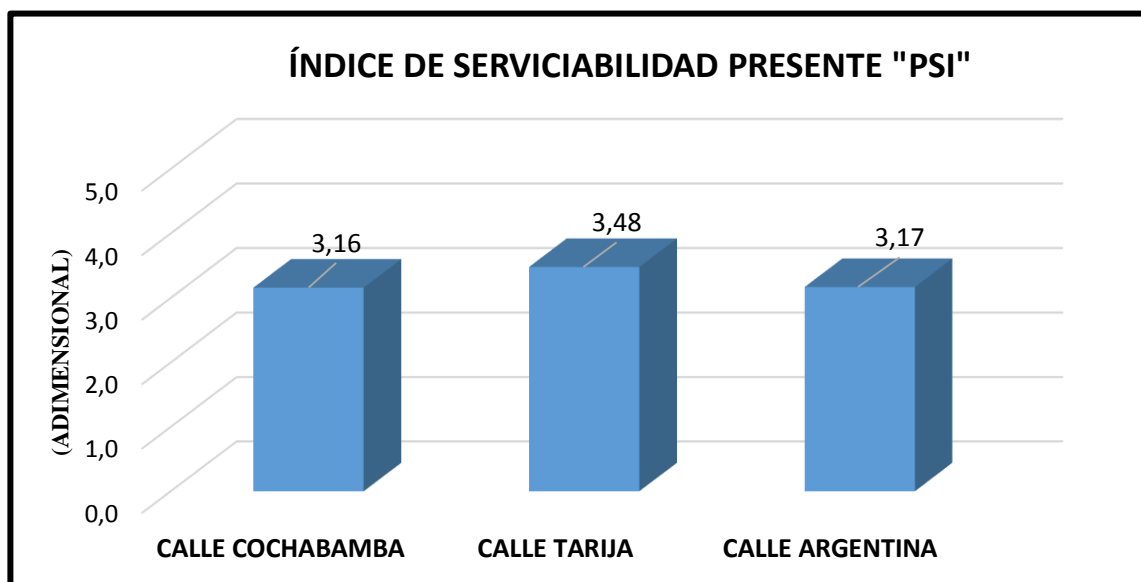
Finalmente podemos decir que los valores obtenidos del PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) de los tramos en estudio están dentro de los intervalos de confianza, ya que los resultados obtenidos están totalmente respaldados por técnicas y procedimientos estadísticos, de forma que, los resultados pueden ser tomados como reales, tanto para la presente investigación, como para futuras investigaciones que tengan relación con los mismos.

Tabla 4.21 - Resultados del estado de las unidades de muestreo - PSI

TRAMO DE EVALUACIÓN	ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
CALLES	PSI "CALCULADO"	CLASIFICACIÓN
Cochabamba	3,16	Bueno
Tarija	3,48	Bueno
Argentina	3,17	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6 - Resultados del Índice de Serviciabilidad Presente - PSI



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3. Análisis de resultados del método de evaluación PSI

ESTADÍSTICA INFERENCIAL - CALLE COCHABAMBA

Se realizara una estadística inferencial al PSI (Índice de Serviciabilidad Presente), para formular proposiciones en base a la información de los valores obtenidos de las muestras, mediante técnicas estadísticas para determinar el riesgo de la afirmación propuesta.

PRUEBA DE HIPÓTESIS RELACIONADA CON LA MEDIA

CASO: $n < 30$ (MUESTRAS PEQUEÑAS)

Parámetro: μ (Es la medida poblacional cuyo valor se desea estimar).

Población con distribución **Normal**, varianza σ^2 **desconocida**.

Estimador: **T** (Variable aleatoria con distribución **T**, con $v = n-1$).

Valor propuesto para el parámetro: μ_0

Para realizar inferencias se usa una variable aleatoria con distribución **T**.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \quad v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

PASOS A SEGUIR PARA LOS CÁLCULOS

1° Formulación de la Hipótesis Nula.

Donde: $H_0 =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 = 2,94$

2° Formulación de la Hipótesis Alterna.

Donde: $H_a =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 > 2,94$

3° Especificar el nivel de significancia de la prueba α .

Donde: $\alpha =$ Nivel de significancia $\alpha = 5 \%$

4° Seleccionar el estadístico de prueba y definir la región de rechazo de H_0 .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \text{ tiene distribución } t \text{ con } v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

Donde: $\bar{x} =$ Media aritmética de la muestra.

$S =$ Desviación estándar de la muestra.

$n =$ Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\begin{aligned}\hat{x} &= 3,16 \\ S &= 0,56 \\ n &= 27\end{aligned}$$

Región de rechazo de H_0

Cálculo del valor de distribución “ t_α ”

$$t_\alpha = [gl; \alpha] = [26; 0,05]$$

$$t_\alpha = [26; 0,05]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Nivel de significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$v = n - 1 = 27 - 1 = 26$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**26 ; 0,05**] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$$t_\alpha = \mathbf{1,706}$$
 Valor obtenido de “TABLAS”

$$\text{Rechazar } H_0 \text{ Sí: } t > t_\alpha = \mathbf{1,706}$$

5° Con los datos de la muestra, calcular el valor estadístico.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{3,16 - 2,94}{\frac{0,56}{\sqrt{27}}} = \mathbf{2,041}$$

Por lo tanto: $t = \mathbf{2,041} > t_\alpha = \mathbf{1,706}$ **OK...!!! Si cae en la región de rechazo**

6° Criterio de decisión: Verificación de las Hipótesis

Por lo tanto se rechaza que la media es igual a 2,94 y se concluye con un nivel de significancia del 5 % que el valor promedio del PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) es mayor a 2,94.

ESTADÍSTICA INFERENCIAL - CALLE TARIJA

Se realizara una estadística inferencial al PSI (Índice de Serviciabilidad Presente), para formular proposiciones en base a la información de los valores obtenidos de las muestras, mediante técnicas estadísticas para determinar el riesgo de la afirmación propuesta.

PRUEBA DE HIPÓTESIS RELACIONADA CON LA MEDIA

CASO: $n < 30$ (MUESTRAS PEQUEÑAS)

Parámetro: μ (Es la medida poblacional cuyo valor se desea estimar).

Población con distribución **Normal**, varianza σ^2 **desconocida**.

Estimador: **T** (Variable aleatoria con distribución **T**, con $v = n-1$).

Valor propuesto para el parámetro: μ_0

Para realizar inferencias se usa una variable aleatoria con distribución **T**.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \quad v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

PASOS A SEGUIR PARA LOS CÁLCULOS

1° Formulación de la Hipótesis Nula.

Donde: $H_0 =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 = 3,27$

2° Formulación de la Hipótesis Alternativa.

Donde: $H_a =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 > 3,27$

3° Especificar el nivel de significancia de la prueba α .

Donde: $\alpha =$ Nivel de significancia $\alpha = 5 \%$

4° Seleccionar el estadístico de prueba y definir la región de rechazo de H_0 .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \text{ tiene distribución } t \text{ con } v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

Donde: \bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\hat{x} = 3,48$$

$$S = 0,55$$

$$n = 28$$

Región de rechazo de H_0

Cálculo del valor de distribución “ t_α ”

$$t_\alpha = [gl; \alpha] = [27; 0,05]$$

$$t_\alpha = [27; 0,05]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Nivel de significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$v = n - 1 = 28 - 1 = 27$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [27 ; 0,05] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$t_\alpha = 1,703$ Valor obtenido de “TABLAS”

Rechazar H_0 Sí: $t > t_\alpha = 1,703$

5° Con los datos de la muestra, calcular el valor estadístico.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{3,48 - 3,27}{\frac{0,55}{\sqrt{28}}} = 2,020$$

Por lo tanto: $t = 2,020 > t_\alpha = 1,703$ **OK...!!! Si cae en la región de rechazo**

6° Criterio de decisión: Verificación de las Hipótesis

Por lo tanto se rechaza que la media es igual a 3,27 y se concluye con un nivel de significancia del 5 % que el valor promedio del PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) es mayor a 3,27.

ESTADÍSTICA INFERENCIAL - CALLE ARGENTINA

Se realizara una estadística inferencial al PSI (Índice de Serviciabilidad Presente), para formular proposiciones en base a la información de los valores obtenidos de las muestras, mediante técnicas estadísticas para determinar el riesgo de la afirmación propuesta.

PRUEBA DE HIPÓTESIS RELACIONADA CON LA MEDIA

CASO: $n < 30$ (MUESTRAS PEQUEÑAS)

Parámetro: μ (Es la medida poblacional cuyo valor se desea estimar).

Población con distribución **Normal**, varianza σ^2 **desconocida**.

Estimador: **T** (Variable aleatoria con distribución **T**, con $v = n-1$).

Valor propuesto para el parámetro: μ_0

Para realizar inferencias se usa una variable aleatoria con distribución **T**.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \quad v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

PASOS A SEGUIR PARA LOS CÁLCULOS

1° Formulación de la Hipótesis Nula.

Donde: $H_0 =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 = 2,74$

2° Formulación de la Hipótesis Alterna.

Donde: $H_a =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 > 2,74$

3° Especificar el nivel de significancia de la prueba α .

Donde: $\alpha =$ Nivel de significancia $\alpha = 5 \%$

4° Seleccionar el estadístico de prueba y definir la región de rechazo de H_0 .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \text{ tiene distribución } t \text{ con } v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

Donde: \bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 3,17$$

$$S = 0,71$$

$$n = 13$$

Región de rechazo de H_0

Cálculo del valor de distribución “ t_α ”

$$t_\alpha = [gl; \alpha] = [12; 0,05]$$

$$t_\alpha = [12; 0,05]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Nivel de significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$v = n - 1 = 13 - 1 = 12$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [12 ; 0,05] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$$t_\alpha = 1,782 \text{ Valor obtenido de “TABLAS”}$$

$$\text{Rechazar } H_0 \text{ Sí: } t > t_\alpha = 1,782$$

5° Con los datos de la muestra, calcular el valor estadístico.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{3,17 - 2,74}{\frac{0,71}{\sqrt{13}}} = 2,184$$

Por lo tanto: $t = 2,184 > t_\alpha = 1,782$ **OK...!!! Si cae en la región de rechazo**

6° Criterio de decisión: Verificación de las Hipótesis

Por lo tanto se rechaza que la media es igual a 2,74 y se concluye con un nivel de significancia del 5 % que el valor promedio del PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) es mayor a 2,74.

4.1.3. Evaluación por el método IRI (Índice de Rugosidad Internacional)

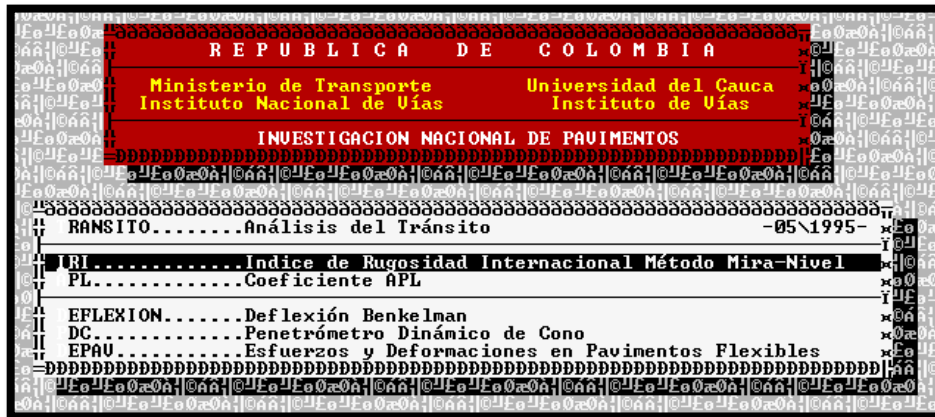
4.1.3.1. Procedimiento de cálculo del IRI

Tabla 4.22 - Lecturas de cotas muestra "UM" IRI

ABSCISA [m]	COTA [m]	ABSCISA [m]	COTA [m]
0,00	1,57	10,50	1,39
0,50	1,57	11,00	1,38
1,00	1,56	11,50	1,38
1,50	1,55	12,00	1,37
2,00	1,54	12,50	1,36
2,50	1,54	13,00	1,35
3,00	1,53	13,50	1,34
3,50	1,52	14,00	1,33
4,00	1,51	14,50	1,33
4,50	1,50	15,00	1,32
5,00	1,49	15,50	1,31
5,50	1,48	16,00	1,30
6,00	1,47	16,50	1,29
6,50	1,46	17,00	1,29
7,00	1,46	17,50	1,28
7,50	1,44	18,00	1,27
8,00	1,43	18,50	1,26
8,50	1,42	19,00	1,26
9,00	1,42	19,50	1,25
9,50	1,41	20,00	1,24
10,00	1,40	20,50	1,25

Fuente: Elaboración propia

Estos datos obtenidos en campo serán introducidos en el software denominado "INPACO" del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca de Colombia, donde incluye el Programa IRI (método mira y nivel), para hallar el Índice de Rugosidad Internacional.



Portada del software “INPACO”

Fuente: Elaboración propia



Identificación de la muestra

Fuente: Elaboración propia

MINISTERIO DE TRANSPORTE - UNIVERSIDAD DEL CAUCA			
CALCULO DEL COEFICIENTE 'IRI' [Método MIRA Y NIVEL]			05-1994
Delta X [500 mm]	Cns	Abscisa	Cota (m)
Identificación del Tramo [0001]	1	0.00	1.574
Entrada Información	2	0.50	1.570
	3	1.00	1.566
	4	1.50	1.557
Cálculo del IRI	5	2.00	1.545
Gráfica	6	2.50	1.540
Imprimir Información	7	3.00	1.530
	8	3.50	1.525
	9	4.00	1.515
Terminar	10	4.50	1.504
	11	5.00	1.494
	12	5.50	1.484
	13	6.00	1.475
	14	6.50	1.467
	15	7.00	1.466

Entrada de datos (cotas obtenidas con el nivel de Ingeniero)

Fuente: Elaboración propia

MINISTERIO DE TRANSPORTE - UNIVERSIDAD DEL CAUCA			
CALCULO DEL COEFICIENTE 'IRI' [Método MIRA Y NIVEL]			05-1994
Delta X [500 mm]	Delta X (mm)		
Identificación del Tramo	Número Total de Datos	56	
Entrada Información	Número de Datos Analizados	56	
Cálculo del IRI	% de Análisis	100.0	
Gráfica	Z1	-13.65	
Imprimir Información	Z2	-52.78	
	Z3	-22.91	
Terminar	Z4	-542.89	
	Y	-28.00	
	σ RSi	418.853	
	IRI Calculado (m/km)	7.6155	

Cálculo del "IRI"

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

Para la muestra "UM" tenemos un resultado de **IRI = 7,61 m/Km** según la escala mostrada en capítulos anteriores pertenece a "Pavimentos Deteriorados".

Este proceso es reiterativo para cada una de las unidades de muestra inspeccionadas, el cálculo del IRI de todas las unidades de muestra se muestran en el ANEXO 7 más detalladamente.

4.1.3.2. Resultados del método de evaluación IRI

4.1.3.2.1. Resultados parciales del método de evaluación IRI

En las siguientes tablas se resumen los resultados de todas las unidades de muestreo de los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina).

**Tabla 4.23 - Resultados del Índice de Rugosidad Internacional
IRI - Calle Cochabamba**

CALLE COCHABAMBA - CIUDAD DE BERMEJO PROG. 0+000 a PROG. 1+560					
TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL		ESTADO DEL PAVIMENTO	
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	CARRIL IZQUIERDO IRI (m/Km)	CARRIL DERECHO IRI (m/Km)	CARRIL IZQUIERDO	CARRIL DERECHO
UM-1	0+000 - 0+024	4,35	4,83	Viejo	Viejo
UM-2	0+072 - 0+096	6,67	7,23	Deteriorado	Deteriorado
UM-3	0+144 - 0+168	7,40	6,66	Deteriorado	Deteriorado
UM-4	0+217 - 0+241	4,73	4,67	Viejo	Viejo
UM-5	0+288 - 0+312	3,86	3,78	Viejo	Viejo
UM-6	0+360 - 0+384	5,21	6,98	Viejo	Deteriorado
UM-7	0+432 - 0+456	6,95	5,98	Deteriorado	Viejo
UM-8	0+504 - 0+528	5,54	5,62	Viejo	Viejo
UM-9	0+576 - 0+600	4,31	4,79	Viejo	Viejo
UM-10	0+648 - 0+672	9,93	8,89	Deteriorado	Deteriorado
UM-11	0+720 - 0+744	3,90	4,10	Viejo	Viejo
UM-12	0+792 - 0+816	10,96	11,69	Deteriorado	Deteriorado
UM-13	0+865 - 0+890	5,34	6,92	Viejo	Deteriorado
UM-14	0+941 - 0+967	7,34	5,51	Deteriorado	Viejo
UM-15	1+012 - 1+035	6,97	4,98	Deteriorado	Viejo
UM-16	1+081 - 1+105	8,14	9,49	Deteriorado	Deteriorado
UM-17	1+154 - 1+179	5,99	6,78	Viejo	Deteriorado
UM-18	1+227 - 1+250	4,85	4,79	Viejo	Viejo
UM-19	1+297 - 1+320	11,37	12,08	Deteriorado	Deteriorado
UM-20	1+368 - 1+392	5,23	5,78	Viejo	Viejo
UM-21	1+439 - 1+463	7,74	6,12	Deteriorado	Viejo
UM-22	1+511 - 1+536	9,32	9,61	Deteriorado	Deteriorado
UM-23	0+288 - 0+312	3,97	4,01	Viejo	Viejo
UM-24	0+217 - 0+241	5,60	6,69	Viejo	Deteriorado
UM-25	0+144 - 0+168	6,92	6,75	Deteriorado	Deteriorado
UM-26	0+072 - 0+096	6,32	6,21	Viejo	Viejo
UM-27	0+000 - 0+024	5,81	6,58	Viejo	Deteriorado

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.24 - Resultados del Índice de Rugosidad Internacional
IRI - Calle Tarija**

CALLE TARIJA - CIUDAD DE BERMEJO PROG. 0+000 a PROG. 1+343					
TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL		ESTADO DEL PAVIMENTO	
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	CARRIL IZQUIERDO IRI (m/Km)	CARRIL DERECHO IRI (m/Km)	CARRIL IZQUIERDO	CARRIL DERECHO
UM-1	0+000 - 0+027	5,41	7,61	Viejo	Deteriorado
UM-2	0+055 - 0+083	8,19	3,49	Deteriorado	Viejo
UM-3	0+110 - 0+138	6,20	5,87	Viejo	Viejo
UM-4	0+162 - 0+186	5,54	6,09	Viejo	Viejo
UM-5	0+210 - 0+234	6,84	6,41	Deteriorado	Viejo
UM-6	0+258 - 0+281	5,12	4,59	Viejo	Viejo
UM-7	0+305 - 0+329	5,51	3,78	Viejo	Viejo
UM-8	0+352 - 0+376	9,32	11,95	Deteriorado	Deteriorado
UM-9	0+400 - 0+424	5,80	5,25	Viejo	Viejo
UM-10	0+447 - 0+471	5,29	3,97	Viejo	Viejo
UM-11	0+495 - 0+520	4,03	9,97	Viejo	Deteriorado
UM-12	0+545 - 0+571	4,51	5,73	Viejo	Viejo
UM-13	0+596 - 0+621	5,04	6,41	Viejo	Viejo
UM-14	0+643 - 0+665	3,41	3,25	Viejo	Viejo
UM-15	0+687 - 0+709	5,42	5,17	Viejo	Viejo
UM-16	0+731 - 0+757	6,90	6,44	Deteriorado	Viejo
UM-17	0+783 - 0+809	8,37	7,24	Deteriorado	Deteriorado
UM-18	0+835 - 0+861	11,56	7,99	Deteriorado	Deteriorado
UM-19	0+885 - 0+909	5,97	5,65	Viejo	Viejo
UM-20	0+934 - 0+958	8,74	8,61	Deteriorado	Deteriorado
UM-21	0+982 - 1+006	9,55	8,43	Deteriorado	Deteriorado
UM-22	1+030 - 1+054	5,83	6,25	Viejo	Viejo
UM-23	1+078 - 1+102	8,26	7,66	Deteriorado	Deteriorado
UM-24	1+126 - 1+149	4,27	4,15	Viejo	Viejo
UM-25	1+173 - 1+197	9,68	7,44	Deteriorado	Deteriorado
UM-26	1+221 - 1+245	5,16	5,38	Viejo	Viejo
UM-27	1+270 - 1+294	6,13	6,34	Viejo	Viejo
UM-28	1+318 - 1+343	8,13	6,49	Deteriorado	Deteriorado

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.25 - Resultados del Índice de Rugosidad Internacional
IRI - Calle Argentina**

CALLE ARGENTINA - CIUDAD DE BERMEJO PROG. 0+000 a PROG. 0+372					
TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL		ESTADO DEL PAVIMENTO	
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	CARRIL IZQUIERDO IRI (m/Km)	CARRIL DERECHO IRI (m/Km)	CARRIL IZQUIERDO	CARRIL DERECHO
UM-1	0+000 - 0+023	7,19	9,55	Deteriorado	Deteriorado
UM-2	0+023 - 0+047	4,59	5,09	Viejo	Viejo
UM-3	0+047 - 0+071	8,69	10,69	Deteriorado	Deteriorado
UM-4	0+071 - 0+095	5,39	5,72	Viejo	Viejo
UM-5	0+095 - 0+119	7,57	7,93	Deteriorado	Deteriorado
UM-6	0+119 - 0+153	6,83	10,17	Deteriorado	Deteriorado
UM-7	0+153 - 0+187	4,73	5,45	Viejo	Viejo
UM-8	0+187 - 0+221	5,96	3,83	Viejo	Viejo
UM-9	0+221 - 0+256	5,31	5,40	Viejo	Viejo
UM-10	0+256 - 0+290	6,10	5,31	Viejo	Viejo
UM-11	0+306 - 0+323	6,67	7,23	Deteriorado	Deteriorado
UM-12	0+323 - 0+339	7,75	7,79	Deteriorado	Deteriorado
UM-13	0+339 - 0+356	5,20	5,45	Viejo	Viejo

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2.2. Resultados del estado de las unidades de muestreo de los tramos en estudio

ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CALLE COCHABAMBA (CARRIL IZQUIERDO)

Se realizará un tratamiento estadístico al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), para poder verificar que los resultados parciales obtenidos son coherentes para ser objeto de estudio de este trabajo de investigación.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

*Resultados de las unidades de muestreo
IRI - Calle Cochabamba (carril izquierdo)*

n	(x_i) Datos	(x_i) Ordenada	$x_i - \bar{x}$	$[x_i - \bar{x}]^2$
1	3,86	4,73	-1,53	2,35
2	3,90	4,85	-1,41	2,00
3	3,97	5,21	-1,05	1,11
4	4,31	5,23	-1,03	1,07
5	4,35	5,34	-0,92	0,85
6	4,73	5,54	-0,72	0,52
7	4,85	5,60	-0,66	0,44
8	5,21	5,81	-0,45	0,21
9	5,23	5,99	-0,27	0,08
10	5,34	6,32	0,06	0,00
11	5,54	6,67	0,41	0,16
12	5,60	6,92	0,66	0,43
13	5,81	6,95	0,69	0,47
14	5,99	6,97	0,71	0,50
15	6,32	7,34	1,08	1,16
16	6,67	7,40	1,14	1,29
17	6,92	7,74	1,48	2,18
18	6,95	8,14	1,88	3,52
19	6,97	---	---	---
20	7,34	---	---	---
21	7,40	---	---	---
22	7,74	---	---	---
23	8,14	---	---	---
24	9,32	---	---	---
25	9,93	---	---	---
26	10,96	---	---	---
27	11,37	---	---	---
	$\Sigma =$	112,75	0,00	18,35

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de tendencia central son indicadores que tienden a sintetizar o describir de la manera más representativa las características de un conjunto de datos.

