

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La mezcla asfáltica en el pavimento flexible está sujeta a múltiples acciones que disminuyen su vida útil a lo largo del tiempo. Estas acciones son entre otros el tráfico y el clima. Los daños producidos en las carpetas asfálticas más comunes son el ahuellamiento, que se advierte en el perfil transversal de las carreteras. (Garnica, 2005)

La presencia del ahuellamiento en el pavimento flexible afecta no solo a la condición estructural del pavimento, disminuyendo su vida útil, sino que también en niveles extremos afecta en su condición funcional, dificultando las condiciones de manejo y seguridad de los usuarios.

En nuestro departamento la expansión de nuestras carreteras no ha sido acompañada por un aumento proporcional de los presupuestos de mantenimiento. En cambio, el crecimiento de tránsito ha sido en muchos casos mayor al esperado y las cargas de los vehículos han excedido la capacidad de soporte de muchos de nuestros pavimentos.

Las causas que originan daños sobre la estructura de los pavimentos, se van manifestando en forma gradual, con acción progresiva y continua sobre las superficies pavimentadas. En muchos casos la falta de mantenimiento generó una práctica de acción puntual de emergencia, no planificada e imprecisa, en el tratamiento de las fallas.

En el presente trabajo la evaluación de las carreteras se realizará mediante un estudio de temperaturas del asfalto y del medio ambiente, un estudio de tráfico (conteo vehicular, congestión vehicular) y un análisis de los suelos, para luego tomar medidas de prevención de las mismas.

Con la siguiente investigación se pretende formular una solución a deterioros de los pavimentos flexibles, ahuellamiento, mejorando las condiciones de vialidad en las carreteras de nuestro municipio.

1.2. Justificación

En la actualidad el municipio de Cercado cuenta con carreteras de diferentes tipos de rodadura, siendo la mayoría de pavimento flexible, según INE, presentando deterioros en su superficie, siendo el ahuellamiento el principal de estos problemas. (INE, 2023).

Tabla 1 Longitud de caminos de Bolivia

Red / rodadura	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fundamental (km)	1143	1045	1046	1054	1074	1073	1033
Pavimento	689	692	692	800	777	776	767
Ripio	455	353	354	254	297	297	265
Tierra	0	0	0	0	0	0	0
Departamental (km)	3146	3151	3251	3419	3460	3304	3770
Empedrado	15	15	15	15	15	15	19
Pavimento	398	407	472	480	523	568	539
Ripio	2647	2647	2682	2842	2887	2640	3063
Tierra	86	82	82	82	35	82	149
Municipal (km)	9902	5235	6246	6253	6272	6663	6689
Empedrado	0	5	96	90	109	79	79
Pavimento	8	189	733	738	777	649	649
Ripio	7957	2476	2549	2602	2597	2835	2848
Tierra	1937	2565	2867	2822	2789	3100	3113

Fuente: INE. Longitud de caminos. Bolivia. Cuadros estadísticos Tarija longitud de caminos según rodadura. 2023

Los principales factores que determinan la formación del ahuellamiento en rodaduras pavimentadas son la magnitud, frecuencia de aplicación de carga y las condiciones climatológicas, donde la primera es la que más afecta a los pavimentos ya que en nuestro departamento existe un crecimiento en el tráfico de vehículos.

Los deterioros mencionados van ocasionando que las arterias no ofrezcan la transitabilidad vehicular adecuada, generando la inseguridad en las maniobras de vehículos, falta de comodidad a conductores y pasajeros.

El propósito fundamental de todo el proceso de mantenimiento de los pavimentos en servicio, es corregir estas fallas superficiales, entre estas el ahuellamiento, para así mantener el nivel de servicio para el cual fue diseñado.

Se debe establecer el grado de deterioro del ahuellamiento, en los pavimentos flexibles, para determinar si el pavimento podría ser rehabilitado o en su defecto ser reemplazado en su totalidad, para así poder mantener una transitabilidad confortable en nuestras carreteras.

1.3. Diseño Teórico

1.3.1. Situación problemática

Los pavimentos en el municipio de Cercado se encuentran deteriorados, debido a daños como fisuración o deformaciones permanentes, todo esto debido a diferentes factores tales como el clima y tráfico.