DEPURACIÓN DE DATOS "IRI"

Primeramente se ordenó los datos de menor a mayor para obtener el promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas mediante el IRI (método mira y nivel), donde realizaremos una depuración de datos mediante estadística, debido a la dispersión que muestra los resultados es así que obtenemos los siguientes datos estadísticos:

$$\text{Media aritmética: } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{174,72}{27} = 6,47$$

$$\text{Desviación estándar: } S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{112,20}{27 - 1}} = 2,08$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 2,08.

Rango de valores para depuración de datos:

$$\text{Rango límite mínimo: } x_{mín.} = \bar{x} - S = 6,47 - 2,08 = 4,39$$

$$\text{Rango límite máximo: } x_{máx.} = \bar{x} + S = 6,47 + 2,08 = 8,55$$

Entonces para sacar el nuevo promedio depuramos (no tomamos en cuenta) los resultados que no estén dentro del rango de valores establecidos anteriormente, es así que procedemos a calcular los siguientes parámetros estadísticos:

Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{112,75}{18} = 6,26$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

x_i = Es la observación individual de cada elemento de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Mediana:

Sí: "n" es par

$$\text{Posición}_{Me} = \frac{1}{2} \left[\frac{n}{2} + \left(\frac{n}{2} + 1 \right) \right] = \frac{1}{2} \left[\frac{18}{2} + \left(\frac{18}{2} + 1 \right) \right] = 9,50$$

Haciendo una interpolación de datos tenemos:

$$9,00 \longrightarrow 5,99$$

$$9,50 \longrightarrow x$$

$$10,00 \longrightarrow 6,32$$

$$x = \left[\frac{6,32 - 5,99}{10,00 - 9,00} * (9,50 - 9,00) \right] + 5,99 = 6,16$$

Por lo tanto tenemos que la mediana es:

$$Me = 6,16$$

Este valor nos indica que el 50 % de los valores están por encima de 6,16 y el otro 50 % por debajo de 6,16.

Moda:

Es el valor que más se repite dentro de toda la muestra, en nuestro caso la serie de datos no cuenta con una moda.

Relación empírica entre Media, Mediana y Moda:

DISTRIBUCIONES	RELACIÓN
Simétricas	$\bar{x} = Me = Mo$
Asimétricas a la derecha	$Mo > Me > \bar{x}$
Asimétricas a la izquierda	$Mo < Me < \bar{x}$

En nuestro caso vemos que no existe simetría en nuestros resultados obtenidos, ya que la media aritmética, la mediana y la moda son de diferentes valores debido a su distribución.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Son un conjunto de indicadores que nos expresan el grado de concentración o alejamiento de los datos respecto de la media aritmética.

Rango de los datos:

$$R = x_{m\acute{a}x.} - x_{m\acute{i}n.} = 8,14 - 4,73 = 3,41$$

Donde:

$x_{m\acute{a}x.}$ = Es el mayor valor de la muestra.

$x_{m\acute{i}n.}$ = Es el menor valor de la muestra.

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{18,35}{18 - 1}} = 1,04$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 1,04.

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} * [100\%] = \frac{1,04}{6,26} * [100\%] = 16,58\%$$

Si Cv es alto (mayor al 25 %) los datos están muy alejados del promedio, o el control de calidad de la variable media es pobre. Si Cv es bajo (menor al 5 %) los datos se acercan mucho al promedio y el control de calidad es excelente.

Lo que significa que la variación de los datos es de un 16,58 % por lo tanto la media aritmética es representativa en un 83,42 %.

MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Estas medidas indican la forma que toma la distribución de frecuencias de los datos observados.

Coefficiente de sesgo:

$$Cs = \frac{3 [\bar{x} - Me]}{S} = \frac{3 [6,26 - 6,16]}{1,04} = 0,31$$

Los resultados obtenidos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Cs > 0	Cs = 0	Cs < 0
Asimetría positiva Sesgo hacia la izquierda Cola hacia la derecha	Simetría	Asimetría negativa Sesgo hacia la derecha Cola hacia la izquierda

La oblicuidad se debe a que algunos de los valores están por arriba del valor promedio, por lo que ésta es de 0,31 indicando que la media pudo ser menor, ya que ha sido influenciada por estos datos de mayor valor, esto significa que la mayor cantidad de datos se agrupa en valores menores de 6,26.

Lo que significa que la serie de datos cuenta con una asimetría positiva, ya que la oblicuidad que se obtuvo es positiva, lo que significa que se presenta el sesgo hacia la izquierda y la cola hacia la derecha ya que la serie de datos presenta una distribución asimétrica a la izquierda (Moda < Mediana < Media aritmética).

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO
IRI - Calle Cochabamba (carril izquierdo)

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS		VALORES
Medidas de tendencia central		
Número de datos	n =	18
Media aritmética	\bar{x} =	6,26
Mediana	Me =	6,16
Moda	Mo =	---
Medidas de dispersión		
Desviación estándar	S =	1,04
Coefficiente de variación	Cv =	16,58 %
Valor mínimo	$x_{\min.}$ =	4,73
Valor máximo	$x_{\max.}$ =	8,14
Rango	R =	3,41
Medidas de asimetría		
Coefficiente de sesgo	Cs =	0,31

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA

Debido a que la muestra tiene menos de treinta elementos y se desconoce la desviación estándar de la población, es necesario utilizar una distribución “t” de **Student** para estimar el intervalo de confianza de la serie.

Se utilizara para el presente estudio un coeficiente de confianza convencional del 95 %, ya que no se trata de ninguna investigación de tipo político o médico.

Estimación de intervalo de confianza al 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

IC = Intervalo de confianza a calcular.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 6,26$$

$$S = 1,04$$

$$n = 18$$

Cálculo del valor de distribución "t"

$$t = \left[gl; 1 - \frac{\alpha}{2} \right] = \left[17; 1 - \frac{0,05}{2} \right]$$

$$t = [17 ; 0,975]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$gl = n - 1 = 18 - 1 = 17$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**17 ; 0,975**] en la tabla de valores críticos de "t" de **Student** se tiene:

$$t = \mathbf{2,11}$$
 Valor obtenido de "TABLAS"

Reemplazando valores en la ecuación del intervalo de confianza tenemos:

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$$IC = 6,26 \pm 2,11 * \left[\frac{1,04}{\sqrt{18}} \right]$$

$$IC = 6,26 \pm 2,11 * [0,24]$$

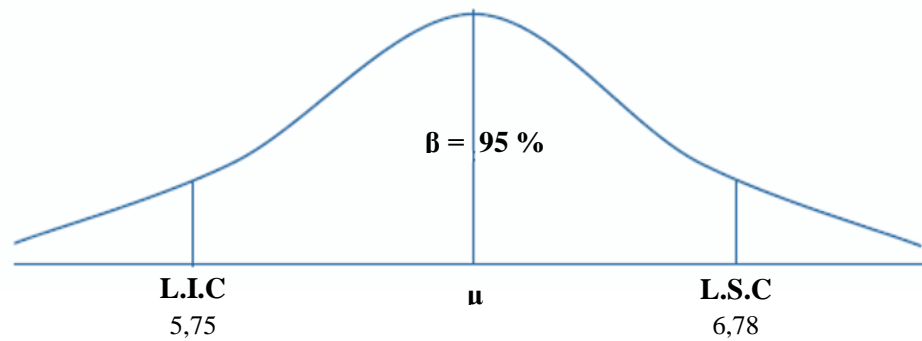
$$IC = 6,26 \pm 0,52$$

$$L.I.C = 5,75 \text{ "Límite Inferior de Confianza"}$$

$$L.S.C = 6,78 \text{ "Límite Superior de Confianza"}$$

$$E = 0,52 \text{ "Error en la Estimación"}$$

INTERVALOS DE CONFIANZA
IRI - Calle Cochabamba (carril izquierdo)



De acuerdo a la estimación puntual, el valor promedio del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) es de 6,26; una desviación estándar de 1,04; el error estándar del muestreo es de 0,24 con un máximo error en la estimación E, con una aceptación del 95 % de 0,52. Lo que quiere decir que existe un 95 % de confianza de que el valor promedio calculado del IRI este entre 5,75 y 6,78.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CALLE COCHABAMBA (CARRIL DERECHO)

Se realizará un tratamiento estadístico al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), para poder verificar que los resultados parciales obtenidos son coherentes para ser objeto de estudio de este trabajo de investigación.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

*Resultados de las unidades de muestreo
IRI - Calle Cochabamba (carril derecho)*

n	(x_i) Datos	(x_i) Ordenada	$x_i - \bar{x}$	$[x_i - \bar{x}]^2$
1	3,78	4,67	-1,32	1,75
2	4,01	4,79	-1,20	1,45
3	4,10	4,79	-1,20	1,45
4	4,67	4,83	-1,16	1,35
5	4,79	4,98	-1,01	1,03
6	4,79	5,51	-0,48	0,23
7	4,83	5,62	-0,37	0,14
8	4,98	5,78	-0,21	0,05
9	5,51	5,98	-0,01	0,00
10	5,62	6,12	0,13	0,02
11	5,78	6,21	0,22	0,05
12	5,98	6,58	0,59	0,34
13	6,12	6,66	0,67	0,44
14	6,21	6,69	0,70	0,49
15	6,58	6,75	0,76	0,57
16	6,66	6,78	0,79	0,62
17	6,69	6,92	0,93	0,86
18	6,75	6,98	0,99	0,97
19	6,78	7,23	1,24	1,53
20	6,92	---	---	---
21	6,98	---	---	---
22	7,23	---	---	---
23	8,89	---	---	---
24	9,49	---	---	---
25	9,61	---	---	---
26	11,69	---	---	---
27	12,08	---	---	---
	$\Sigma =$	113,87	0,00	13,34

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de tendencia central son indicadores que tienden a sintetizar o describir de la manera más representativa las características de un conjunto de datos.

DEPURACIÓN DE DATOS "IRI"

Primeramente se ordenó los datos de menor a mayor para obtener el promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas mediante el IRI (método mira y nivel), donde realizaremos una depuración de datos mediante estadística, debido a la dispersión que muestra los resultados es así que obtenemos los siguientes datos estadísticos:

$$\text{Media aritmética: } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{177,52}{27} = 6,57$$

$$\text{Desviación estándar: } S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{119,82}{27 - 1}} = 2,15$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 2,15.

Rango de valores para depuración de datos:

$$\text{Rango límite mínimo: } x_{\min.} = \bar{x} - S = 6,57 - 2,15 = 4,43$$

$$\text{Rango límite máximo: } x_{\max.} = \bar{x} + S = 6,57 + 2,15 = 8,72$$

Entonces para sacar el nuevo promedio depuramos (no tomamos en cuenta) los resultados que no estén dentro del rango de valores establecidos anteriormente, es así que procedemos a calcular los siguientes parámetros estadísticos:

Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{113,87}{19} = 5,99$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

x_i = Es la observación individual de cada elemento de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Mediana:

Sí: "n" es impar

$$\text{Posición}_{Me} = \frac{n + 1}{2} = \frac{19 + 1}{2} = 10$$

Por lo tanto tenemos que la mediana es:

$$Me = 6,12$$

Este valor nos indica que el 50 % de los valores están por encima de 6,12 y el otro 50 % por debajo de 6,12.

Moda:

Es el valor que más se repite dentro de toda la muestra.

$$Mo = 4,79$$

Relación empírica entre Media, Mediana y Moda:

DISTRIBUCIONES	RELACIÓN
Simétricas	$\bar{x} = Me = Mo$
Asimétricas a la derecha	$Mo > Me > \bar{x}$
Asimétricas a la izquierda	$Mo < Me < \bar{x}$

En nuestro caso vemos que no existe simetría en nuestros resultados obtenidos, ya que la media aritmética, la mediana y la moda son de diferentes valores debido a su distribución.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Son un conjunto de indicadores que nos expresan el grado de concentración o alejamiento de los datos respecto de la media aritmética.

Rango de los datos:

$$R = x_{\text{máx.}} - x_{\text{mín.}} = 7,23 - 4,67 = 2,56$$

Donde:

$x_{\text{máx.}}$ = Es el mayor valor de la muestra.

$x_{\text{mín.}}$ = Es el menor valor de la muestra.

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{13,34}{19 - 1}} = 0,86$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 0,86.

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} * [100\%] = \frac{0,86}{5,99} * [100\%] = 14,36\%$$

Si C_v es alto (mayor al 25 %) los datos están muy alejados del promedio, o el control de calidad de la variable media es pobre. Si C_v es bajo (menor al 5 %) los datos se acercan mucho al promedio y el control de calidad es excelente.

Lo que significa que la variación de los datos es de un 14,36 % por lo tanto la media aritmética es representativa en un 85,64 %.

MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Estas medidas indican la forma que toma la distribución de frecuencias de los datos observados.

Coefficiente de sesgo:

$$C_s = \frac{3 [\bar{x} - Me]}{S} = \frac{3 [5,99 - 6,12]}{0,86} = -0,44$$

Los resultados obtenidos se pueden clasificar de la siguiente manera:

$C_s > 0$	$C_s = 0$	$C_s < 0$
Asimetría positiva Sesgo hacia la izquierda Cola hacia la derecha	Simetría	Asimetría negativa Sesgo hacia la derecha Cola hacia la izquierda

La oblicuidad se debe a que algunos de los valores están muy debajo del valor promedio, por lo que ésta es de -0,44 indicando que la media pudo ser mayor, ya que ha sido influenciada por estos datos de menor valor, de tal forma que la mayor cantidad de datos se agrupa en valores mayores de 5,99.

Lo que significa que la serie de datos cuenta con una asimetría negativa, ya que la oblicuidad que se obtuvo es negativa, lo que significa que se presenta el sesgo hacia la derecha y la cola hacia la izquierda ya que la serie de datos presenta una distribución asimétrica a la derecha (Moda > Mediana > Media aritmética).

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO
IRI - Calle Cochabamba (carril derecho)

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS		VALORES
Medidas de tendencia central		
Número de datos	n =	19
Media aritmética	\bar{x} =	5,99
Mediana	Me =	6,12
Moda	Mo =	4,79
Medidas de dispersión		
Desviación estándar	S =	0,86
Coefficiente de variación	Cv =	14,36 %
Valor mínimo	$x_{\min.}$ =	4,67
Valor máximo	$x_{\max.}$ =	7,23
Rango	R =	2,56
Medidas de asimetría		
Coefficiente de sesgo	Cs =	- 0,44

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA

Debido a que la muestra tiene menos de treinta elementos y se desconoce la desviación estándar de la población, es necesario utilizar una distribución “t” de **Student** para estimar el intervalo de confianza de la serie.

Se utilizara para el presente estudio un coeficiente de confianza convencional del 95 %, ya que no se trata de ninguna investigación de tipo político o médico.

Estimación de intervalo de confianza al 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

IC = Intervalo de confianza a calcular.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 5,99$$

$$S = 0,86$$

$$n = 19$$

Cálculo del valor de distribución "t"

$$t = \left[gl; 1 - \frac{\alpha}{2} \right] = \left[18; 1 - \frac{0,05}{2} \right]$$

$$t = [18 ; 0,975]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$gl = n - 1 = 19 - 1 = 18$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**18 ; 0,975**] en la tabla de valores críticos de "t" de **Student** se tiene:

$$t = 2,10 \text{ Valor obtenido de "TABLAS"}$$

Reemplazando valores en la ecuación del intervalo de confianza tenemos:

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$$IC = 5,99 \pm 2,10 * \left[\frac{0,86}{\sqrt{19}} \right]$$

$$IC = 5,99 \pm 2,10 * [0,20]$$

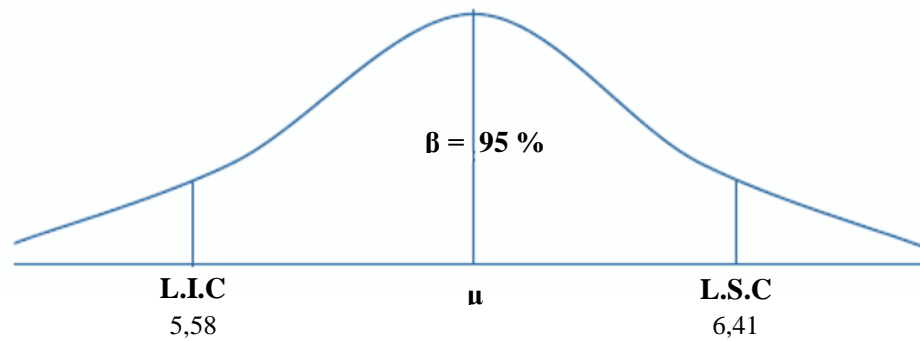
$$IC = 5,99 \pm 0,41$$

$$L.I.C = 5,58 \text{ "Límite Inferior de Confianza"}$$

$$L.S.C = 6,41 \text{ "Límite Superior de Confianza"}$$

$$E = 0,41 \text{ "Error en la Estimación"}$$

INTERVALOS DE CONFIANZA
IRI - Calle Cochabamba (carril derecho)



De acuerdo a la estimación puntual, el valor promedio del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) es de 5,99; una desviación estándar de 0,86; el error estándar del muestreo es de 0,20 con un máximo error en la estimación E, con una aceptación del 95 % de 0,41. Lo que quiere decir que existe un 95 % de confianza de que el valor promedio calculado del IRI este entre 5,58 y 6,41.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CALLE TARIJA (CARRIL IZQUIERDO)

Se realizará un tratamiento estadístico al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), para poder verificar que los resultados parciales obtenidos son coherentes para ser objeto de estudio de este trabajo de investigación.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

*Resultados de las unidades de muestreo
IRI - Calle Tarija (carril izquierdo)*

n	(x_i) Datos	(x_i) Ordenada	$x_i - \bar{x}$	$[x_i - \bar{x}]^2$
1	3,41	5,04	-1,23	1,51
2	4,03	5,12	-1,15	1,32
3	4,27	5,16	-1,11	1,23
4	4,51	5,29	-0,98	0,96
5	5,04	5,41	-0,86	0,74
6	5,12	5,42	-0,85	0,72
7	5,16	5,51	-0,76	0,58
8	5,29	5,54	-0,73	0,53
9	5,41	5,80	-0,47	0,22
10	5,42	5,83	-0,44	0,19
11	5,51	5,97	-0,30	0,09
12	5,54	6,13	-0,14	0,02
13	5,80	6,20	-0,07	0,00
14	5,83	6,84	0,57	0,33
15	5,97	6,90	0,63	0,40
16	6,13	8,13	1,86	3,46
17	6,20	8,19	1,92	3,69
18	6,84	8,26	1,99	3,96
19	6,90	8,37	2,10	4,41
20	8,13	---	---	---
21	8,19	---	---	---
22	8,26	---	---	---
23	8,37	---	---	---
24	8,74	---	---	---
25	9,32	---	---	---
26	9,55	---	---	---
27	9,68	---	---	---
28	11,56	---	---	---
	$\Sigma =$	119,11	0,00	24,37

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de tendencia central son indicadores que tienden a sintetizar o describir de la manera más representativa las características de un conjunto de datos.

DEPURACIÓN DE DATOS "IRI"

Primeramente se ordenó los datos de menor a mayor para obtener el promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas mediante el IRI (método mira y nivel), donde realizaremos una depuración de datos mediante estadística, debido a la dispersión que muestra los resultados es así que obtenemos los siguientes datos estadísticos:

$$\text{Media aritmética: } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{184,18}{28} = 6,58$$

$$\text{Desviación estándar: } S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{107,78}{28 - 1}} = 2,00$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 2,00.

Rango de valores para depuración de datos:

$$\text{Rango límite mínimo: } x_{mín.} = \bar{x} - S = 6,58 - 2,00 = 4,58$$

$$\text{Rango límite máximo: } x_{máx.} = \bar{x} + S = 6,57 + 2,00 = 8,58$$

Entonces para sacar el nuevo promedio depuramos (no tomamos en cuenta) los resultados que no estén dentro del rango de valores establecidos anteriormente, es así que procedemos a calcular los siguientes parámetros estadísticos:

Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{119,11}{19} = 6,27$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

x_i = Es la observación individual de cada elemento de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Mediana:

Sí: "n" es impar

$$\text{Posición}_{Me} = \frac{n + 1}{2} = \frac{19 + 1}{2} = 10$$

Por lo tanto tenemos que la mediana es:

$$Me = 5,83$$

Este valor nos indica que el 50 % de los valores están por encima de 5,83 y el otro 50 % por debajo de 5,83.

Moda:

Es el valor que más se repite dentro de toda la muestra, en nuestro caso la serie de datos no cuenta con una moda.

Relación empírica entre Media, Mediana y Moda:

DISTRIBUCIONES	RELACIÓN
Simétricas	$\bar{x} = Me = Mo$
Asimétricas a la derecha	$Mo > Me > \bar{x}$
Asimétricas a la izquierda	$Mo < Me < \bar{x}$

En nuestro caso vemos que no existe simetría en nuestros resultados obtenidos, ya que la media aritmética, la mediana y la moda son de diferentes valores debido a su distribución.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Son un conjunto de indicadores que nos expresan el grado de concentración o alejamiento de los datos respecto de la media aritmética.

Rango de los datos:

$$R = x_{m\acute{a}x.} - x_{m\acute{i}n.} = 8,37 - 5,04 = 3,33$$

Donde:

$x_{m\acute{a}x.}$ = Es el mayor valor de la muestra.

$x_{m\acute{i}n.}$ = Es el menor valor de la muestra.

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{24,37}{19 - 1}} = 1,16$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 1,16.

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} * [100\%] = \frac{1,16}{6,27} * [100\%] = 18,56\%$$

Si C_v es alto (mayor al 25 %) los datos están muy alejados del promedio, o el control de calidad de la variable media es pobre. Si C_v es bajo (menor al 5 %) los datos se acercan mucho al promedio y el control de calidad es excelente.

Lo que significa que la variación de los datos es de un 18,56 % por lo tanto la media aritmética es representativa en un 81,44 %.

MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Estas medidas indican la forma que toma la distribución de frecuencias de los datos observados.

Coefficiente de sesgo:

$$C_s = \frac{3 [\bar{x} - Me]}{S} = \frac{3 [6,27 - 5,83]}{1,16} = 1,13$$

Los resultados obtenidos se pueden clasificar de la siguiente manera:

$C_s > 0$	$C_s = 0$	$C_s < 0$
Asimetría positiva Sesgo hacia la izquierda Cola hacia la derecha	Simetría	Asimetría negativa Sesgo hacia la derecha Cola hacia la izquierda

La oblicuidad se debe a que algunos de los valores están por arriba del valor promedio, por lo que ésta es de 1,13 indicando que la media pudo ser menor, ya que ha sido influenciada por estos datos de mayor valor, esto significa que la mayor cantidad de datos se agrupa en valores menores de 6,27.

Lo que significa que la serie de datos cuenta con una asimetría positiva, ya que la oblicuidad que se obtuvo es positiva, lo que significa que se presenta el sesgo hacia la izquierda y la cola hacia la derecha ya que la serie de datos presenta una distribución asimétrica a la izquierda (Moda < Mediana < Media aritmética).

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO
IRI - Calle Tarija (carril izquierdo)

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS		VALORES
Medidas de tendencia central		
Número de datos	n =	19
Media aritmética	\bar{x} =	6,27
Mediana	Me =	5,83
Moda	Mo =	---
Medidas de dispersión		
Desviación estándar	S =	1,16
Coefficiente de variación	Cv =	18,56 %
Valor mínimo	$x_{\min.}$ =	5,04
Valor máximo	$x_{\max.}$ =	8,37
Rango	R =	3,33
Medidas de asimetría		
Coefficiente de sesgo	Cs =	1,13

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA

Debido a que la muestra tiene menos de treinta elementos y se desconoce la desviación estándar de la población, es necesario utilizar una distribución “t” de **Student** para estimar el intervalo de confianza de la serie.

Se utilizara para el presente estudio un coeficiente de confianza convencional del 95 %, ya que no se trata de ninguna investigación de tipo político o médico.

Estimación de intervalo de confianza al 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

IC = Intervalo de confianza a calcular.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 6,27$$

$$S = 1,16$$

$$n = 19$$

Cálculo del valor de distribución "t"

$$t = \left[gl; 1 - \frac{\alpha}{2} \right] = \left[18; 1 - \frac{0,05}{2} \right]$$

$$t = [18 ; 0,975]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$gl = n - 1 = 19 - 1 = 18$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**18 ; 0,975**] en la tabla de valores críticos de "t" de **Student** se tiene:

$$t = 2,10 \text{ Valor obtenido de "TABLAS"}$$

Reemplazando valores en la ecuación del intervalo de confianza tenemos:

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$$IC = 6,27 \pm 2,10 * \left[\frac{1,16}{\sqrt{19}} \right]$$

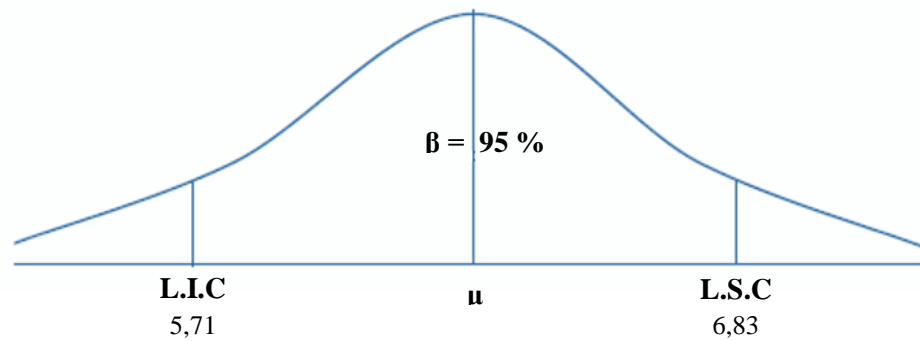
$$IC = 6,27 \pm 2,10 * [0,27]$$

$$IC = 6,27 \pm 0,56$$

$$L.I.C = 5,71 \text{ "Límite Inferior de Confianza"}$$

$$L.S.C = 6,83 \text{ "Límite Superior de Confianza"}$$

$$E = 0,56 \text{ "Error en la Estimación"}$$

INTERVALOS DE CONFIANZA*IRI - Calle Tarija (carril izquierdo)*

De acuerdo a la estimación puntual, el valor promedio del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) es de 6,27; una desviación estándar de 1,16; el error estándar del muestreo es de 0,27 con un máximo error en la estimación E, con una aceptación del 95 % de 0,56. Lo que quiere decir que existe un 95 % de confianza de que el valor promedio calculado del IRI este entre 5,71 y 6,83.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CALLE TARIJA (CARRIL DERECHO)

Se realizará un tratamiento estadístico al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), para poder verificar que los resultados parciales obtenidos son coherentes para ser objeto de estudio de este trabajo de investigación.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

*Resultados de las unidades de muestreo
IRI - Calle Tarija (carril derecho)*

n	(x_i) Datos	(x_i) Ordenada	$x_i - \bar{x}$	$[x_i - \bar{x}]^2$
1	3,25	4,59	-1,73	2,98
2	3,49	5,17	-1,15	1,31
3	3,78	5,25	-1,07	1,14
4	3,97	5,38	-0,94	0,88
5	4,15	5,65	-0,67	0,44
6	4,59	5,73	-0,59	0,34
7	5,17	5,87	-0,45	0,20
8	5,25	6,09	-0,23	0,05
9	5,38	6,25	-0,07	0,00
10	5,65	6,34	0,02	0,00
11	5,73	6,41	0,09	0,01
12	5,87	6,41	0,09	0,01
13	6,09	6,44	0,12	0,02
14	6,25	6,49	0,17	0,03
15	6,34	7,24	0,92	0,85
16	6,41	7,44	1,12	1,26
17	6,41	7,61	1,29	1,67
18	6,44	7,66	1,34	1,81
19	6,49	7,99	1,67	2,80
20	7,24	---	---	---
21	7,44	---	---	---
22	7,61	---	---	---
23	7,66	---	---	---
24	7,99	---	---	---
25	8,43	---	---	---
26	8,61	---	---	---
27	9,97	---	---	---
28	11,95	---	---	---
	$\Sigma =$	120,01	0,00	15,81

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de tendencia central son indicadores que tienden a sintetizar o describir de la manera más representativa las características de un conjunto de datos.

DEPURACIÓN DE DATOS "IRI"

Primeramente se ordenó los datos de menor a mayor para obtener el promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas mediante el IRI (método mira y nivel), donde realizaremos una depuración de datos mediante estadística, debido a la dispersión que muestra los resultados es así que obtenemos los siguientes datos estadísticos:

$$\text{Media aritmética: } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{177,61}{28} = 6,34$$

$$\text{Desviación estándar: } S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{104,63}{28 - 1}} = 1,97$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 1,97.

Rango de valores para depuración de datos:

$$\text{Rango límite mínimo: } x_{mín.} = \bar{x} - S = 6,34 - 1,97 = 4,37$$

$$\text{Rango límite máximo: } x_{máx.} = \bar{x} + S = 6,34 + 1,97 = 8,31$$

Entonces para sacar el nuevo promedio depuramos (no tomamos en cuenta) los resultados que no estén dentro del rango de valores establecidos anteriormente, es así que procedemos a calcular los siguientes parámetros estadísticos:

Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{120,01}{19} = 6,32$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

x_i = Es la observación individual de cada elemento de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Mediana:

Sí: "n" es impar

$$\text{Posición}_{Me} = \frac{n + 1}{2} = \frac{19 + 1}{2} = 10$$

Por lo tanto tenemos que la mediana es:

$$Me = 6,34$$

Este valor nos indica que el 50 % de los valores están por encima de 6,34 y el otro 50 % por debajo de 6,34.

Moda:

Es el valor que más se repite dentro de toda la muestra.

$$Mo = 6,41$$

Relación empírica entre Media, Mediana y Moda:

DISTRIBUCIONES	RELACIÓN
Simétricas	$\bar{x} = Me = Mo$
Asimétricas a la derecha	$Mo > Me > \bar{x}$
Asimétricas a la izquierda	$Mo < Me < \bar{x}$

En nuestro caso vemos que no existe simetría en nuestros resultados obtenidos, ya que la media aritmética, la mediana y la moda son de diferentes valores debido a su distribución.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Son un conjunto de indicadores que nos expresan el grado de concentración o alejamiento de los datos respecto de la media aritmética.

Rango de los datos:

$$R = x_{m\acute{a}x.} - x_{m\acute{i}n.} = 7,99 - 4,59 = 3,40$$

Donde:

$x_{m\acute{a}x.}$ = Es el mayor valor de la muestra.

$x_{m\acute{i}n.}$ = Es el menor valor de la muestra.

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{15,81}{19 - 1}} = 0,94$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 0,94.

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} * [100\%] = \frac{0,94}{6,32} * [100\%] = 14,84\%$$

Si C_v es alto (mayor al 25 %) los datos están muy alejados del promedio, o el control de calidad de la variable media es pobre. Si C_v es bajo (menor al 5 %) los datos se acercan mucho al promedio y el control de calidad es excelente.

Lo que significa que la variación de los datos es de un 14,84 % por lo tanto la media aritmética es representativa en un 85,16 %.

MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Estas medidas indican la forma que toma la distribución de frecuencias de los datos observados.

Coefficiente de sesgo:

$$C_s = \frac{3 [\bar{x} - Me]}{S} = \frac{3 [6,32 - 6,34]}{0,94} = -0,08$$

Los resultados obtenidos se pueden clasificar de la siguiente manera:

$C_s > 0$	$C_s = 0$	$C_s < 0$
Asimetría positiva Sesgo hacia la izquierda Cola hacia la derecha	Simetría	Asimetría negativa Sesgo hacia la derecha Cola hacia la izquierda

La oblicuidad se debe a que algunos de los valores están muy debajo del valor promedio, por lo que ésta es de -0,08 indicando que la media pudo ser mayor, ya que ha sido influenciada por estos datos de menor valor, de tal forma que la mayor cantidad de datos se agrupa en valores mayores de 6,32.

Lo que significa que la serie de datos cuenta con una asimetría positiva, ya que la oblicuidad que se obtuvo es positiva, lo que significa que se presenta el sesgo hacia la izquierda y la cola hacia la derecha ya que la serie de datos presenta una distribución asimétrica a la derecha (Moda > Mediana > Media aritmética).

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO
IRI - Calle Tarija (carril derecho)

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS		VALORES
Medidas de tendencia central		
Número de datos	n =	19
Media aritmética	\bar{x} =	6,32
Mediana	Me =	6,34
Moda	Mo =	6,41
Medidas de dispersión		
Desviación estándar	S =	0,94
Coeficiente de variación	Cv =	14,84 %
Valor mínimo	$x_{\min.}$ =	4,59
Valor máximo	$x_{\max.}$ =	7,99
Rango	R =	3,40
Medidas de asimetría		
Coeficiente de sesgo	Cs =	- 0,08

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA

Debido a que la muestra tiene menos de treinta elementos y se desconoce la desviación estándar de la población, es necesario utilizar una distribución “t” de **Student** para estimar el intervalo de confianza de la serie.

Se utilizara para el presente estudio un coeficiente de confianza convencional del 95 %, ya que no se trata de ninguna investigación de tipo político o médico.

Estimación de intervalo de confianza al 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

IC = Intervalo de confianza a calcular.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 6,32$$

$$S = 0,94$$

$$n = 19$$

Cálculo del valor de distribución "t"

$$t = \left[gl; 1 - \frac{\alpha}{2} \right] = \left[18; 1 - \frac{0,05}{2} \right]$$

$$t = [18 ; 0,975]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$gl = n - 1 = 19 - 1 = 18$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**18 ; 0,975**] en la tabla de valores críticos de "t" de **Student** se tiene:

$$t = \mathbf{2,10}$$
 Valor obtenido de "TABLAS"

Reemplazando valores en la ecuación del intervalo de confianza tenemos:

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$$IC = 6,32 \pm 2,10 * \left[\frac{0,94}{\sqrt{19}} \right]$$

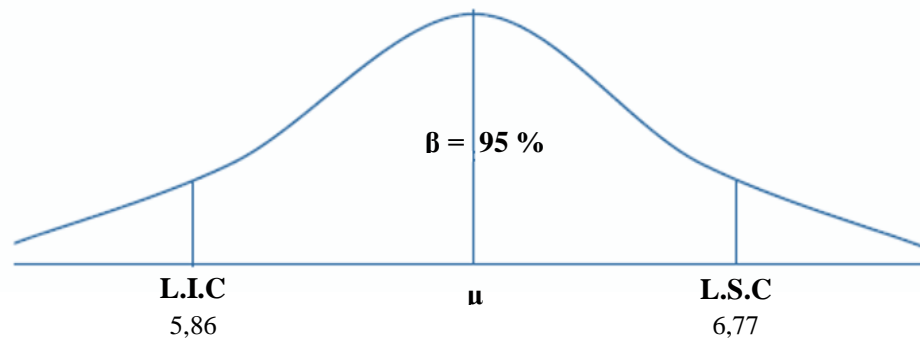
$$IC = 6,32 \pm 2,10 * [0,21]$$

$$IC = 6,32 \pm 0,45$$

$$L.I.C = 5,86 \text{ "Límite Inferior de Confianza"}$$

$$L.S.C = 6,77 \text{ "Límite Superior de Confianza"}$$

$$E = 0,45 \text{ "Error en la Estimación"}$$

INTERVALOS DE CONFIANZA*IRI - Calle Tarija (carril derecho)*

De acuerdo a la estimación puntual, el valor promedio del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) es de 6,32; una desviación estándar de 0,94; el error estándar del muestreo es de 0,21 con un máximo error en la estimación E, con una aceptación del 95 % de 0,45. Lo que quiere decir que existe un 95 % de confianza de que el valor promedio calculado del IRI este entre 5,86 y 6,77.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CALLE ARGENTINA (CARRIL IZQUIERDO)

Se realizará un tratamiento estadístico al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), para poder verificar que los resultados parciales obtenidos son coherentes para ser objeto de estudio de este trabajo de investigación.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

*Resultados de las unidades de muestreo
IRI - Calle Argentina (carril izquierdo)*

n	(x_i) Datos	(x_i) Ordenada	$x_i - \bar{x}$	$[x_i - \bar{x}]^2$
1	4,59	5,20	-1,05	1,10
2	4,73	5,31	-0,94	0,88
3	5,20	5,39	-0,86	0,73
4	5,31	5,96	-0,29	0,08
5	5,39	6,10	-0,15	0,02
6	5,96	6,67	0,42	0,18
7	6,10	6,83	0,58	0,34
8	6,67	7,19	0,94	0,89
9	6,83	7,57	1,32	1,75
10	7,19	---	---	---
11	7,57	---	---	---
12	7,75	---	---	---
13	8,69	---	---	---
	$\Sigma =$	56,22	0,00	5,97

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de tendencia central son indicadores que tienden a sintetizar o describir de la manera más representativa las características de un conjunto de datos.

DEPURACIÓN DE DATOS "IRI"

Primeramente se ordenó los datos de menor a mayor para obtener el promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas mediante el IRI (método mira y nivel), donde realizaremos una depuración de datos mediante estadística, debido a la dispersión que muestra los resultados es así que obtenemos los siguientes datos estadísticos:

$$\text{Media aritmética: } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{81,98}{13} = 6,31$$

Desviación estándar:
$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{19,20}{13 - 1}} = 1,26$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 1,26.

Rango de valores para depuración de datos:

Rango límite mínimo: $x_{mín.} = \bar{x} - S = 6,31 - 1,26 = 5,04$

Rango límite máximo: $x_{máx.} = \bar{x} + S = 6,31 + 1,26 = 7,57$

Entonces para sacar el nuevo promedio depuramos (no tomamos en cuenta) los resultados que no estén dentro del rango de valores establecidos anteriormente, es así que procedemos a calcular los siguientes parámetros estadísticos:

Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{56,22}{9} = 6,25$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

x_i = Es la observación individual de cada elemento de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Mediana:

Sí: “n” es impar

$$Posición_{Me} = \frac{n + 1}{2} = \frac{9 + 1}{2} = 5$$

Por lo tanto tenemos que la mediana es:

$$Me = 6,10$$

Este valor nos indica que el 50 % de los valores están por encima de 6,10 y el otro 50 % por debajo de 6,10.

Moda:

Es el valor que más se repite dentro de toda la muestra, en nuestro caso la serie de datos no cuenta con una moda.

Relación empírica entre Media, Mediana y Moda:

DISTRIBUCIONES	RELACIÓN
Simétricas	$\bar{x} = Me = Mo$
Asimétricas a la derecha	$Mo > Me > \bar{x}$
Asimétricas a la izquierda	$Mo < Me < \bar{x}$

En nuestro caso vemos que no existe simetría en nuestros resultados obtenidos, ya que la media aritmética, la mediana y la moda son de diferentes valores debido a su distribución.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Son un conjunto de indicadores que nos expresan el grado de concentración o alejamiento de los datos respecto de la media aritmética.

Rango de los datos:

$$R = x_{m\acute{a}x.} - x_{m\acute{i}n.} = 7,57 - 5,20 = 2,37$$

Donde:

$x_{m\acute{a}x.}$ = Es el mayor valor de la muestra.

$x_{m\acute{i}n.}$ = Es el menor valor de la muestra.

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{5,97}{9 - 1}} = 0,86$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 0,86.

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} * [100\%] = \frac{0,86}{6,25} * [100\%] = 13,83\%$$

Si Cv es alto (mayor al 25 %) los datos están muy alejados del promedio, o el control de calidad de la variable media es pobre. Si Cv es bajo (menor al 5 %) los datos se acercan mucho al promedio y el control de calidad es excelente.

Lo que significa que la variación de los datos es de un 13,83 % por lo tanto la media aritmética es representativa en un 86,17 %.

MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Estas medidas indican la forma que toma la distribución de frecuencias de los datos observados.

Coefficiente de sesgo:

$$C_s = \frac{3 [\bar{x} - Me]}{S} = \frac{3 [6,25 - 6,10]}{0,86} = 0,51$$

Los resultados obtenidos se pueden clasificar de la siguiente manera:

$C_s > 0$	$C_s = 0$	$C_s < 0$
Asimetría positiva Sesgo hacia la izquierda Cola hacia la derecha	Simetría	Asimetría negativa Sesgo hacia la derecha Cola hacia la izquierda

La oblicuidad se debe a que algunos de los valores están por arriba del valor promedio, por lo que ésta es de 0,51 indicando que la media pudo ser menor, ya que ha sido influenciada por estos datos de mayor valor, esto significa que la mayor cantidad de datos se agrupa en valores menores de 6,25.