En algunas carreteras se observa el daño causado principalmente por ahuellamiento y estas no tienen el mantenimiento adecuado, por el contrario, se espera que la capa de rodadura se desintegre y recién se procede a su reparación a través de un recapado o levantamiento de capas de rodadura.

Las entidades encargadas del mantenimiento de carreteras, no realizan un seguimiento continuo de vías en nuestro departamento, ocasionando deterioros que con el paso del tiempo empeoran, aumentando los gastos de mantenimiento.

Es por eso que en esta investigación se pretende analizar y proponer soluciones al deterioro causado por el ahuellamiento en nuestras carreteras, para poder subsanar los daños de los pavimentos flexibles, antes de que estos agraven y necesiten soluciones más complejas.

1.3.2. Formulación del Problema

¿De qué manera se puede establecer el nivel de severidad en ahuellamiento de tres tramos de estudio de pavimento flexible?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar mediante la regla AASHTO, el ahuellamiento del pavimento flexible; considerando como tramos dañados por esa falla; de tal manera que se pueda establecer el nivel de severidad de forma confiable.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar tramos con pavimento flexible dañado.
- Determinar el número confiable de mediciones.
- Realizar las mediciones correspondientes.
- Establecer el nivel de severidad.
- Proponer las soluciones al tipo de falla encontrado.

1.4.3. Variables

- Dependiente: Estado superficial del pavimento con ahuellamiento.
- Independiente: Condiciones del tráfico en pavimentos con ahuellamiento.

1.5. Hipótesis

Realizando la evaluación del ahuellamiento en pavimentos flexibles de los tramos de estudio se determinó que el tráfico y los factores climáticos son los causantes de deterioro de los pavimentos flexibles.

1.5.1. Alcance

- La evaluación del ahuellamiento en pavimento flexible comprende 3 tramos que se describen a continuación:
 - Tramo San Jacinto que tiene una longitud de 4 kilómetros.
 - Tramo San Andrés con una longitud de 4 kilómetros.
 - Tramo Av. Colon con una longitud de 1 kilometro
- El desarrollo del trabajo será mediante un inventario manual e inspección visual de la superficie de pavimento flexible, teniendo en cuenta los tipos de ahuellamiento y niveles de severidad que se pueden presentar y registrar en el formato del método de regla de ASHTTO.
- Se evaluarán las carreteras de pavimento flexible que forman parte de la provincia Cercado con los tramos descritos en el primer punto.
- La evaluación del índice de condición del pavimento (P.C.I), permitirá dar una calificación sobre el tramo objeto de estudio, generando las posibles causas del ahuellamiento que se observen.

CAPÍTULO II
AHUELLAMIENTO DEL
PAVIMENTO FLEXIBLE

CAPÍTULO II

2. AHUELLAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

2.1. Introducción

Un breve vistazo del diseño como pavimento, construcción y rendimiento debería ayudar a proporcionar perspectiva, en la práctica presente y futuro. Este breve vistazo en el pasado se iniciaría con los romanos, a continuación, pasaría a la era Macadam y Telford, a continuación, en los primeros 150 años de asfalto y cemento portland hormigón del pavimento. La evolución del diseño del pavimento se hará hincapié en los EE.UU. y el Reino Unido un poco más que para otras partes del mundo.

Un pavimento flexible está conformado básicamente por una capa asfáltica apoyada sobre capas compuestas de materiales granulares no tratados o ligados los cuales a la vez se apoyan sobre la subrasante o terreno natural de fundación. Dentro del pavimento, la capa asfáltica tiene como función principal ayudar a soportar los esfuerzos que transmiten las cargas vehiculares y distribuir dichos esfuerzos a la subrasante en magnitudes que sean tolerables por esta. Así mismo, impermeabiliza el pavimento y debe proveer una superficie adecuada para que los usuarios del parque automotor circulen sobre ella de manera segura y confortable.