Lo que significa que la serie de datos cuenta con una asimetría positiva, ya que la oblicuidad que se obtuvo es positiva, lo que significa que se presenta el sesgo hacia la izquierda y la cola hacia la derecha ya que la serie de datos presenta una distribución asimétrica a la izquierda (Moda < Mediana < Media aritmética).

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

IRI - Calle Argentina (carril izquierdo)

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	VALORES	
Medidas de tendencia central		
Número de datos	n =	9
Media aritmética	\bar{x} =	6,25
Mediana	Me =	6,10
Moda	Mo =	---
Medidas de dispersión		
Desviación estándar	S =	0,86
Coefficiente de variación	Cv =	13,83 %
Valor mínimo	$x_{\min.}$ =	5,20
Valor máximo	$x_{\max.}$ =	7,57
Rango	R =	2,37
Medidas de asimetría		
Coefficiente de sesgo	Cs =	0,51

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA

Debido a que la muestra tiene menos de treinta elementos y se desconoce la desviación estándar de la población, es necesario utilizar una distribución “t” de **Student** para estimar el intervalo de confianza de la serie.

Se utilizara para el presente estudio un coeficiente de confianza convencional del 95 %, ya que no se trata de ninguna investigación de tipo político o médico.

Estimación de intervalo de confianza al 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

IC = Intervalo de confianza a calcular.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 6,25$$

$$S = 0,86$$

$$n = 9$$

Cálculo del valor de distribución “t”

$$t = \left[gl; 1 - \frac{\alpha}{2} \right] = \left[8; 1 - \frac{0,05}{2} \right]$$

$$t = [8; 0,975]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$gl = n - 1 = 9 - 1 = 8$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**8 ; 0,975**] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$$t = 2,31 \text{ Valor obtenido de “TABLAS”}$$

Reemplazando valores en la ecuación del intervalo de confianza tenemos:

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$$IC = 6,25 \pm 2,31 * \left[\frac{0,86}{\sqrt{9}} \right]$$

$$IC = 6,25 \pm 2,31 * [0,29]$$

$$IC = 6,25 \pm 0,66$$

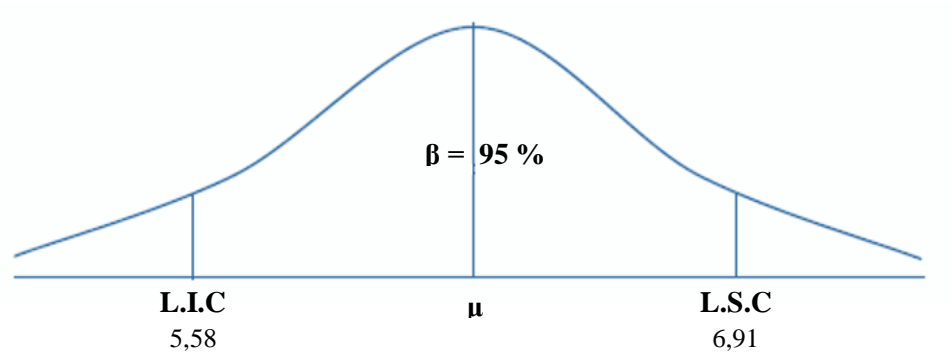
$$L.I.C = 5,58 \text{ "Límite Inferior de Confianza"}$$

$$L.S.C = 6,91 \text{ "Límite Superior de Confianza"}$$

$$E = 0,66 \text{ "Error en la Estimación"}$$

INTERVALOS DE CONFIANZA

IRI - Calle Argentina (carril izquierdo)



De acuerdo a la estimación puntual, el valor promedio del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) es de 6,25; una desviación estándar de 0,86; el error estándar del muestreo es de 0,29 con un máximo error en la estimación E, con una aceptación del 95 % de 0,66. Lo que quiere decir que existe un 95 % de confianza de que el valor promedio calculado del IRI este entre 5,58 y 6,91.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CALLE ARGENTINA (CARRIL DERECHO)

Se realizará un tratamiento estadístico al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), para poder verificar que los resultados parciales obtenidos son coherentes para ser objeto de estudio de este trabajo de investigación.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

*Resultados de las unidades de muestreo
IRI - Calle Argentina (carril derecho)*

n	(x_i) Datos	(x_i) Ordenada	$x_i - \bar{x}$	$[x_i - \bar{x}]^2$
1	3,83	5,09	-1,06	1,13
2	5,09	5,31	-0,84	0,71
3	5,31	5,40	-0,75	0,57
4	5,40	5,45	-0,70	0,49
5	5,45	5,45	-0,70	0,49
6	5,45	5,72	-0,43	0,19
7	5,72	7,23	1,08	1,16
8	7,23	7,79	1,64	2,68
9	7,79	7,93	1,78	3,16
10	7,93	---	---	---
11	9,55	---	---	---
12	10,17	---	---	---
13	10,69	---	---	---
	$\Sigma =$	55,37	0,00	10,58

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de tendencia central son indicadores que tienden a sintetizar o describir de la manera más representativa las características de un conjunto de datos.

DEPURACIÓN DE DATOS "IRI"

Primeramente se ordenó los datos de menor a mayor para obtener el promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas mediante el IRI (método mira y nivel), donde realizaremos una depuración de datos mediante estadística, debido a la dispersión que muestra los resultados es así que obtenemos los siguientes datos estadísticos:

$$\text{Media aritmética: } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{89,61}{13} = 6,89$$

Desviación estándar:
$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{57,12}{13 - 1}} = 2,18$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 2,18.

Rango de valores para depuración de datos:

Rango límite mínimo: $x_{mín.} = \bar{x} - S = 6,89 - 2,18 = 4,71$

Rango límite máximo: $x_{máx.} = \bar{x} + S = 6,89 + 2,18 = 9,07$

Entonces para sacar el nuevo promedio depuramos (no tomamos en cuenta) los resultados que no estén dentro del rango de valores establecidos anteriormente, es así que procedemos a calcular los siguientes parámetros estadísticos:

Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{55,37}{9} = 6,15$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

x_i = Es la observación individual de cada elemento de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Mediana:

Sí: “n” es impar

$$Posición_{Me} = \frac{n + 1}{2} = \frac{9 + 1}{2} = 5$$

Por lo tanto tenemos que la mediana es:

$$Me = 5,45$$

Este valor nos indica que el 50 % de los valores están por encima de 5,45 y el otro 50 % por debajo de 5,45.

Moda:

Es el valor que más se repite dentro de toda la muestra.

$$Mo = 5,45$$

Relación empírica entre Media, Mediana y Moda:

DISTRIBUCIONES	RELACIÓN
Simétricas	$\bar{x} = Me = Mo$
Asimétricas a la derecha	$Mo > Me > \bar{x}$
Asimétricas a la izquierda	$Mo < Me < \bar{x}$

En nuestro caso vemos que no existe simetría en nuestros resultados obtenidos, ya que la media aritmética, la mediana y la moda son de diferentes valores debido a su distribución.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Son un conjunto de indicadores que nos expresan el grado de concentración o alejamiento de los datos respecto de la media aritmética.

Rango de los datos:

$$R = x_{m\acute{a}x.} - x_{m\acute{i}n.} = 7,93 - 5,09 = 2,84$$

Donde:

$x_{m\acute{a}x.}$ = Es el mayor valor de la muestra.

$x_{m\acute{i}n.}$ = Es el menor valor de la muestra.

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{10,58}{9 - 1}} = 1,15$$

El promedio de la desviación de los datos respecto a la media aritmética es de 1,15.

Coefficiente de variación:

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} * [100\%] = \frac{1,15}{6,15} * [100\%] = 18,69\%$$

Si Cv es alto (mayor al 25 %) los datos están muy alejados del promedio, o el control de calidad de la variable media es pobre. Si Cv es bajo (menor al 5 %) los datos se acercan mucho al promedio y el control de calidad es excelente.

Lo que significa que la variación de los datos es de un 18,69 % por lo tanto la media aritmética es representativa en un 81,31 %.

MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Estas medidas indican la forma que toma la distribución de frecuencias de los datos observados.

Coefficiente de sesgo:

$$C_s = \frac{3 [\bar{x} - Me]}{S} = \frac{3 [6,15 - 5,45]}{1,15} = 1,83$$

Los resultados obtenidos se pueden clasificar de la siguiente manera:

$C_s > 0$	$C_s = 0$	$C_s < 0$
Asimetría positiva Sesgo hacia la izquierda Cola hacia la derecha	Simetría	Asimetría negativa Sesgo hacia la derecha Cola hacia la izquierda

La oblicuidad se debe a que algunos de los valores están por arriba del valor promedio, por lo que ésta es de 1,83 indicando que la media pudo ser menor, ya que ha sido influenciada por estos datos de mayor valor, esto significa que la mayor cantidad de datos se agrupa en valores menores de 6,15.

Lo que significa que la serie de datos cuenta con una asimetría positiva, ya que la oblicuidad que se obtuvo es positiva, lo que significa que se presenta el sesgo hacia la izquierda y la cola hacia la derecha ya que la serie de datos presenta una distribución asimétrica a la izquierda (Moda < Mediana < Media aritmética).

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

IRI - Calle Argentina (carril derecho)

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	VALORES	
Medidas de tendencia central		
Número de datos	n =	9
Media aritmética	\bar{x} =	6,15
Mediana	Me =	5,45
Moda	Mo =	5,45
Medidas de dispersión		
Desviación estándar	S =	1,15
Coefficiente de variación	Cv =	18,69 %
Valor mínimo	$x_{\min.}$ =	5,09
Valor máximo	$x_{\max.}$ =	7,93
Rango	R =	2,84
Medidas de asimetría		
Coefficiente de sesgo	Cs =	1,83

Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA

Debido a que la muestra tiene menos de treinta elementos y se desconoce la desviación estándar de la población, es necesario utilizar una distribución “t” de **Student** para estimar el intervalo de confianza de la serie.

Se utilizara para el presente estudio un coeficiente de confianza convencional del 95 %, ya que no se trata de ninguna investigación de tipo político o médico.

Estimación de intervalo de confianza al 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

IC = Intervalo de confianza a calcular.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 6,15$$

$$S = 1,15$$

$$n = 9$$

Cálculo del valor de distribución “t”

$$t = \left[gl; 1 - \frac{\alpha}{2} \right] = \left[8; 1 - \frac{0,05}{2} \right]$$

$$t = [8; 0,975]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$gl = n - 1 = 9 - 1 = 8$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**8 ; 0,975**] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$$t = 2,31 \quad \text{Valor obtenido de “TABLAS”}$$

Reemplazando valores en la ecuación del intervalo de confianza tenemos:

$$IC = \bar{x} \pm t * \left[\frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$$IC = 6,15 \pm 2,31 * \left[\frac{1,15}{\sqrt{9}} \right]$$

$$IC = 6,15 \pm 2,31 * [0,38]$$

$$IC = 6,15 \pm 0,89$$

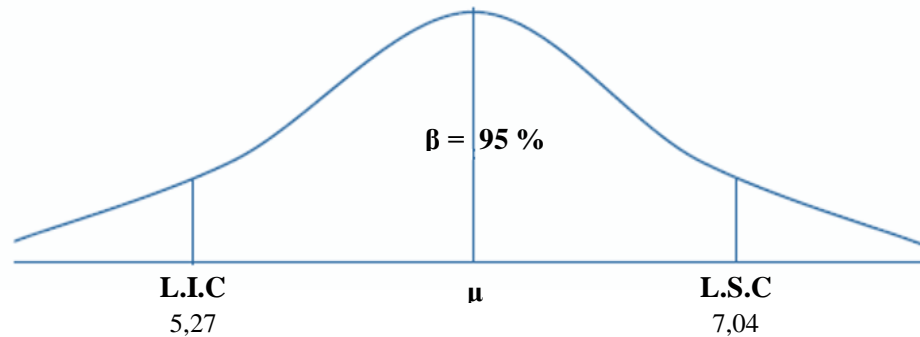
$$L.I.C = 5,27 \quad \text{"Límite Inferior de Confianza"}$$

$$L.S.C = 7,04 \quad \text{"Límite Superior de Confianza"}$$

$$E = 0,89 \quad \text{"Error en la Estimación"}$$

INTERVALOS DE CONFIANZA

IRI - Calle Argentina (carril derecho)



De acuerdo a la estimación puntual, el valor promedio del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) es de 6,15; una desviación estándar de 1,15; el error estándar del muestreo es de 0,38 con un máximo error en la estimación E, con una aceptación del 95 % de 0,89. Lo que quiere decir que existe un 95 % de confianza de que el valor promedio calculado del IRI este entre 5,27 y 7,04.

De acuerdo al muestreo y al análisis estadístico efectuado a los tramos de estudio, el resumen de los resultados obtenidos es el siguiente:

PARÁMETROS	\bar{x}	Me	Mo	S	Cv	Cs	L.I.C	L.S.C	E
Calle Cochabamba (carril izquierdo)	6,26	6,16	---	1,04	16,58 %	0,31	5,75	6,78	0,52
Calle Cochabamba (carril derecho)	5,99	6,12	4,79	0,86	14,36 %	- 0,44	5,58	6,41	0,41
Calle Tarija (carril izquierdo)	6,27	5,83	---	1,16	18,56 %	1,13	5,71	6,83	0,56
Calle Tarija (carril derecho)	6,32	6,34	6,41	0,94	14,84 %	- 0,08	5,86	6,77	0,45
Calle Argentina (carril izquierdo)	6,25	6,10	---	0,86	13,83 %	0,51	5,58	6,91	0,67
Calle Argentina (carril derecho)	6,15	5,45	5,45	1,15	18,69 %	1,83	5,27	7,04	0,89

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra cada uno de los valores promedios obtenidos, ya que cada valor obtenido es el más representativo de cada uno de los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina), el cual deberá ser el valor que se le establecerá al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), como valor estimado para la evaluación superficial.

Así también por medio de los cálculos efectuados, se obtuvo el intervalo de confianza en el cual oscilara el valor necesario para cada uno de los tramos en estudio. Tomando en cuenta este dato, se puede efectuar una comparación de los valores estimados según los valores del IRI y los intervalos de confianza establecidos.

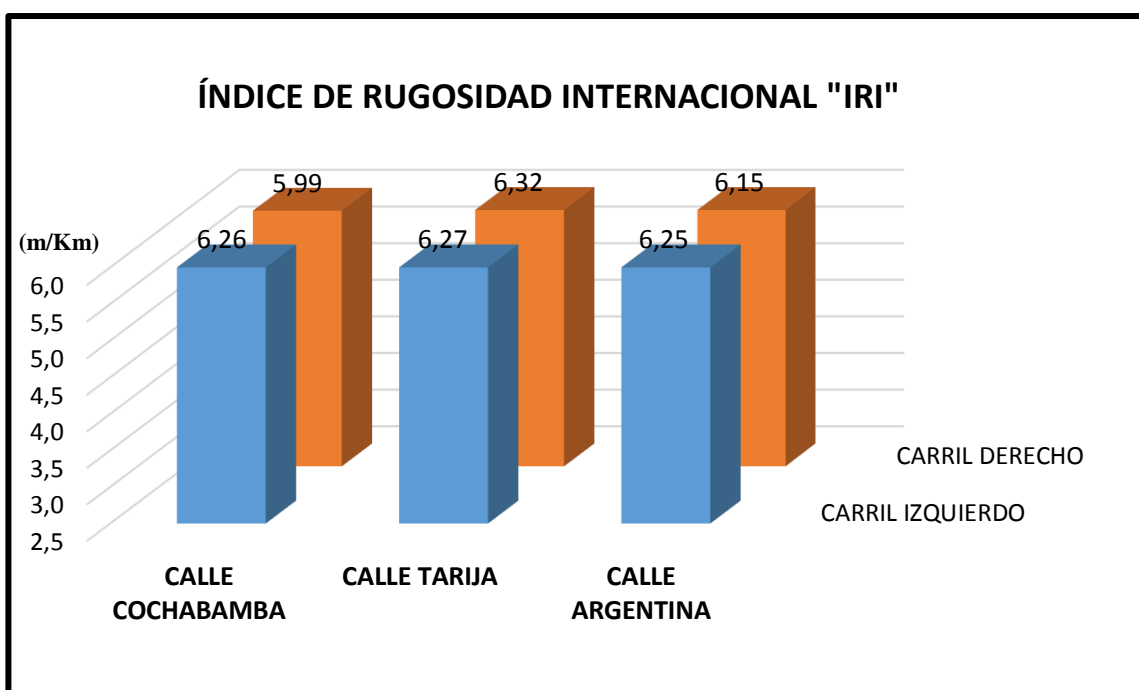
Finalmente podemos decir que los valores obtenidos del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) de los tramos en estudio están dentro de los intervalos de confianza, ya que los resultados obtenidos están totalmente respaldados por técnicas y procedimientos estadísticos, de forma que, los resultados pueden ser tomados como reales, tanto para la presente investigación, como para futuras investigaciones que tengan relación con los mismos.

Tabla 4.26 - Resultados del estado de las unidades de muestreo - IRI

TRAMO DE EVALUACIÓN	ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL		ESTADO DEL PAVIMENTO	
	CARRIL IZQUIERDO IRI (m/Km)	CARRIL DERECHO IRI (m/Km)	CARRIL IZQUIERDO	CARRIL DERECHO
Cochabamba	6,26	5,99	Viejo	Viejo
Tarija	6,27	6,32	Viejo	Viejo
Argentina	6,25	6,15	Viejo	Viejo

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 - Resultados del Índice de Rugosidad Internacional - IRI



Fuente: Elaboración propia

4.1.3.3. Análisis de resultados del método de evaluación IRI

ESTADÍSTICA INFERENCIAL - CALLE COCHABAMBA (CARRIL IZQ.)

Se realizara una estadística inferencial al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), para formular proposiciones en base a la información de los valores obtenidos de las muestras, mediante técnicas estadísticas para determinar el riesgo de la afirmación propuesta.

PRUEBA DE HIPÓTESIS RELACIONADA CON LA MEDIA

CASO: $n < 30$ (MUESTRAS PEQUEÑAS)

Parámetro: μ (Es la medida poblacional cuyo valor se desea estimar).

Población con distribución **Normal**, varianza σ^2 **desconocida**.

Estimador: **T** (Variable aleatoria con distribución **T**, con $v = n-1$).

Valor propuesto para el parámetro: μ_0

Para realizar inferencias se usa una variable aleatoria con distribución **T**.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \quad v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

PASOS A SEGUIR PARA LOS CÁLCULOS

1° Formulación de la Hipótesis Nula.

Donde: $H_0 =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 = 5,75$

2° Formulación de la Hipótesis Alternativa.

Donde: $H_a =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 > 5,75$

3° Especificar el nivel de significancia de la prueba α .

Donde: $\alpha =$ Nivel de significancia $\alpha = 5 \%$

4° Seleccionar el estadístico de prueba y definir la región de rechazo de H_0 .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \text{ tiene distribución } t \text{ con } v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

Donde: $\bar{x} =$ Media aritmética de la muestra.

$S =$ Desviación estándar de la muestra.

$n =$ Número de elementos de la muestra.

Datos: $\bar{x} = 6,26$
 $S = 1,04$
 $n = 18$

Región de rechazo de H_0

Cálculo del valor de distribución “ t_α ”

$$t_\alpha = [gl; \alpha] = [17; 0,05]$$

$$t_\alpha = [17; 0,05]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Nivel de significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$v = n - 1 = 18 - 1 = 17$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [17 ; 0,05] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$t_\alpha = 1,740$ Valor obtenido de “TABLAS”

Rechazar H_0 Sí: $t > t_\alpha = 1,740$

5° Con los datos de la muestra, calcular el valor estadístico.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{6,26 - 5,75}{\frac{1,04}{\sqrt{18}}} = 2,081$$

Por lo tanto: $t = 2,081 > t_\alpha = 1,740$ **OK...!!! Si cae en la región de rechazo**

6° Criterio de decisión: Verificación de las Hipótesis

Por lo tanto se rechaza que la media es igual a 5,75 y se concluye con un nivel de significancia del 5 % que el valor promedio del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) es mayor a 5,75.

ESTADÍSTICA INFERENCIAL - CALLE COCHABAMBA (CARRIL DER.)

Se realizara una estadística inferencial al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), para formular proposiciones en base a la información de los valores obtenidos de las muestras, mediante técnicas estadísticas para determinar el riesgo de la afirmación propuesta.

PRUEBA DE HIPÓTESIS RELACIONADA CON LA MEDIA

CASO: $n < 30$ (MUESTRAS PEQUEÑAS)

Parámetro: μ (Es la medida poblacional cuyo valor se desea estimar).

Población con distribución **Normal**, varianza σ^2 **desconocida**.

Estimador: **T** (Variable aleatoria con distribución **T**, con $v = n-1$).

Valor propuesto para el parámetro: μ_0

Para realizar inferencias se usa una variable aleatoria con distribución **T**.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}; \quad v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

PASOS A SEGUIR PARA LOS CÁLCULOS

1° Formulación de la Hipótesis Nula.

Donde: $H_0 =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 = 5,58$

2° Formulación de la Hipótesis Alternativa.

Donde: $H_a =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 > 5,58$

3° Especificar el nivel de significancia de la prueba α .