Los dos principales mecanismos de falla de estructuras de pavimento flexible son la fatiga y el ahuellamiento. La fatiga se asocia a la respuesta resiliente de la estructura y el ahuellamiento a la acumulación de deformaciones permanentes en la dirección vertical. Estos dos mecanismos generan fallas estructurales y funcionales en el pavimento, que se producen principalmente en la capa asfáltica y se generan por las cargas cíclicas impuestas por el parque automotor. Para entender estos mecanismos de daño, la ingeniería de pavimentos desde la década de los sesenta, ha venido desarrollando investigaciones con el fin de comprender el complejo comportamiento visco-elasto-plástico que experimentan los materiales que conforman las capas asfálticas (mezclas asfálticas) bajo diversas trayectorias de cargas cíclicas y condiciones del ambiente. En lo que respecta al estado del conocimiento en esta área, a pesar del amplio número de investigaciones realizadas, el comportamiento de materiales asfálticos y mezclas asfálticas aún no ha sido totalmente entendido.

2.1.1. Tráfico

Los tipos de cargas aceras han sido sometidos a haber variado significativamente en los últimos 200 años. Cargas rueda de carro temprano típicos en el Reino Unido en 1809 se muestran en el cuadro 1. Esta información revela cargas por unidad de anchura inferior o igual a la existente en los vehículos de carretera pesada hoy. En el Reino Unido durante el 1600 y 1700, la legislación restrictiva se promulgó para adaptar los vehículos a las aceras disponibles que al parecer se encontraban en muy mal estado. Sugerir la velocidad de desplazamiento en esa época, a mediados de la década de 1700, la velocidad media entre Londres y Bristol era aproximadamente 13 km/hr. (una distancia de 187 km) (después de Westinghouse Co. 1904).

Tabla 2 Peso de la rueda por unidad de anchura

Peso bruto (toneladas)	Anchura de rueda (pulgadas)	Peso por rueda (libras)	Peso de la rueda por unidad de anchura (libras / pulgadas)
8	16	4480	280
6	9	3360	373
4,5	6	2520	420
3,5	3	1960	653
4	2	2240	1120

Fuente: www.goodyear.com.mx/indice-carga-llanta

A principios de 1800, Goodyear descubrió la vulcanización en caliente de goma, que hizo posible la fabricación de neumáticos de goma maciza. El impacto de los neumáticos de goma puede ser ilustrado por el derecho inglés. En concreto, la ley de carreteras de 1920 aumentó el peso máximo vacía de un motor de tracción pesada de 14-15,5 toneladas y, si está equipado con tipos de goma en lugar de ruedas de acero, podrían viajar a velocidades legales de 19 km/hr. en lugar de 8 km/hr.

El neumático fue patentado en el Reino Unido en 1845, pero no entró en uso generalizado hasta cerca de 1925 (80 años después). Los neumáticos más tempranos tenían graves deficiencias en resistencia y durabilidad. John Dunlap, mejora en gran medida el diseño de la cubierta de neumático en 1888, aunque sólo se utiliza en los ciclos hasta alrededor de 1900.

El desarrollo del neumático globo tiene concentraciones de carga tan reducidas que a pesar de que los volúmenes de tráfico han aumentado en gran medida, los efectos dañinos de impacto anteriormente experimentados prácticamente desaparecieron.

Las mediciones se realizaron en sólida goma, cojín y neumáticos. Los neumáticos de goma maciza habían medido las presiones de contacto hasta 1050 kPa. Los neumáticos tenían presiones de contacto de aproximadamente 700 a 800 kPa para una presión de inflado de 620 kPa. Los datos resumidos por Baron [1942] para las aeronaves a principios del decenio de 1940 sugieren presiones de inflación de no más de 350 a 590 kPa.

Como se ilustra por la dirección nacional de carreteras en 1949, la entrada de tráfico en los cambiantes procedimientos de diseño de pavimentos del día varió. Esto incluye el uso de magnitudes carga de la rueda que van con el concepto inicial de carga de las ruedas equivalentes.

Este concepto se desarrolló en cargas de las ruedas equivalentes. Este trabajo se basa en los efectos destructivos relativas de grupos de carga de la rueda que van desde 20 hasta 42 kN (4,500 a 9,500 libras). Carga rueda equivalente (LEM) constantes fue desarrollado para resumir más fácilmente el tráfico de camiones disponibles (clasificados por el número de ejes).