Donde: $\alpha =$ Nivel de significancia $\alpha = 5 \%$

4° Seleccionar el estadístico de prueba y definir la región de rechazo de H_0 .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}; \quad \text{tiene distribución } t \text{ con } v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

Donde: \bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\begin{aligned}\hat{x} &= 5,99 \\ S &= 0,86 \\ n &= 19\end{aligned}$$

Región de rechazo de H_0

Cálculo del valor de distribución “ t_α ”

$$t_\alpha = [gl; \alpha] = [18; 0,05]$$

$$t_\alpha = [18; 0,05]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Nivel de significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$v = n - 1 = 19 - 1 = 18$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**18 ; 0,05**] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$$t_\alpha = \mathbf{1,734}$$
 Valor obtenido de “TABLAS”

$$\text{Rechazar } H_0 \text{ Sí: } t > t_\alpha = \mathbf{1,734}$$

5° Con los datos de la muestra, calcular el valor estadístico.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{5,99 - 5,58}{\frac{0,86}{\sqrt{19}}} = \mathbf{2,078}$$

Por lo tanto: $t = \mathbf{2,078} > t_\alpha = \mathbf{1,734}$ **OK...!!! Si cae en la región de rechazo**

6° Criterio de decisión: Verificación de las Hipótesis

Por lo tanto se rechaza que la media es igual a 5,58 y se concluye con un nivel de significancia del 5 % que el valor promedio del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) es mayor a 5,58.

ESTADÍSTICA INFERENCIAL - CALLE TARIJA (CARRIL IZQ.)

Se realizara una estadística inferencial al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), para formular proposiciones en base a la información de los valores obtenidos de las muestras, mediante técnicas estadísticas para determinar el riesgo de la afirmación propuesta.

PRUEBA DE HIPÓTESIS RELACIONADA CON LA MEDIA

CASO: $n < 30$ (MUESTRAS PEQUEÑAS)

Parámetro: μ (Es la medida poblacional cuyo valor se desea estimar).

Población con distribución **Normal**, varianza σ^2 **desconocida**.

Estimador: **T** (Variable aleatoria con distribución **T**, con $v = n-1$).

Valor propuesto para el parámetro: μ_0

Para realizar inferencias se usa una variable aleatoria con distribución **T**.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \quad v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

PASOS A SEGUIR PARA LOS CÁLCULOS

1° Formulación de la Hipótesis Nula.

Donde: $H_0 =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 = 5,71$

2° Formulación de la Hipótesis Alternativa.

Donde: $H_a =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 > 5,71$

3° Especificar el nivel de significancia de la prueba α .

Donde: $\alpha =$ Nivel de significancia $\alpha = 5 \%$

4° Seleccionar el estadístico de prueba y definir la región de rechazo de H_0 .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \text{ tiene distribución } t \text{ con } v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

Donde: \bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\hat{x} = 6,27$$

$$S = 1,16$$

$$n = 19$$

Región de rechazo de H_0

Cálculo del valor de distribución “ t_α ”

$$t_\alpha = [gl; \alpha] = [18; 0,05]$$

$$t_\alpha = [18; 0,05]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Nivel de significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$v = n - 1 = 19 - 1 = 18$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**18 ; 0,05**] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$t_\alpha = 1,734$ Valor obtenido de “**TABLAS**”

Rechazar **H_0** Sí: **$t > t_\alpha = 1,734$**

5° Con los datos de la muestra, calcular el valor estadístico.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{6,27 - 5,71}{\frac{1,16}{\sqrt{19}}} = 2,104$$

Por lo tanto: **$t = 2,104 > t_\alpha = 1,734$** **OK...!!! Si cae en la región de rechazo**

6° Criterio de decisión: Verificación de las Hipótesis

Por lo tanto se rechaza que la media es igual a 5,71 y se concluye con un nivel de significancia del 5 % que el valor promedio del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) es mayor a 5,71.

ESTADÍSTICA INFERENCIAL - CALLE TARIJA (CARRIL DER.)

Se realizara una estadística inferencial al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), para formular proposiciones en base a la información de los valores obtenidos de las muestras, mediante técnicas estadísticas para determinar el riesgo de la afirmación propuesta.

PRUEBA DE HIPÓTESIS RELACIONADA CON LA MEDIA

CASO: $n < 30$ (MUESTRAS PEQUEÑAS)

Parámetro: μ (Es la medida poblacional cuyo valor se desea estimar).

Población con distribución **Normal**, varianza σ^2 **desconocida**.

Estimador: **T** (Variable aleatoria con distribución **T**, con $v = n-1$).

Valor propuesto para el parámetro: μ_0

Para realizar inferencias se usa una variable aleatoria con distribución **T**.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}; \quad v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

PASOS A SEGUIR PARA LOS CÁLCULOS

1° Formulación de la Hipótesis Nula.

Donde: $H_0 =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 = 5,86$

2° Formulación de la Hipótesis Alternativa.

Donde: $H_a =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 > 5,86$

3° Especificar el nivel de significancia de la prueba α .

Donde: $\alpha =$ Nivel de significancia $\alpha = 5 \%$

4° Seleccionar el estadístico de prueba y definir la región de rechazo de H_0 .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}; \quad \text{tiene distribución } t \text{ con } v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

Donde: $\bar{x} =$ Media aritmética de la muestra.

$S =$ Desviación estándar de la muestra.

$n =$ Número de elementos de la muestra.

Datos: $\bar{x} = 6,32$
 $S = 0,94$
 $n = 19$

Región de rechazo de H_0

Cálculo del valor de distribución “ t_α ”

$$t_\alpha = [gl; \alpha] = [18; 0,05]$$

$$t_\alpha = [18; 0,05]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Nivel de significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$v = n - 1 = 19 - 1 = 18$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [18 ; 0,05] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$t_\alpha = 1,734$ Valor obtenido de “TABLAS”

Rechazar H_0 Sí: $t > t_\alpha = 1,734$

5° Con los datos de la muestra, calcular el valor estadístico.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{6,32 - 5,86}{\frac{0,94}{\sqrt{19}}} = 2,133$$

Por lo tanto: $t = 2,133 > t_\alpha = 1,734$ **OK...!!! Si cae en la región de rechazo**

6° Criterio de decisión: Verificación de las Hipótesis

Por lo tanto se rechaza que la media es igual a 5,86 y se concluye con un nivel de significancia del 5 % que el valor promedio del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) es mayor a 5,86.

ESTADÍSTICA INFERENCIAL - CALLE ARGENTINA (CARRIL IZQ.)

Se realizara una estadística inferencial al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), para formular proposiciones en base a la información de los valores obtenidos de las muestras, mediante técnicas estadísticas para determinar el riesgo de la afirmación propuesta.

PRUEBA DE HIPÓTESIS RELACIONADA CON LA MEDIA

CASO: $n < 30$ (MUESTRAS PEQUEÑAS)

Parámetro: μ (Es la medida poblacional cuyo valor se desea estimar).

Población con distribución **Normal**, varianza σ^2 **desconocida**.

Estimador: **T** (Variable aleatoria con distribución **T**, con $v = n-1$).

Valor propuesto para el parámetro: μ_0

Para realizar inferencias se usa una variable aleatoria con distribución **T**.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}; \quad v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

PASOS A SEGUIR PARA LOS CÁLCULOS

1° Formulación de la Hipótesis Nula.

Donde: $H_0 =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 = 5,58$

2° Formulación de la Hipótesis Alternativa.

Donde: $H_a =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 > 5,58$

3° Especificar el nivel de significancia de la prueba α .

Donde: $\alpha =$ Nivel de significancia $\alpha = 5 \%$

4° Seleccionar el estadístico de prueba y definir la región de rechazo de H_0 .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}; \quad \text{tiene distribución } t \text{ con } v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

Donde: \bar{x} = Media aritmética de la muestra.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\hat{x} = 6,25$$

$$S = 0,86$$

$$n = 9$$

Región de rechazo de H_0

Cálculo del valor de distribución “ t_α ”

$$t_\alpha = [gl; \alpha] = [8; 0,05]$$

$$t_\alpha = [8; 0,05]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Nivel de significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$v = n - 1 = 9 - 1 = 8$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**8 ; 0,05**] en la tabla de valores críticos de “t” de **Student** se tiene:

$$t_\alpha = \mathbf{1,800}$$
 Valor obtenido de “TABLAS”

$$\text{Rechazar } H_0 \text{ Sí: } t > t_\alpha = \mathbf{1,800}$$

5° Con los datos de la muestra, calcular el valor estadístico.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{6,25 - 5,58}{\frac{0,86}{\sqrt{9}}} = 2,337$$

Por lo tanto: $t = 2,337 > t_\alpha = 1,800$ **OK...!!! Si cae en la región de rechazo**

6° Criterio de decisión: Verificación de las Hipótesis

Por lo tanto se rechaza que la media es igual a 5,58 y se concluye con un nivel de significancia del 5 % que el valor promedio del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) es mayor a 5,58.

ESTADÍSTICA INFERENCIAL - CALLE ARGENTINA (CARRIL DER.)

Se realizara una estadística inferencial al IRI (Índice de Rugosidad Internacional), para formular proposiciones en base a la información de los valores obtenidos de las muestras, mediante técnicas estadísticas para determinar el riesgo de la afirmación propuesta.

PRUEBA DE HIPÓTESIS RELACIONADA CON LA MEDIA

CASO: $n < 30$ (MUESTRAS PEQUEÑAS)

Parámetro: μ (Es la medida poblacional cuyo valor se desea estimar).

Población con distribución **Normal**, varianza σ^2 **desconocida**.

Estimador: **T** (Variable aleatoria con distribución **T**, con $v = n-1$).

Valor propuesto para el parámetro: μ_0

Para realizar inferencias se usa una variable aleatoria con distribución **T**.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \quad v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

PASOS A SEGUIR PARA LOS CÁLCULOS

1° Formulación de la Hipótesis Nula.

Donde: $H_0 =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 = 5,27$

2° Formulación de la Hipótesis Alternativa.

Donde: $H_a =$ Límite Inferior de Confianza $\mu_0 > 5,27$

3° Especificar el nivel de significancia de la prueba α .

Donde: $\alpha =$ Nivel de significancia $\alpha = 5 \%$

4° Seleccionar el estadístico de prueba y definir la región de rechazo de H_0 .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; \text{ tiene distribución } t \text{ con } v = n-1 \text{ grados de libertad.}$$

Donde: $\bar{x} =$ Media aritmética de la muestra.

$S =$ Desviación estándar de la muestra.

$n =$ Número de elementos de la muestra.

Datos:

$$\bar{x} = 6,15$$

$$S = 1,15$$

$$n = 9$$

Región de rechazo de H_0

Cálculo del valor de distribución “ t_α ”

$$t_\alpha = [gl; \alpha] = [8; 0,05]$$

$$t_\alpha = [8; 0,05]$$

Donde:

gl = Grados de libertad.

α = Nivel de significancia.

Reemplazando valores tenemos:

$$v = n - 1 = 9 - 1 = 8$$

$$\alpha = 5 \% \approx 0,05$$

Buscando los valores correspondientes [**8 ; 0,05**] en la tabla de valores críticos de “ t ” de **Student** se tiene:

$t_\alpha = 1,800$ Valor obtenido de “**TABLAS**”

Rechazar H_0 Sí: $t > t_\alpha = 1,800$

5° Con los datos de la muestra, calcular el valor estadístico.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{6,15 - 5,27}{\frac{1,15}{\sqrt{9}}} = 2,296$$

Por lo tanto: $t = 2,296 > t_\alpha = 1,800$ **OK...!!! Si cae en la región de rechazo**

6° Criterio de decisión: Verificación de las Hipótesis

Por lo tanto se rechaza que la media es igual a 5,27 y se concluye con un nivel de significancia del 5 % que el valor promedio del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) es mayor a 5,27.

4.2. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

4.2.1. Procedimiento de cálculo de la deflexión del pavimento

Una vez recogidos los datos de campo de los tramos en estudio (calles Cochabamba, Tarija y Argentina), como las lecturas que se toman en el dial corresponden a componentes de deformación en un proceso de descarga el valor o lectura final será menor que el inicial tal como se puede observar en el formato de cálculo de deflexiones, se procede a calcular los indicadores de estado de la estructura del pavimento, que son la deflexión máxima y el radio de curvatura; a continuación se muestra el procedimiento de cálculo de los mismos:

CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN MÁXIMA

$$D_o = K * [L_o - L_f]$$

Donde:

D_o = Deflexión máxima, en (**mm**)

K = Constante de la Viga Benkelman depende de la relación de brazos y de la calibración, (**adim.**)

L_o = Lectura inicial, en (**cm**)

L_f = Lectura final, en (**cm**)

Reemplazando valores en formula tenemos:

$$D_o = K * [L_o - L_f]$$

$$D_o = 2,0 * [100 - 81]$$

$$D_o = 38,0 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

El valor de deflexión máxima obtenido debe corregirse por temperatura ya que las medidas deben llevarse a una temperatura estándar de 20 °C, para poder realizar comparaciones entre diferentes tramos de medición de temperatura del pavimento para el punto de ensayo descrito fue de 21,4 °C, el valor de deflexión máxima debe corregirse usando la siguiente expresión:

$$D_{20} = \frac{D_t}{k * [t - 20 \text{ }^\circ\text{C}] * e + 1}$$

Donde:

D₂₀ = Deflexión a la temperatura standard, (**20 °C**)

D_t = Deflexión máxima, en (**mm**)

k = Coeficiente de temperatura, (**1x10⁻³ °C/cm**)

t = Temperatura del pavimento medida para cada ensayo, en (**°C**)

e = Espesor de la carpeta de rodadura, en (**cm**)

Reemplazando valores en formula tenemos:

$$D_{20} = \frac{38,0}{0,001 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}} * [21,4 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C}] * 17 \text{ cm} + 1}$$

$$D_{20} = 37,12 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

FACTOR DE CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD

La capacidad de deformación de los suelos está influenciada por el grado de saturación que experimentan, por lo tanto es deseable que la medición de deflexiones se realice durante la estación de lluvias, durante la cual los suelos se encuentran en situación más crítica. Debido a que el ensayo se realizó en época seca se debe efectuar la corrección de las medidas a fin de tomar en cuenta dicho aspecto. Según el estudio CONVERIAL (Consortio de Rehabilitación Vial) propone el uso de factores de corrección, considerando el tipo de suelo de subrasante y la época en que se realizan los ensayos, para el caso ensayo de los tramos en estudio (calles Cochabamba, Tarija y Argentina) realizando la clasificación del suelo de subrasante según AASHTO es un suelo A-6 (suelos arcillosos) en función a los datos conseguidos se adopta un factor de corrección por estacionalidad $F_{c_e} = 1,3$.

$$D_0 = D_{20} * F_{C_e}$$

Donde:

D_{20} = Deflexión a la temperatura standard, (20 °C)

F_{C_e} = Factor de corrección por estacionalidad, “Tabla 2.13” (**adim.**)

Reemplazando valores en formula tenemos:

$$D_0 = 37,12 * 1,3$$

$$D_0 = 48,25 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

DEFLEXIÓN A LA DISTANCIA DE 25 cm

El procedimiento de cálculo para determinar la deflexión a la distancia de 25 cm se procede de la misma manera que para el cálculo de la deflexión máxima tomando en cuenta los factores de corrección tanto para la temperatura como también por estacionalidad.

$$D_{25} = K * [L_{25} - L_f]$$

Donde:

D_{25} = Deflexión media a la distancia de 25 cm, en (**mm**)

K = Constante de la Viga Benkelman depende de la relación de brazos y de la calibración, (**adim.**)

L_{25} = Lectura a distancia de 25 cm de la posición inicial, en (**cm**)

L_f = Lectura final, en (**cm**)

Reemplazando valores en formula tenemos:

$$D_{25} = 2,0 * [95 - 81]$$

$$D_{25} = 28,0 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

$$D_{20} = \frac{D_t}{K * [t - 20 \text{ °C}] * e + 1}$$

Donde:

D₂₀ = Deflexión a la temperatura standard, (**20 °C**)

D_t = Deflexión media a la distancia de 25 cm, en (**mm**)

k = Coeficiente de temperatura, (**1x10⁻³ °C/cm**)

t = Temperatura del pavimento medida para cada ensayo, en (**°C**)

e = Espesor de la carpeta de rodadura, en (**cm**)

Reemplazando valores en formula tenemos:

$$D_{20} = \frac{28,0}{0,001 \frac{\text{°C}}{\text{cm}} * [21,4 \text{ °C} - 20 \text{ °C}] * 17 \text{ cm} + 1}$$

$$D_{20} = 27,35 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

FACTOR DE CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD

$$D_{25} = D_{20} * F_{C_e}$$

Donde:

D₂₀ = Deflexión a la temperatura standard, (**20 °C**)

F_{C_e} = Factor de corrección por estacionalidad, “Tabla 2.13” (**adim.**)

Reemplazando valores en formula tenemos:

$$D_{25} = 27,35 * 1,3$$

$$D_{25} = 35,55 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

RADIO DE CURVATURA

La curvatura que experimenta la superficie del pavimento, durante la aplicación de la carga, es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 25 cm, a partir de la deflexión máxima.

Para la determinación del radio de dicha curvatura se ha establecido la siguiente expresión empírica:

$$R_c = \frac{10 * [25^2]}{K * [D_0 - D_{25}]}$$

Donde:

R_c = Radio de curvatura, en (m)

K = Constante de la Viga Benkelman depende de la relación de brazos y de la calibración, (**adim.**)

D₀ = Deflexión máxima corregida, en (mm)

D₂₅ = Deflexión a 0,25 m corregida, en (mm)

Reemplazando valores en formula tenemos:

$$R_c = \frac{6250}{2,0 * [48,25 - 35,55]}$$

$$R_c = 246,06 \text{ m}$$

DEFLEXIÓN ADMISIBLE

La deflexión admisible es un parámetro que está definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión por encima del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura en el periodo considerado, la expresión que define este parámetro es:

$$D_a = \left[\frac{1,15}{N18} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Dónde: **N18** = Número total de ejes equivalentes de 8,2 Ton.

Debido a que las calles Cochabamba, Tarija y Argentina fueron construidos por la Alcaldía de Bermejo, quien no cuenta con datos sobre los tramos mencionados, es que se realizó la determinación del número de ESALs o número de ejes equivalente mediante el procedimiento simplificado que sirve para una rápida estimación de ESALs.

El número de ejes equivalentes será ESALs = 1.060.260 para un periodo de 20 años.

$$D_a = \left[\frac{1,15}{N18} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$D_a = \left[\frac{1,15}{1.060.260} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$D_a = 102,05 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

El pavimento de los tramos de estudio (calles Cochabamba, Tarija y Argentina) tendrá capacidad estructural suficiente para resistir las solicitaciones del tráfico de diseño, para las condiciones de resistencia, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible.

4.2.2. Resultados del método de evaluación estructural

4.2.2.1. Resultados parciales de la evaluación estructural

En las siguientes tablas se resumen los resultados de todas las unidades de muestreo de los tramos en estudio (calles Cochabamba, Tarija y Argentina).

CALLE COCHABAMBA

Tabla 4.27 - Resultados de la evaluación estructural

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS																
TRAMO: CALLE COCHABAMBA - CIUDAD DE BERMEJO																
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES - MÉTODO VIGA BENKELMAN																
TRAMO:		0+000 a 1+560				RELACIÓN DE BRAZOS:				2		PRESIÓN (Psi):			80,0	
ESTRUCTURA:		PAVIMENTO RÍGIDO				CARGA EJE (Kilos):				8200,0		CARRIL:			IDA / VUELTA	
FECHA:		10/09/2018				REALIZADO POR:				BEJARANO SUYO JUAN GABRIEL						
N° ENSAYO	PROGRESIVAS	CARRIL	[Temp.] Pavimento " °C "	[Espesor] Carpeta " cm "	[Factor] Corr. Estac. " Fce "	DEFLEXIONES A LAS DISTANCIAS DE:								D0	D25	RC
						L 0 0 cm	L 25 25 cm	L 50 50 cm	L 75 75 cm	L 100 100 cm	L 200 200 cm	L 300 300 cm	L 500 500 cm			
UM-1	0+000 - 0+024	IDA	20,00	17,00	1,30	65,00	54,60	46,80	36,40	28,60	20,80	10,40	0,00	65,0	54,6	300,5
UM-2	0+072 - 0+096	IDA	20,00	17,00	1,30	54,60	46,80	39,00	31,20	20,80	15,60	5,20	0,00	54,6	46,8	400,6
UM-3	0+144 - 0+168	IDA	20,00	17,00	1,30	54,60	41,60	36,40	31,20	20,80	15,60	5,20	0,00	54,6	41,6	240,4
UM-4	0+217 - 0+241	IDA	20,00	17,00	1,30	44,20	39,00	33,80	26,00	18,20	13,00	7,80	0,00	44,2	39,0	601,0
UM-5	0+288 - 0+312	IDA	20,00	17,00	1,30	65,00	49,40	41,60	31,20	23,40	15,60	10,40	0,00	65,0	49,4	200,3
UM-6	0+360 - 0+384	IDA	21,30	17,00	1,10	55,96	30,13	23,68	19,37	12,91	8,61	6,46	0,00	56,0	30,1	121,0
UM-7	0+432 - 0+456	IDA	21,30	17,00	1,10	62,42	34,44	27,98	21,52	15,07	8,61	4,30	0,00	62,4	34,4	111,7
UM-8	0+504 - 0+528	IDA	21,30	17,00	1,10	66,73	43,05	38,74	30,13	23,68	12,91	8,61	0,00	66,7	43,0	132,0
UM-9	0+576 - 0+600	IDA	21,30	17,00	1,10	66,73	51,66	45,20	19,37	12,91	8,61	4,30	0,00	66,7	51,7	207,4
UM-10	0+648 - 0+672	IDA	23,10	17,00	1,20	43,32	36,48	31,92	25,08	18,24	11,40	4,56	0,00	43,3	36,5	456,9
UM-11	0+720 - 0+744	IDA	23,10	17,00	1,20	50,16	38,76	34,20	27,36	20,52	13,68	6,84	0,00	50,2	38,8	274,1
UM-12	0+792 - 0+816	IDA	23,10	17,00	1,20	57,00	34,20	27,36	22,80	18,24	11,40	4,56	0,00	57,0	34,2	137,1
UM-13	0+865 - 0+890	IDA	23,10	17,00	1,20	57,00	38,76	34,20	27,36	20,52	13,68	6,84	0,00	57,0	38,8	171,3
UM-14	0+941 - 0+967	IDA	22,10	17,00	1,30	60,25	37,66	30,12	25,10	17,57	12,55	5,02	0,00	60,2	37,7	138,3
UM-15	1+012 - 1+035	IDA	22,10	17,00	1,30	62,76	47,70	40,17	30,12	22,59	15,06	5,02	0,00	62,8	47,7	207,5
UM-16	1+081 - 1+105	IDA	22,10	17,00	1,30	47,70	37,66	30,12	25,10	17,57	12,55	5,02	0,00	47,7	37,7	311,2
UM-17	1+154 - 1+179	IDA	22,10	17,00	1,30	62,76	45,19	40,17	30,12	22,59	15,06	7,53	0,00	62,8	45,2	177,8
UM-18	1+227 - 1+250	IDA	22,10	17,00	1,30	52,72	45,19	40,17	32,63	25,10	15,06	7,53	0,00	52,7	45,2	414,9
UM-19	1+297 - 1+320	IDA	24,50	17,00	1,20	55,74	44,59	37,90	31,21	22,29	15,61	6,69	0,00	55,7	44,6	280,3
UM-20	1+368 - 1+392	IDA	24,50	17,00	1,20	40,13	33,44	31,21	26,75	20,07	13,38	6,69	0,00	40,1	33,4	467,2
UM-21	1+439 - 1+463	IDA	24,50	17,00	1,20	53,51	35,67	28,98	24,52	15,61	11,15	4,46	0,00	53,5	35,7	175,2
UM-22	1+511 - 1+536	IDA	24,50	17,00	1,20	60,20	40,13	31,21	26,75	22,29	17,84	8,92	0,00	60,2	40,1	155,7
UM-23	0+288 - 0+312	VUELTA	25,20	17,00	1,30	50,72	41,06	33,81	28,98	19,32	14,49	4,83	0,00	50,7	41,1	323,5
UM-24	0+217 - 0+241	VUELTA	25,20	17,00	1,30	60,38	38,64	31,40	24,15	19,32	12,08	4,83	0,00	60,4	38,6	143,8
UM-25	0+144 - 0+168	VUELTA	25,20	17,00	1,30	57,97	38,64	31,40	24,15	19,32	12,08	4,83	0,00	58,0	38,6	161,7
UM-26	0+072 - 0+096	VUELTA	25,20	17,00	1,30	53,14	38,64	31,40	26,57	19,32	12,08	4,83	0,00	53,1	38,6	215,6
UM-27	0+000 - 0+024	VUELTA	25,20	17,00	1,30	60,38	43,47	36,23	28,98	24,15	14,49	7,25	0,00	60,4	43,5	184,8

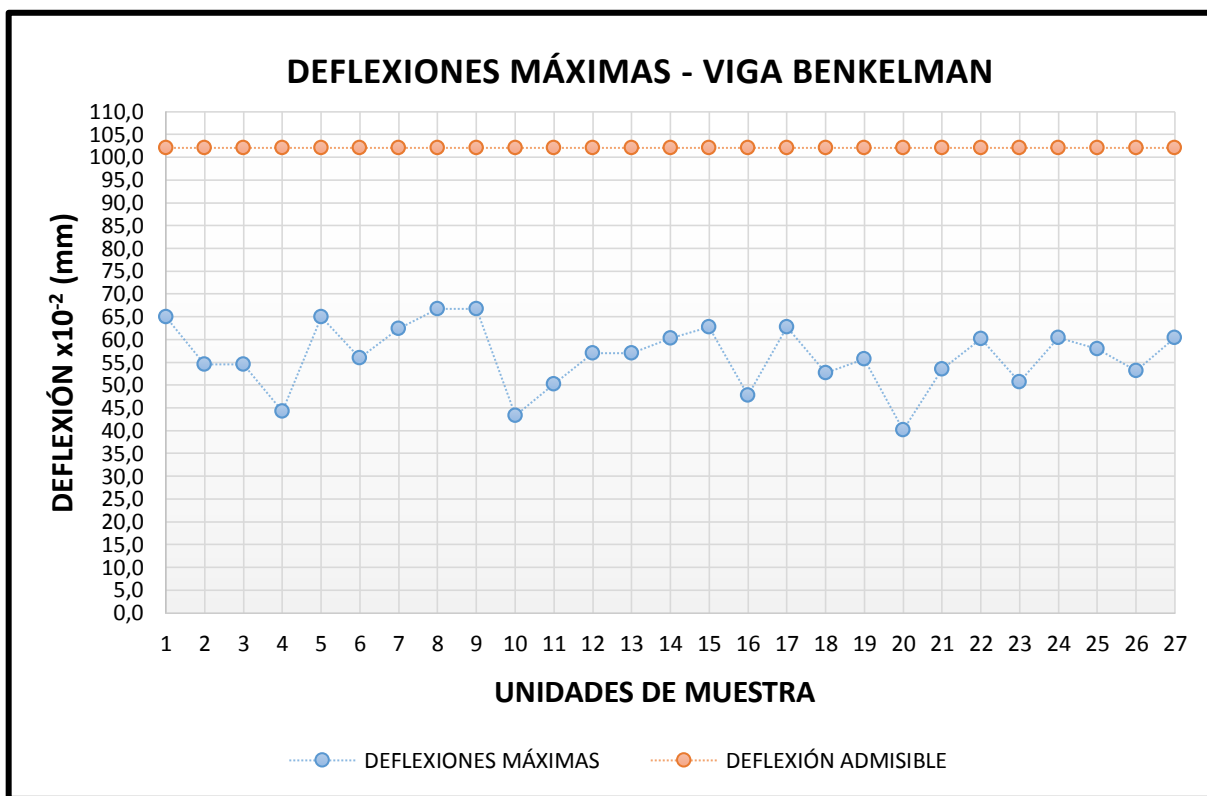
Fuente: Elaboración propia

RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO Calle Cochabamba

PARÁMETROS	[Temp.]	DEFLEXIONES A LAS DISTANCIAS DE:								D0	D25	RC
	Pavimento " °C "	L 0 0 cm	L 25 25 cm	L 50 50 cm	L 75 75 cm	L 100 100 cm	L 200 200 cm	L 300 300 cm	L 500 500 cm			
Promedio:	22,67	56,33	40,98	34,64	27,19	20,04	13,44	6,26	0,00	56,33	40,98	248,59
Desviación estándar:	1,87	7,11	5,80	5,57	4,05	3,59	2,73	1,82	0,00	7,11	5,80	125,22
Valor máximo:	25,20	66,73	54,60	46,80	36,40	28,60	20,80	10,40	0,00	66,73	54,60	600,96
Valor mínimo:	20,00	40,13	30,13	23,68	19,37	12,91	8,61	4,30	0,00	40,13	30,13	111,68
Coef. de variación:	8,25	12,62	14,14	16,08	14,88	17,92	20,30	29,11	0,00	12,62	14,14	50,37

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8 - Resultados de deflexiones máximas
Tramo: Calle Cochabamba



Fuente: Elaboración propia

CALLE TARIJA

Tabla 4.28 - Resultados de la evaluación estructural

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS																
TRAMO: CALLE TARIJA - CIUDAD DE BERMEJO																
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES - MÉTODO VIGA BENKELMAN																
TRAMO:		0+000 a 1+343				RELACIÓN DE BRAZOS:			2			PRESIÓN (Psi):		80,0		
ESTRUCTURA:		PAVIMENTO RÍGIDO				CARGA EJE (Kilos):			8200,0			CARRIL:		IDA		
FECHA:		10/09/2018				REALIZADO POR:			BEJARANO SUYO JUAN GABRIEL							
N° ENSAYO	PROGRESIVAS	CARRIL	[Temp.] Pavimento " °C "	[Espesor] Carpete " cm "	[Factor] Corr. Estac. " Fce "	DEFLEXIONES A LAS DISTANCIAS DE:								D0	D25	RC
						L 0 0 cm	L 25 25 cm	L 50 50 cm	L 75 75 cm	L 100 100 cm	L 200 200 cm	L 300 300 cm	L 500 500 cm			
UM-1	0+000 - 0+027	IDA	21,40	17,00	1,30	48,25	35,55	30,47	22,86	15,24	10,16	5,08	0,00	48,3	35,6	246,1
UM-2	0+055 - 0+083	IDA	21,40	17,00	1,30	45,71	38,09	30,47	22,86	17,78	12,70	7,62	0,00	45,7	38,1	410,2
UM-3	0+110 - 0+138	IDA	21,40	17,00	1,30	50,79	35,55	27,94	22,86	17,78	12,70	5,08	0,00	50,8	35,6	205,1
UM-4	0+162 - 0+186	IDA	21,40	17,00	1,30	43,17	35,55	33,01	27,94	20,32	12,70	7,62	0,00	43,2	35,6	410,2
UM-5	0+210 - 0+234	IDA	22,50	17,00	1,20	48,35	32,23	27,63	20,72	13,81	9,21	4,60	0,00	48,3	32,2	193,9
UM-6	0+258 - 0+281	IDA	22,50	17,00	1,20	36,83	27,63	25,32	20,72	16,12	9,21	4,60	0,00	36,8	27,6	339,4
UM-7	0+305 - 0+329	IDA	22,50	17,00	1,20	43,74	25,32	20,72	16,12	11,51	6,91	2,30	0,00	43,7	25,3	169,7
UM-8	0+352 - 0+376	IDA	22,50	17,00	1,20	43,74	29,93	23,02	18,42	13,81	9,21	4,60	0,00	43,7	29,9	226,2
UM-9	0+400 - 0+424	IDA	22,50	17,00	1,20	39,14	27,63	23,02	18,42	13,81	9,21	4,60	0,00	39,1	27,6	271,5
UM-10	0+447 - 0+471	IDA	23,10	17,00	1,25	42,75	30,87	26,12	19,00	16,62	11,87	7,12	0,00	42,7	30,9	263,2
UM-11	0+495 - 0+520	IDA	23,10	17,00	1,25	47,50	30,87	26,12	19,00	14,25	9,50	2,37	0,00	47,5	30,9	188,0
UM-12	0+545 - 0+571	IDA	23,10	17,00	1,25	45,12	30,87	26,12	19,00	14,25	9,50	4,75	0,00	45,1	30,9	219,3
UM-13	0+596 - 0+621	IDA	23,10	17,00	1,25	49,87	28,50	23,75	19,00	14,25	9,50	4,75	0,00	49,9	28,5	146,2
UM-14	0+643 - 0+665	IDA	24,30	17,00	1,30	43,61	36,34	31,50	24,23	19,38	12,11	7,27	0,00	43,6	36,3	429,9
UM-15	0+687 - 0+709	IDA	24,30	17,00	1,30	46,03	33,92	29,07	24,23	19,38	12,11	7,27	0,00	46,0	33,9	258,0
UM-16	0+731 - 0+757	IDA	24,30	17,00	1,30	43,61	33,92	29,07	21,81	14,54	7,27	2,42	0,00	43,6	33,9	322,4
UM-17	0+783 - 0+809	IDA	24,30	17,00	1,30	50,88	33,92	29,07	24,23	19,38	12,11	4,85	0,00	50,9	33,9	184,3
UM-18	0+835 - 0+861	IDA	24,30	17,00	1,30	53,30	33,92	29,07	24,23	19,38	12,11	7,27	0,00	53,3	33,9	161,2
UM-19	0+885 - 0+909	IDA	25,20	17,00	1,30	38,22	31,05	26,28	21,50	16,72	9,56	4,78	0,00	38,2	31,1	436,1
UM-20	0+934 - 0+958	IDA	25,20	17,00	1,30	45,39	33,44	28,67	23,89	16,72	11,94	7,17	0,00	45,4	33,4	261,6
UM-21	0+982 - 1+006	IDA	25,20	17,00	1,30	43,00	28,67	23,89	19,11	16,72	11,94	7,17	0,00	43,0	28,7	218,0
UM-22	1+030 - 1+054	IDA	25,20	17,00	1,30	50,17	28,67	23,89	19,11	14,33	9,56	4,78	0,00	50,2	28,7	145,4
UM-23	1+078 - 1+102	IDA	26,10	17,00	1,25	31,71	24,92	22,65	18,12	15,86	9,06	4,53	0,00	31,7	24,9	459,9
UM-24	1+126 - 1+149	IDA	26,10	17,00	1,25	43,04	33,98	29,45	22,65	15,86	9,06	4,53	0,00	43,0	34,0	344,9
UM-25	1+173 - 1+197	IDA	26,10	17,00	1,25	47,57	33,98	29,45	24,92	18,12	11,33	6,80	0,00	47,6	34,0	229,9
UM-26	1+221 - 1+245	IDA	26,10	17,00	1,25	49,83	33,98	29,45	24,92	18,12	11,33	4,53	0,00	49,8	34,0	197,1
UM-27	1+270 - 1+294	IDA	26,10	17,00	1,25	45,30	33,98	29,45	24,92	18,12	13,59	6,80	0,00	45,3	34,0	275,9
UM-28	1+318 - 1+343	IDA	26,10	17,00	1,25	54,36	33,98	27,18	20,39	15,86	11,33	4,53	0,00	54,4	34,0	153,3

Fuente: Elaboración propia

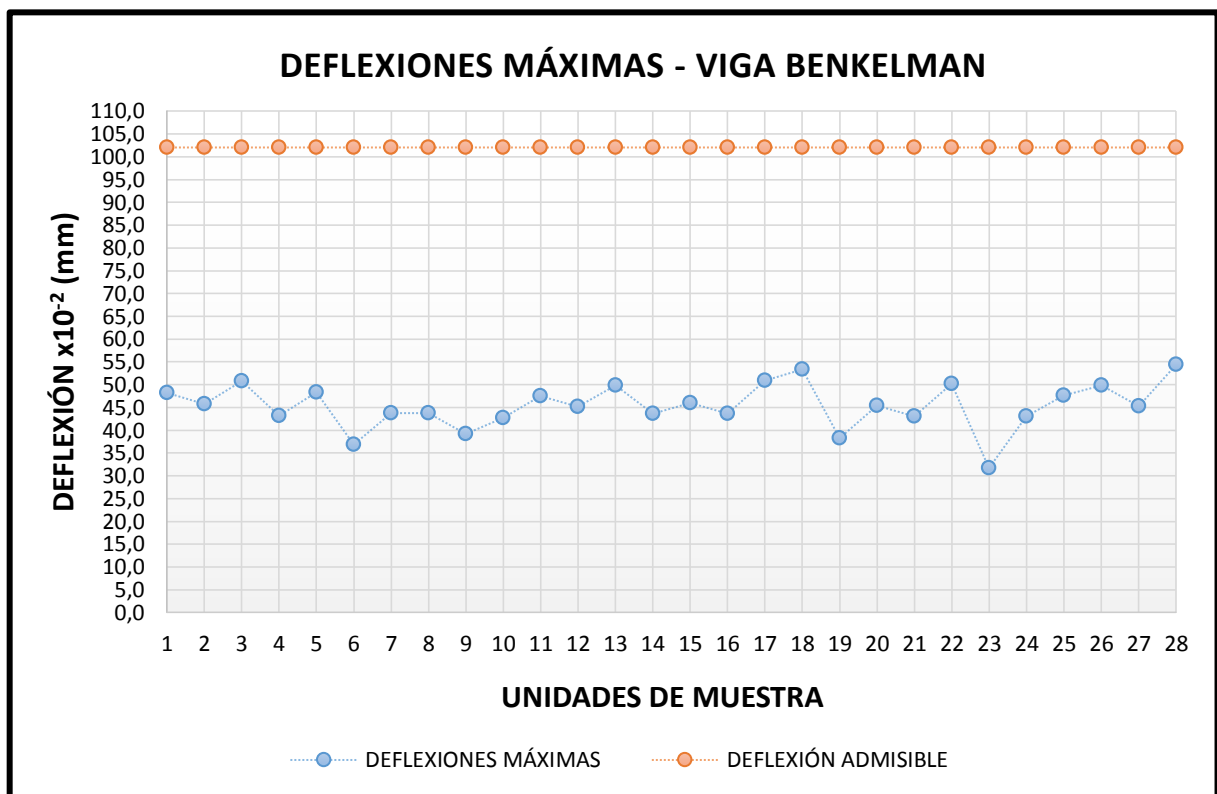
RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Calle Tarija

PARÁMETROS	[Temp.]	DEFLEXIONES A LAS DISTANCIAS DE:								D0	D25	RC
	Pavimento " °C "	L 0 0 cm	L 25 25 cm	L 50 50 cm	L 75 75 cm	L 100 100 cm	L 200 200 cm	L 300 300 cm	L 500 500 cm			
Promedio:	23,91	45,39	32,05	27,21	21,61	16,36	10,60	5,35	0,00	45,39	32,05	263,10
Desviación estándar:	1,66	5,01	3,37	3,04	2,83	2,21	1,74	1,59	0,00	5,01	3,37	95,41
Valor máximo:	26,10	54,36	38,09	33,01	27,94	20,32	13,59	7,62	0,00	54,36	38,09	459,88
Valor mínimo:	21,40	31,71	24,92	20,72	16,12	11,51	6,91	2,30	0,00	31,71	24,92	145,35
Coef. de variación:	6,92	11,04	10,52	11,19	13,11	13,51	16,38	29,81	0,00	11,04	10,52	36,26

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 - Resultados de deflexiones máximas
Tramo: Calle Tarija



Fuente: Elaboración propia

CALLE ARGENTINA

Tabla 4.29 - Resultados de la evaluación estructural

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS																
TRAMO: CALLE ARGENTINA - CIUDAD DE BERMEJO																
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES - MÉTODO VIGA BENKELMAN																
TRAMO:		0+000 a 0+372				RELACIÓN DE BRAZOS:		2		PRESIÓN (Psi):				80,0		
ESTRUCTURA:		PAVIMENTO RÍGIDO				CARGA EJE (Kilos):		8200,0		CARRIL:				IDA		
FECHA:		10/09/2018				REALIZADO POR:		BEJARANO SUYO JUAN GABRIEL								
N° ENSAYO	PROGRESIVAS	CARRIL	[Temp.] Pavimento " °C "	[Espesor] Carpeta " cm "	[Factor] Corr. Estac. " Fce "	DEFLEXIONES A LAS DISTANCIAS DE:								D0	D25	RC
						L 0 0 cm	L 25 25 cm	L 50 50 cm	L 75 75 cm	L 100 100 cm	L 200 200 cm	L 300 300 cm	L 500 500 cm			
UM-1	0+000 - 0+023	IDA	22,30	20,00	1,30	42,26	34,80	29,83	24,86	17,40	9,94	4,97	0,00	42,3	34,8	419,1
UM-2	0+023 - 0+047	IDA	22,30	20,00	1,30	44,74	32,31	27,34	22,37	14,91	9,94	4,97	0,00	44,7	32,3	251,4
UM-3	0+047 - 0+071	IDA	22,30	20,00	1,30	52,20	37,28	32,31	24,86	17,40	12,43	7,46	0,00	52,2	37,3	209,5
UM-4	0+071 - 0+095	IDA	22,30	20,00	1,30	47,23	37,28	32,31	27,34	19,89	12,43	7,46	0,00	47,2	37,3	314,3
UM-5	0+095 - 0+119	IDA	22,30	20,00	1,30	52,20	34,80	29,83	22,37	17,40	9,94	2,49	0,00	52,2	34,8	179,6
UM-6	0+119 - 0+153	IDA	23,10	20,00	1,25	44,73	35,31	30,60	23,54	16,48	11,77	7,06	0,00	44,7	35,3	331,9
UM-7	0+153 - 0+187	IDA	23,10	20,00	1,25	49,44	30,60	25,89	21,19	16,48	11,77	4,71	0,00	49,4	30,6	165,9
UM-8	0+187 - 0+221	IDA	23,10	20,00	1,25	47,08	35,31	30,60	23,54	16,48	11,77	4,71	0,00	47,1	35,3	265,5
UM-9	0+221 - 0+256	IDA	23,10	20,00	1,25	54,14	32,96	28,25	21,19	16,48	9,42	4,71	0,00	54,1	33,0	147,5
UM-10	0+256 - 0+290	IDA	24,50	20,00	1,20	35,23	26,42	24,22	19,82	15,41	8,81	4,40	0,00	35,2	26,4	354,8
UM-11	0+306 - 0+323	IDA	24,50	20,00	1,20	41,83	28,62	24,22	17,61	13,21	8,81	4,40	0,00	41,8	28,6	236,5
UM-12	0+323 - 0+339	IDA	24,50	20,00	1,20	44,04	28,62	24,22	19,82	13,21	6,61	2,20	0,00	44,0	28,6	202,8
UM-13	0+339 - 0+356	IDA	24,50	20,00	1,20	48,44	28,62	24,22	17,61	13,21	8,81	4,40	0,00	48,4	28,6	157,7

Fuente: Elaboración propia

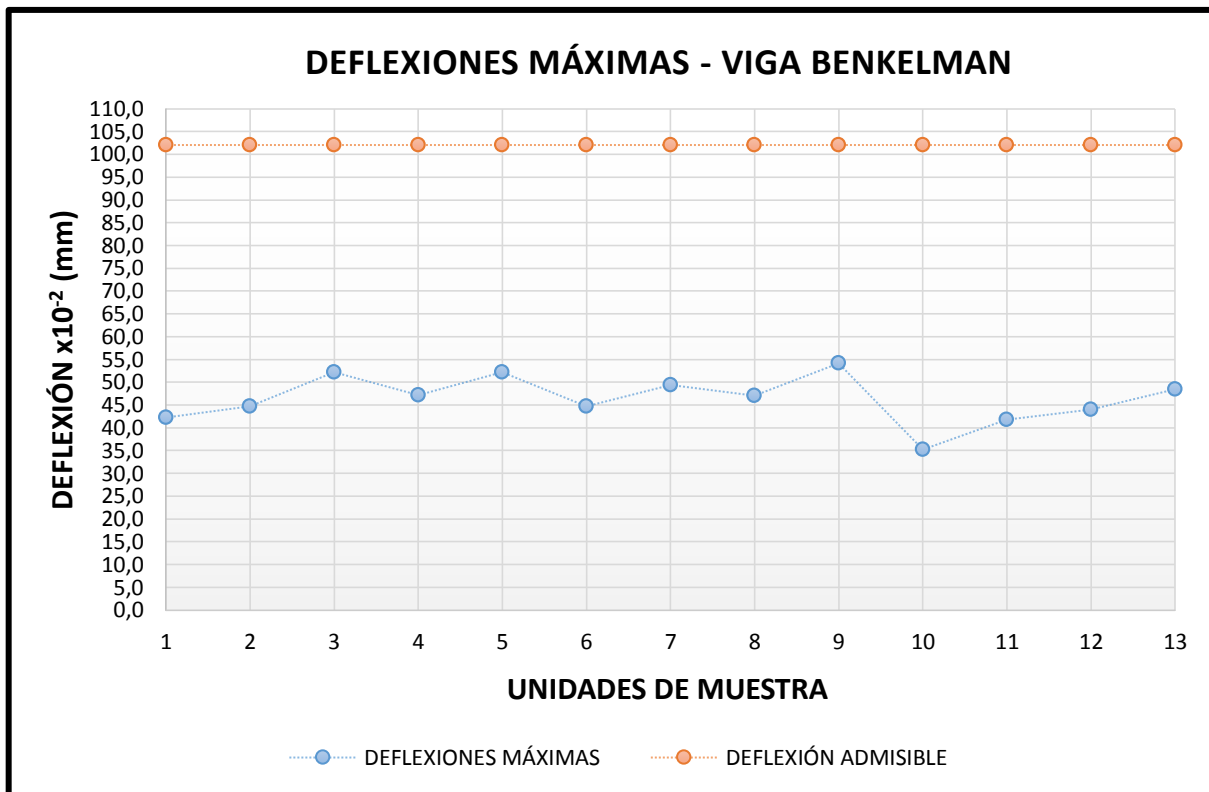
RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Calle Argentina

PARÁMETROS	[Temp.] Pavimento " °C "	DEFLEXIONES A LAS DISTANCIAS DE:								D0	D25	RC
		L 0 0 cm	L 25 25 cm	L 50 50 cm	L 75 75 cm	L 100 100 cm	L 200 200 cm	L 300 300 cm	L 500 500 cm			
Promedio:	23,22	46,43	32,54	27,99	22,01	16,00	10,19	4,92	0,00	46,43	32,54	248,97
Desviación estándar:	0,95	5,13	3,63	3,16	2,88	1,97	1,75	1,63	0,00	5,13	3,63	84,53
Valor máximo:	24,50	54,14	37,28	32,31	27,34	19,89	12,43	7,46	0,00	54,14	37,28	419,07
Valor mínimo:	22,30	35,23	26,42	24,22	17,61	13,21	6,61	2,20	0,00	35,23	26,42	147,50
Coef. de variación:	4,09	11,05	11,15	11,28	13,06	12,34	17,21	33,05	0,00	11,05	11,15	33,95

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10 - Resultados de deflexiones máximas
Tramo: Calle Argentina



Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2. Resultados del estado de las unidades de muestreo de los tramos en estudio

CALLE COCHABAMBA

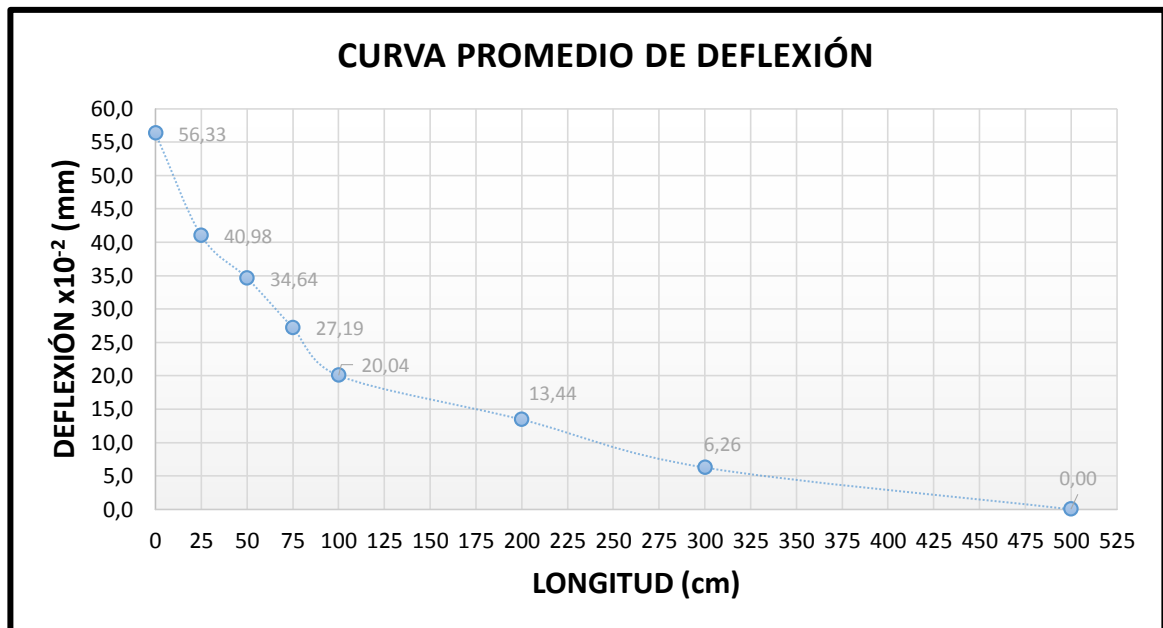
Tabla 4.30 - Resultados del estado de las unidades de muestreo

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS														
TRAMO: CALLE COCHABAMBA - CIUDAD DE BERMEJO														
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES - MÉTODO VIGA BENKELMAN														
TRAMO:		0+000 a 1+560		RELACIÓN DE BRAZOS:		2		PRESIÓN (Psi):		80,0				
ESTRUCTURA:		PAVIMENTO RÍGIDO		CARGA EJE (Kilos):		8200,0		CARRIL:		IDA / VUELTA				
FECHA:		10/09/2018		REALIZADO POR:		BEJARANO SUYO JUAN GABRIEL								
N° ENSAYO	PROG-	CARRIL	TEMP. °C	DEFLEXIONES A LAS DISTANCIAS DE:								D0	D25	RC
				L 0 0 cm	L 25 25 cm	L 50 50 cm	L 75 75 cm	L 100 100 cm	L 200 200 cm	L 300 300 cm	L 500 500 cm			
PROMEDIO	0+000 - 1+560	I / V	22,27	56,33	40,98	34,64	27,19	20,04	13,44	6,26	0,00	56,3	41,0	248,6

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11 - Resultados de la curva promedio de deflexión

Tramo: Calle Cochabamba



Fuente: Elaboración propia

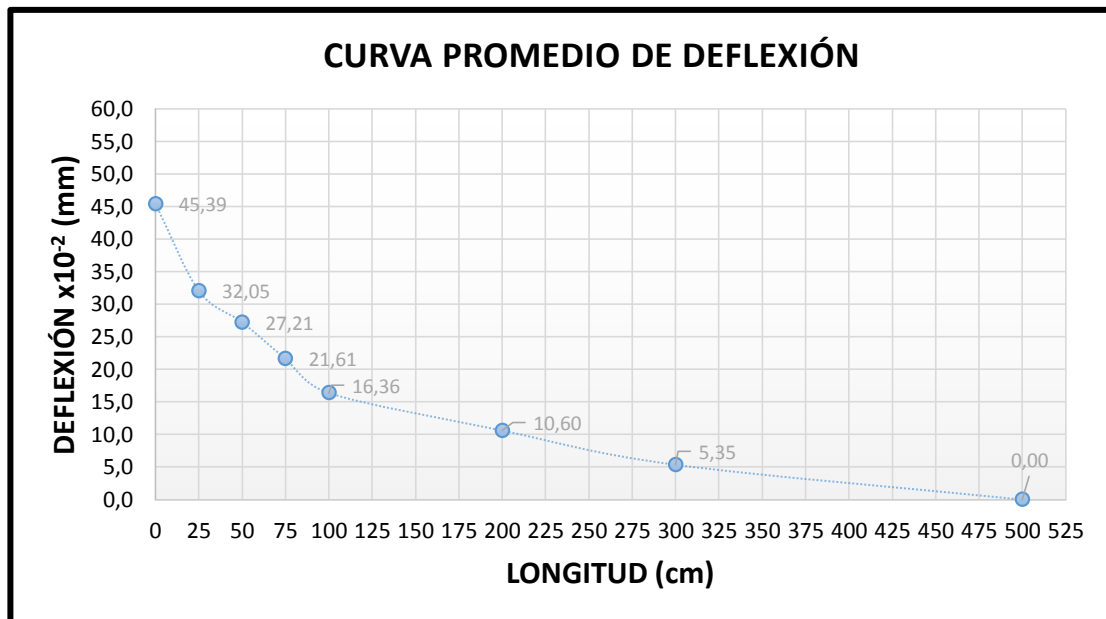
CALLE TARIJA

Tabla 4.31 - Resultados del estado de las unidades de muestreo

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS														
TRAMO: CALLE TARIJA - CIUDAD DE BERMEJO														
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES - MÉTODO VIGA BENKELMAN														
TRAMO:		0+000 a 1+343		RELACIÓN DE BRAZOS:		2		PRESIÓN (Psi):		80,0				
ESTRUCTURA:		PAVIMENTO RÍGIDO		CARGA EJE (Kilos):		8200,0		CARRIL:		IDA				
FECHA:		10/09/2018		REALIZADO POR:		BEJARANO SUYO JUAN GABRIEL								
N° ENSAYO	PROG-	CARRIL	TEMP. °C	DEFLEXIONES A LAS DISTANCIAS DE:								D0	D25	RC
				L 0 0 cm	L 25 25 cm	L 50 50 cm	L 75 75 cm	L 100 100 cm	L 200 200 cm	L 300 300 cm	L 500 500 cm			
PROMEDIO	0+000 - 1+343	IDA	23,91	45,39	32,05	27,21	21,61	16,36	10,60	5,35	0,00	45,4	32,0	263,1

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 - Resultados de la curva promedio de deflexión
Tramo: Calle Tarija



Fuente: Elaboración propia

CALLE ARGENTINA

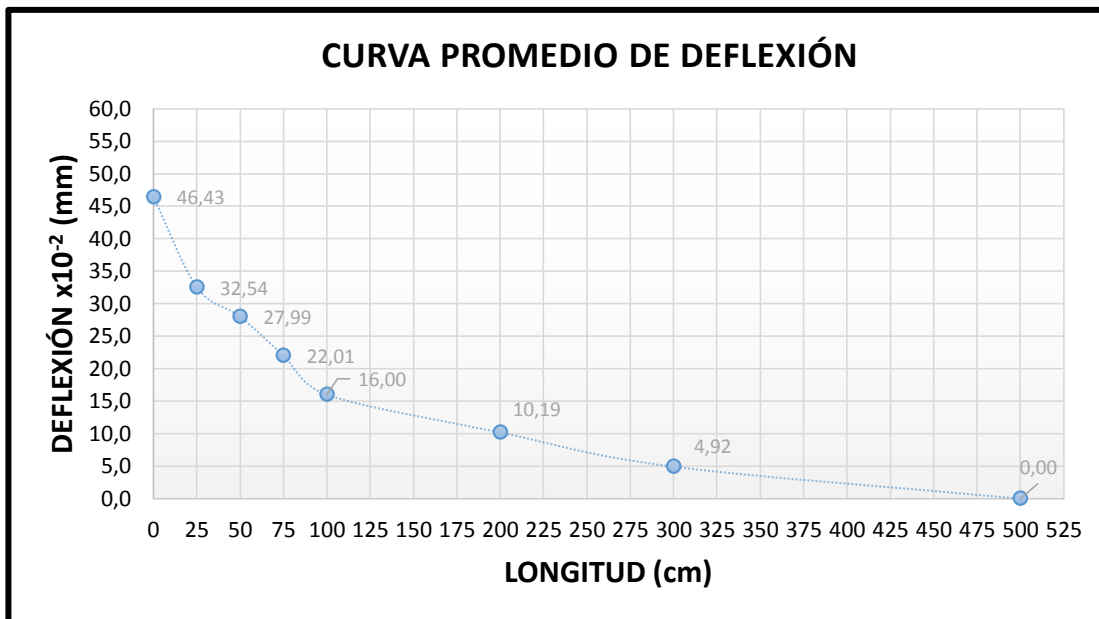
Tabla 4.32 - Resultados del estado de las unidades de muestreo

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS														
TRAMO: CALLE ARGENTINA - CIUDAD DE BERMEJO														
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES - MÉTODO VIGA BENKELMAN														
TRAMO:		0+000 a 0+372		RELACIÓN DE BRAZOS:		2		PRESIÓN (Psi):		80,0				
ESTRUCTURA:		PAVIMENTO RÍGIDO		CARGA EJE (Kilos):		8200,0		CARRIL:		IDA				
FECHA:		10/09/2018		REALIZADO POR:		BEJARANO SUYO JUAN GABRIEL								
N° ENSAYO	PROG-	CARRIL	TEMP. °C	DEFLEXIONES A LAS DISTANCIAS DE:								D0	D25	RC
				L 0 0 cm	L 25 25 cm	L 50 50 cm	L 75 75 cm	L 100 100 cm	L 200 200 cm	L 300 300 cm	L 500 500 cm			
PROMEDIO	0+000 - 0+372	IDA	23,22	46,43	32,54	27,99	22,01	16,00	10,19	4,92	0,00	46,4	32,5	249,0

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 - Resultados de la curva promedio de deflexión

Tramo: Calle Argentina



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Análisis de resultados de la evaluación estructural

La deflexión máxima promedio obtenida de la evaluación estructural de los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina) es de $Do = 56,3 \times 10^{-2}$ mm, $Do = 45,4 \times 10^{-2}$ mm y $Do = 46,4 \times 10^{-2}$ mm respectivamente; y la deformación admisible de los tramos obtenidas en función de N18 (ejes equivalentes de diseño) que establece un límite para la deflexión máxima es de $Dadm. = 102,05 \times 10^{-2}$ mm, donde los valores que estén por encima del mismo no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura durante el periodo considerado.

Se puede observar que las deformaciones obtenidas mediante el ensayo de la Viga Benkelman Do (deformación máxima) de todos los tramos en estudio son menores a la $Dadm.$ (deformación admisible), por lo tanto el pavimento sujeto a evaluación tiene la capacidad estructural adecuada para resistir los esfuerzos del tráfico de diseño.

El valor del radio de curvatura promedio de los tramos en estudio es de $Rc = 248,6$ m, $Rc = 263,1$ m y $Rc = 249,0$ m respectivamente, por lo tanto se puede indicar que el pavimento evaluado se califica como satisfactorio debido a que cumple con el criterio adoptado valores de radio de curvatura calculados mayores a 100 m y el radio de curvatura promedio está comprendido entre 300 y 500 m lo que indica un adecuado comportamiento estructural del pavimento evaluado.

Los valores obtenidos de deflexión máxima (Do) son menores a la deflexión admisible ($Dadm.$) y los valores de radio de curvatura obtenidos muestran que no existe fallas estructurales en los tramos de estudio, ya que las deflexiones máximas se encuentran entre ($45,4 \times 10^{-2}$ mm y $66,7 \times 10^{-2}$ mm) que son menores a la deflexión admisible ($Dadm. = 102,05 \times 10^{-2}$ mm).

Se puede apreciar en los puntos anteriores (graficas) que las deflexiones en los tramos de estudio, en general presentan valores bajos lo cual indica que el paquete estructural se encuentra en buenas condiciones a pesar del tránsito y el tráfico que circula actualmente sobrepasa lo estimado al momento en el cual fue diseñado, cabe recalcar que el tráfico pesado además del crecimiento poblacional en la zona hizo que el transporte público y particular tenga un incremento desmedido del tráfico.

4.3. PROPUESTA DE MEJORAS A REALIZAR

En la trayectoria de los tramos evaluados en el que se realizó la evaluación superficial por el método PCI (Índice de Condición del Pavimento) se presentaron los siguientes tipos de fallas representativos para la metodología como se puede apreciar la siguiente tabla:

Tabla 4.33 - Porcentaje de fallas en tramos de estudio

TIPOS DE FALLA	Calle Cochabamba % FALLA	Calle Tarija % FALLA	Calle Argentina % FALLA
1. Blow up / Buckling	0,15	1,51	0,30
2. Grieta de esquina	13,02	9,81	8,58
3. Losa dividida	2,81	6,04	0,89
4. Grieta de durabilidad "D"	2,51	7,92	0,89
5. Escalonamiento o escala	1,33	1,51	---
6. Daño del sello de junta	7,69	9,43	12,13
7. Desnivel carril / berma	0,44	1,89	1,18
8. Grietas lineales (long., trans. y diag.)	7,99	12,45	5,92
9. Parche grande (mayor de 0,45 m ²)	1,04	0,19	---
10. Parche pequeño (menor de 0,45 m ²)	5,77	3,21	1,78
11. Pulimiento de agregados	11,39	5,09	21,30
12. Popouts o desprend. superficiales	26,78	23,21	24,85
13. Bombeo	0,44	---	---
14. Punzonamiento	---	0,38	---
16. Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado	0,44	---	---
17. Grietas de retracción	---	---	9,47
18. Descascaramiento de esquina	4,88	10,00	5,03
19. Descascaramiento de junta	13,31	7,36	7,69
TOTAL =	100 %	100 %	100 %

Fuente: Elaboración propia

Las fallas predominantes en la calle Cochabamba son: Popouts o desprendimientos superficiales con un porcentaje de 26,78 % entre las fallas existentes en el tramo evaluado. La grieta de esquina y el descascaramiento de junta ocupan el segundo lugar con un 13,02 % y 13,31 % respectivamente sobre el área total y el pulimiento de agregados ocupa el tercer lugar con un porcentaje del 11,39 % sobre el área total, son las fallas que se presentan en mayor porcentaje.

Las fallas predominantes en la calle Tarija son: Popouts o desprendimientos superficiales con un porcentaje de 23,21 % entre las fallas existentes en el tramo evaluado. Las grietas lineales (grietas longitudinales, transversales y diagonales) ocupa el segundo lugar con un

12,45 % sobre el área total y el descascaramiento de esquina ocupa el tercer lugar con un porcentaje del 10 % sobre el área total, son las fallas que se presentan en mayor porcentaje.

Las fallas predominantes en la calle Argentina son: Popouts o desprendimientos superficiales con un porcentaje de 24,85 % entre las fallas existentes en el tramo evaluado. El pulimiento de agregados ocupa el segundo lugar con un 21,30 % sobre el área total y el daño del sello de junta ocupa el tercer lugar con un porcentaje del 12,13 % sobre el área total, son las fallas que se presentan en mayor porcentaje.

Después de haber analizado toda la información referente al estado del pavimento, se procede a determinar el tipo de trabajo que requiere la estructura, para lo cual tenemos las siguientes alternativas:

Mantenimiento: Se refiere a todos los trabajos que tienden a resguardar la obra en su condición presente o mantenerla en su nivel actual, y generalmente se limita a bacheos, riegos de sellado, lechadas asfálticas, mantenimiento de bermas, etc.

Rehabilitación: Los trabajos de rehabilitación de pavimentos según su finalidad se clasificaran en estructurales y superficiales. La primera tendrá por objeto aumentar significativamente la capacidad estructural del pavimento existente, adecuándola a las acciones del tráfico previsto durante su periodo de servicio. El objeto de las segunda será conservar o mejorar sus características funcionales (seguridad, comodidad, etc.) y la protección del pavimento en su conjunto (aumento de la durabilidad, impermeabilidad, uniformidad, aspecto, etc.).

SOLUCIONES DE REPARACIÓN

A continuación describiremos los procedimientos para realizar las reparaciones a los tramos estudiados de acuerdo a las fallas más predominantes.

Grietas lineales (grietas long., trans. y diag.)

Las grietas lineales (grietas longitudinales, transversales y diagonales) son causadas usualmente por una combinación de la repetición de las cargas de tránsito y el alabeo por gradiente térmico o de humedad; este tipo de grietas no está asociado a las cargas del tráfico, en este caso al presentarse un gran porcentaje de este tipo de falla hay varios

factores por los cuales se presentan este tipo de fallas uno de ellos es el tráfico que en los últimos años se ha incrementado considerablemente ocasionando grietas pequeñas que al presentarse precipitaciones pluviales hace que las mismas aumenten tamaño, es decir su longitud en la mayor parte y se puede apreciar claramente que la mayoría de las fallas de este tipo se propagan en toda la extensión de la losa.

Grieta de esquina

Es una grieta que intercepta las juntas de una losa a una distancia menor o igual que la mitad de la longitud de la misma en ambos lados, medida desde la esquina; debido a la repetición de cargas combinada con la pérdida de soporte y los esfuerzos de alabeo. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento o deficiente transferencia de cargas a través de la junta que favorece se produzcan altas deflexiones de esquina, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento (alabeo de las losas por variaciones térmicas o de contenido de humedad).

Popouts o desprendimientos superficiales

Es un pequeño pedazo de pavimento que se desprende de la superficie del mismo, debido a partículas blandas o fragmentos de madera rotos y desgastados por el tránsito. Este daño indica que, o bien el hormigón y los agregados se han endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de calidad pobre, en este caso hay varios factores que podrían haber provocado la presencia de este tipo de falla, uno de ellos es debido a que el tráfico que circula actualmente sobrepasa lo estimado al momento en el cual fue diseñado, cabe recalcar que el tráfico pesado además del crecimiento poblacional en la zona hizo que el transporte público y particular tenga un incremento desmedido del tráfico, debido a lo descrito en líneas superiores se concluye que en el tramo evaluado la severidad es alta ya que se han perdido de forma considerable los agregados y el hormigón. La textura superficial es sumamente rugosa y bastante ahuecada. Las áreas ahuecadas tiene diámetros menores a 10,0 mm y profundidades menores que 13,0 mm. Áreas mayores se consideran como huecos.

REPARACIÓN RECOMENDADA

Para las fallas: Grietas lineales (long., trans. y diag.), grieta de esquina y popouts o desprendimientos superficiales de severidad alta.

Bacheo profundo (reparación permanente)

PERSONAL

Superintendente de obras

Operador A

Operador B

Chofer

Peón

EQUIPO

Camión volquete a diésel $\leq 8 \text{ m}^3$

Compactador de rodillo liso autopropulsado

Martillo neumático y rompe asfaltos

Compresora de campo de 230 a 600 CFM

Compactador vibratorio manual de placa

PROCEDIMIENTO

Para realizar este trabajo, se procederá de la siguiente manera:

- a) Se remueve la superficie y la base hasta la profundidad que sea necesaria para alcanzar un apoyo firme, extendiéndose al menos 30 cm en el pavimento sano, fuera de área agrietada. Esto puede significar que parte del material de la subrasante también tendrá que ser removido. Hágase el corte cuadrado o rectangular, con caras rectas y verticales.
- b) Si el agua es la causa de la falla, se instalan drenajes.
- c) Se aplica una capa de pega a las caras verticales.
- d) Para obtener los mejores resultados, se rellena el hueco con la mezcla asfáltica densamente graduada, mezclada en caliente en planta para evitar la segregación de la mezcla, extendiéndose cuidadosamente. Si no se dispone de mezcla asfáltica se pueden hacer el relleno con un buen material granular de base. Parte del material

de la superficie y de la parte superior de la base removida del hueco, desmenuzado en pequeños pedazos y mezclados completamente, puede colocarse en el fondo del hueco.

- e) Si el hueco tiene más de 15 cm de profundidad, se debe compactar en capas, compactándose cada capa perfectamente. La compactación debe realizarse con el equipo más apropiado al tamaño del trabajo.
- f) Cuando la mezcla asfáltica se coloca directamente sobre la subrasante, no se requiere imprimación.
- g) Si se emplea una base granular, entonces debe ser imprimada. La reparación se completa luego colocando mezcla asfáltica mezclada en caliente en planta y compactándola hasta dejarla a ras con la superficie adyacente. Si no se dispone de mezcla asfáltica en caliente, se puede utilizar material mezclado en planta usando asfalto líquido.
- h) Utilice una regla o un alambre para verificar las cualidades de rodamiento y el alineamiento del bache.

REPARACIÓN RECOMENDADA

Para las fallas: Grietas lineales (long., trans. y diag.), grieta de esquina y popouts o desprendimientos superficiales de severidad baja y media.

Bacheo superficial (reparación provisional) para superficies con grietas de más de 3 mm de ancho.

PERSONAL

Superintendente de obras

Operador A

Operador B

Chofer

Peón

EQUIPO

Camión volquete a diésel $\leq 8 \text{ m}^3$

Compactador de rodillo liso autopropulsado

Martillo neumático y rompe asfaltos

Compresora de campo de 230 a 600 CFM

Compactador vibratorio manual de placa

PROCEDIMIENTO

Para realizar este trabajo, se procederá de la siguiente manera:

- a) Se abre una zanja poco profunda alrededor del área que se va a bachear, en forma tal que los bordes resulten con caras verticales.
- b) Se limpian el área agrietada barriéndola con cepillos y si es necesario con aire comprimido.
- c) Se usa el cepillo para extender sobre las grietas, material asfáltico de gradación fina, mezclado en planta.
- d) Se compacta con un compactador vibrante plano, o se apisona con las ruedas traseras de un camión cargado.
- e) Se aplica una capa de pega.
- f) Se coloca un parche delgado con material asfáltico mezclado en caliente en planta. Si no se dispone de esta material, se utiliza mezcla con asfalto líquido. Antes de compactar deben limpiarse los bordes cuidadosamente, removiendo las partículas gruesas con un raspador y un rastrillo.
- g) Se compacta el parche con un compactador vibrante plano. Si no se dispone de ninguno de ellos, la compactación podrá realizarse con las ruedas del camión que transporta la mezcla.

SOLUCIONES DE REPARACIÓN

Descascaramiento de junta

Es la rotura de la losa aproximadamente en la esquina, que usualmente buza hacia abajo para interceptar la junta. Este daño es provocado por la acción del tránsito y del clima sobre la superficie del pavimento con perceptibles defectos originados por el control de calidad muy pobre durante la construcción del mismo, como ser: el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua y agregados de inapropiada graduación), deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curados defectuosos) entre otros factores exógenos pueden favorecer al deterioro de la superficie, como el ataque de agua angulosas sueltas sobre las pistas, que incrementan el poder abrasivo del tránsito.

Descascaramiento de esquina

Es la rotura de la losa aproximadamente en la esquina, que usualmente buza hacia abajo para interceptar la junta. Este daño es provocado por la acción del tránsito y del clima sobre la superficie del pavimento con perceptibles defectos originados por el control de calidad muy pobre durante la construcción del mismo, como ser: el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua y agregados de inapropiada graduación), deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curados defectuosos) entre otros factores exógenos pueden favorecer al deterioro de la superficie, como el ataque de agua angulosas sueltas sobre las pistas, que incrementan el poder abrasivo del tránsito.

Daño del sello de junta

Este tipo de falla se presenta por deficiencias en el material de sello, que permite que suelo o material incompresible se acumule y penetra en las juntas o permite una significativa infiltración de agua. La acumulación de material incompresible impide el movimiento de la losa, posibilitando se produzca otras fallas como levantamientos o desportillamientos de juntas. La infiltración de agua a la fundación reduce su capacidad soporte y favorece el bombeo de material fino, básicamente las manifestaciones mencionadas anteriormente pueden actuar en forma aislada o combinada.

REPARACIÓN RECOMENDADA

Para las fallas: Descascaramiento de junta, descascaramiento de esquina y daño del sello de junta de severidad baja, media y alta.

Sellado de fisuras y grietas

PERSONAL

Superintendente de obras

Operador A

Operador B

Chofer

Peón

EQUIPO

Camión volquete a diésel $\leq 8 \text{ m}^3$

Compactador de rodillo liso autopropulsado

Compresora de campo de 230 a 600 CFM

Calentador de asfaltos

Distribuidor de arena

Sierra circular

PROCEDIMIENTO

Para realizar este trabajo, se procederá de la siguiente manera:

- a) Se limpia el pavimento y las grietas con cepillo y aire comprimido.
- b) Se rellena las grietas con lechada de emulsión o asfalto líquido, mezclado con arena, enjugando con una escobilla de goma.
- c) Se aplica una capa de pega.
- d) Se nivelan los bordes asentados, extendiendo material asfáltico en caliente. Se comprueba la nivelación con una regla.
- e) El parche terminado se compacta hasta emparejarlo con la superficie circundante.

4.4. ESTIMACIÓN DE ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Se realizaran con los precios del mercado, y con las actividades a desarrollar en el mantenimiento y rehabilitación de los tramos en estudio, estos análisis se pueden ver en el ANEXO 11 más detalladamente.

5.1. CONCLUSIONES

- En primer lugar es necesario mencionar que de una inspección ocular preliminar en los tramos de estudio, se identifica la necesidad de elegir la evaluación superficial y estructural, actualmente el pavimento presenta varias irregularidades las cuales fueron analizadas a detalle en la presente investigación como ser: características estructurales y superficiales, comportamiento y las causas que ameritaron dichas alteraciones en el pavimento.

- Tras evaluar los resultados de los indicadores de estado, se concluye que el estado superficial de los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina) sobresale lo siguiente:

Índice de Condición del Pavimento (PCI)

- ✓ Los resultados finales del índice de condición del pavimento para los tramos en estudio tienen un valor numérico de 57,80, 59,34 y 66,66 respectivamente; valor que pertenece según la escala del método al intervalo (70 - 50) que corresponde valores de PCI de calificación “BUENO”, resultados que clasifican a los tramos en un estado de “Regular a Bueno”.

Tabla 5.1 - Resultados del Índice de Condición del Pavimento

TRAMOS DE EVALUACIÓN	PCI “CALCULADO”	CLASIFICACIÓN
Calle Cochabamba	57,80	Bueno
Calle Tarija	59,34	Bueno
Calle Argentina	66,66	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

- ✓ Los resultados finales del índice de serviciabilidad presente para los tramos en estudio tienen un valor numérico de 3,16, 3,48 y 3,17 respectivamente; valor que pertenece según calificación del método al intervalo (4 - 3) que corresponde valores de PSI de calificación “BUENO”, resultados que clasifican a los tramos en un estado de “Regular a Bueno”.

Tabla 5.2 - Resultados del Índice de Serviciabilidad Presente

TRAMOS DE EVALUACIÓN	PSI "CALCULADO"	CLASIFICACIÓN
Calle Cochabamba	3,16	Bueno
Calle Tarija	3,48	Bueno
Calle Argentina	3,17	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

- ✓ Los resultados finales del índice de rugosidad internacional para los tramos en estudio tienen un valor numérico promedio de ambos carriles de 6,13, 6,30 y 6,20 respectivamente; valor que pertenece según escala del método al intervalo (6,0 - 2,5) que corresponde valores de IRI que clasifican a los tramos en un estado de "Pavimentos con defectos superficiales, corresponde a Pavimentos Viejos".

Tabla 5.3 - Resultados del Índice de Rugosidad Internacional

TRAMOS DE EVALUACIÓN	IRI "CALCULADO"	CLASIFICACIÓN
Calle Cochabamba	6,13	Viejo
Calle Tarija	6,30	Viejo
Calle Argentina	6,20	Viejo

Fuente: Elaboración propia

- Por estas razones podemos concluir que el estado de los pavimentos estudiados de acuerdo a las metodologías de evaluación superficial, es de regular a bueno, por lo que actualmente estos tramos están aptos para brindar una adecuada circulación a los usuarios; sin embargo existen losas de concreto que presentan fallas de severidad graves que requieren una rehabilitación inmediata.

- El grado de severidad que presentaron las fallas son bajas, medias y altas. Las fallas más frecuentes son: Popouts o desprendimientos superficiales, grieta de esquina, descascamiento de esquina, grietas lineales (grietas long., trans. y diag.), pulimiento de agregados y daño del sello de junta.

- La mayor cantidad de falla que se identificó en la presente investigación de los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina), fue Popouts o desprendimientos superficiales según los resultados obtenidos; esto se debe al desgaste por el incremento del tráfico que circula por los tramos en estudio, lo cual se justifica por el crecimiento del

parque automotor en la ciudad de Bermejo, lo cual hizo que el paquete estructural de las vías trabajen en su mayor capacidad.

Tabla 5.4 - Porcentaje de fallas en tramos de estudio

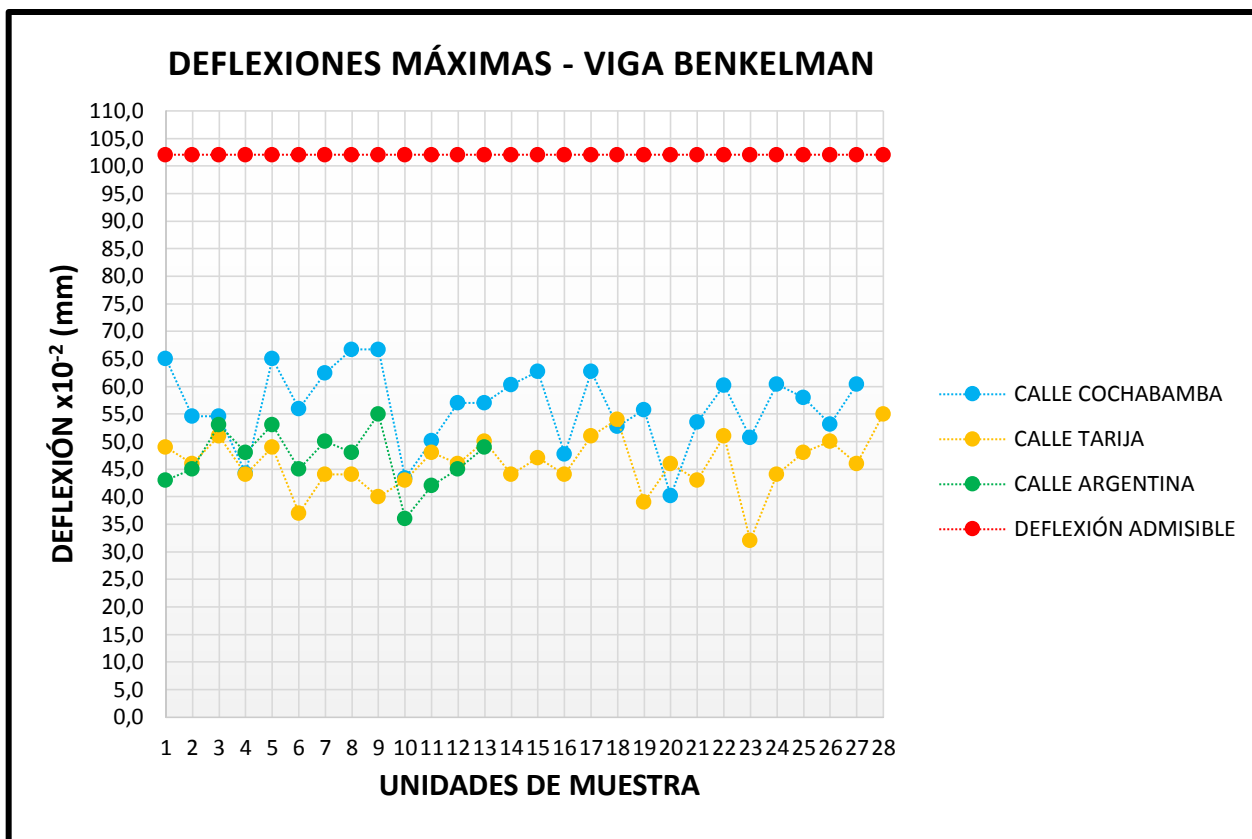
TIPOS DE FALLA	Calle Cochabamba % FALLA	Calle Tarija % FALLA	Calle Argentina % FALLA
1. Blow up / Buckling	0,15	1,51	0,30
2. Grieta de esquina	13,02	9,81	8,58
3. Losa dividida	2,81	6,04	0,89
4. Grieta de durabilidad "D"	2,51	7,92	0,89
5. Escalonamiento o escala	1,33	1,51	---
6. Daño del sello de junta	7,69	9,43	12,13
7. Desnivel carril / berma	0,44	1,89	1,18
8. Grietas lineales (long., trans. y diag.)	7,99	12,45	5,92
9. Parche grande (mayor de 0,45 m ²)	1,04	0,19	---
10. Parche pequeño (menor de 0,45 m ²)	5,77	3,21	1,78
11. Pulimiento de agregados	11,39	5,09	21,30
12. Popouts o desprend. superficiales	26,78	23,21	24,85
13. Bombeo	0,44	---	---
14. Punzonamiento	---	0,38	---
16. Descorchamiento, mapa de grietas, craquelado	0,44	---	---
17. Grietas de retracción	---	---	9,47
18. Descascaramiento de esquina	4,88	10,00	5,03
19. Descascaramiento de junta	13,31	7,36	7,69
TOTAL =	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Viga Benkelman

- Mediante el ensayo con la Viga Benkelman se pudo determinar que la condición estructural del pavimento está en buenas condiciones en lo que se refiere a los controles delfectométricos.
- Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante (estructura del pavimento) bajo una carga dada.
- De esta forma la totalidad de las deflexiones máximas en los sectores de evaluación se encuentran comprendidas en un rango de $31,7 \times 10^{-2}$ mm a $66,7 \times 10^{-2}$ mm por debajo de la deflexión admisible para los tramos en estudio (calle Cochabamba, Tarija y Argentina) con un valor de $102,05 \times 10^{-2}$ mm, lo que indica un comportamiento de la estructura adecuado al tiempo de operación de las mismas.

Figura 5.1 - Resultados de deflexiones máximas



Fuente: Elaboración propia

- Como se puede observar en la figura, las deflexiones máximas obtenidas en la evaluación presentan diferentes características, lo cual indica que para los diferentes tramos en estudio su capacidad estructural es diferente y se demuestra que la estructura en conjunto esta apta para soportar la demanda del tráfico actual.
- Así mismo los radios de curvatura obtenidos en los tramos oscilan a los de curvaturas óptimos comprendidos en el rango de 300 y 500 m.
- Finalmente se concluye que para realizar una evaluación superficial y estructural de un pavimento, por métodos no destructivos es necesario recurrir al relevamiento de toda la documentación y/o información que pudiese existir para evaluar actualmente como se encuentra el paquete estructural, en nuestro caso, no se obtuvo ninguna información que pueda ser utilizada para dicha evaluación.

5.2. RECOMENDACIONES

- De los tres métodos de evaluación superficial que se utilizaron se recomienda el empleo del método del PCI (Índice de Condición del Pavimento) debido que para su utilización requiere de aspectos que son muy importantes como ser: la cuantificación de cada tipo de falla asociada con su nivel de severidad o daño, estos datos servirán para poder efectuar adecuadamente un mantenimiento y/o rehabilitación conforme a dichas fallas superficiales presentes.

- Despertar el interés de la aplicación de la deflectometría con la utilización de la Viga Benkelman y su importancia en la deformación de pavimentos ya que su medición es rápida y sobre todo no destructiva, es decir no se alteran el equilibrio ni la integridad del sistema (pavimento-subrasante) bajo una carga dada.

- El personal que realice una evaluación debe recibir una capacitación intensiva y profunda, teórica y práctica sobre el uso de los equipos, los procedimientos de medición y de cálculo, de lo contrario podrían producirse contratiempos y podrían incidir en los resultados al introducir datos erróneos que estropeen la evaluación.

- Los equipos con los que se trabaja en la auscultación de pavimentos son equipos de precisión, por tanto deben calibrarse adecuadamente, cualquier golpe o error en la operación podría descalabrarlos y hasta incluso arruinarlos, es por tal motivo que debe tenerse un especial cuidado al transportarlos y manipularlos.

Recomendaciones técnicas constructivas

- Los pavimentos de concreto de la ciudad de Bermejo deben tener un adecuado sistema de drenaje que permita evacuar rápidamente el agua, en condiciones extremas como fenómenos de lluvias durante los meses de verano.

- El tránsito al ser el factor de diseño más importante es recomendable que se haga una evaluación local de éste en la vía que se va rehabilitar. Es conveniente mantener un programa de registro de volúmenes, con la finalidad de mantener una base de datos actuales de las condiciones del volumen de tráfico en un determinado sistema de calles o carreteras. Estos datos son importantes para el diseño y planificación de carreteras y resultan muy económicos.

- Se recomienda, para el caso de los pavimentos de concreto deteriorados en el centro de la ciudad, aplicar una capa de asfalto en caliente, de espesor mínimo (1 pulg.), con el fin de lograr uniformidad en las pistas y una mejor presentación estética. De esta manera se aprovecharía para rellenar algunos desniveles que empozan el agua de lluvia.

- Finalmente, sobre la problemática que involucra el tema de rehabilitación de pavimentos se puede decir que es necesario implementar en toda la ciudad de Bermejo una estrategia de mantenimiento de carreteras, con el fin de preservar los pavimentos en buenas condiciones y recuperar aquellos que aún conservan algo de vida remanente.