Tabla 3 Ejemplo de carga de las ruedas equivalentes

No. Of Axles	EWL Constants	Promedios actual Vehículos Comerciales	Producto de las Columnas 1 y 2
2	300	774	232000
3	700	212	148400
4	1400	68	95200
5	2100	118	247800
6	1600	112	179200

Fuente: Ensayo Hveem. Departamento de carreteras de California (1940)

Diseño Total Anual EWLs = 902800

A finales de 1950 y comienzos de 1960, el examen práctico AASHTO produjo el concepto de carga por eje simple equivalente. Equivalencia de carga del eje ha sido uno de los resultados más ampliamente adoptados de la AASHTO road test. Una variedad de factores de equivalencia se puede utilizar en función de la sección de pavimento que se define por un número estructural y el índice de capacidad de servicio del terminal (para pavimentos flexibles).

2.1.2. Materiales

Parte de la información registrada más temprana acerca de los materiales que se podrían (y fueron) utilizados en pavimentos refieren cemento hidráulico y los romanos; Sin

embargo, para ser justos, el primer uso conocido de cal hidráulica estaba en Siria cerca de 6,500 a. c. (más de 6,000 años antes de los romanos – más o menos unos pocos cientos de años) (Brown, 1987).

Los romanos descubrieron que la molienda de toba volcánica con cal hidráulica en polvo producido un cemento hidráulico. La cal hidráulica se produce calentando la piedra caliza por encima de 850 ° C impulsando así fuera de CO₂ y la conversión de la piedra caliza de CaO. El primer uso conocido de cemento hidráulico por los romanos ocurrió alrededor de 120 a. c.

La mejor variedad de toba volcánica fue encontrada cerca de la localidad de Pozzuoli (cerca de Nápoles, en la costa suroeste de Italia) y el material adquirió el nombre de puzolana. Además, los romanos aprendieron un poco sobre el uso de otros aditivos como sangre, manteca y leche. Al parecer, la sangre (hemoglobina en realidad) es un agente plastificante y (dado el clima mediterráneo suave el uso principal era probable para trabajabilidad) incorporador de aire eficaz.

Con respecto a las pruebas de material, el año 1898 fue significativo: la sociedad americana para pruebas y materiales (ASTM) se estableció algunos de los materiales de pavimentación primeros se han discutido previamente; sin embargo, podría ser interesante comparar unos precios. Por ejemplo, refinado asfalto Trinidad Lago en 1893 costó alrededor de \$ 27 a \$ 36 por tonelada métrica en el puerto de Nueva York. Para ajustar estos costos a los precios actuales se debe multiplicar por al menos un factor de diez. Por lo tanto, el mismo costo que hoy sería alrededor de \$ 270 a \$ 360 por tonelada métrica (o aproximadamente el doble que un aglutinante de cemento asfáltico hoy) sin los refinamientos de productos.

Con respecto a PCC resistencia a la compresión, Byrne informó en 1896 de que el aire PCC curado durante seis meses para un puente St. Louis tenía una resistencia a la compresión de 8,3 MPa. Otra resistencia a la compresión se informó (presumiblemente pre-1890) oscilaron entre 1,4 MPa (edad 1 mes) a 9,7 MPa (1 año de edad). Comparar estos resultados con resistencias a la compresión contemporáneas de 34,5 a 137,9 MPa. Por lo tanto, en 100 años, la fuerza PCC ha aumentado cerca de 100 veces (relación de extrema baja de extrema alta).

Byrne también proporcionó algunos datos sobre los costos de pavimentos de adoquines de madera en Londres. Durante la década de 1800, el costo promedio se estimó en alrededor de \$ 0,70 por m² por año. En términos de costos actuales, esto sería alrededor de \$ 7,00 por m² por año o \$ 26,000 por carril-kilómetro al año.

Caracterización de materiales hasta la década de 1930 tendió a centrarse en parámetros materiales básicos como límite líquido, índice de plasticidad y la gradación. La capacidad de resistencia o rodamiento de materiales estabilizados por lo general se discute en términos de cohesión y ángulo de fricción (como se ilustra por Collins y Hart, 1936). Goldbeck [1940], en su método de diseño propuesto, caracteriza el suelo de la subrasante en términos de “sub-base de apoyo de valor” en unidades de libras por pulgada cuadrada que va de 0 a 90 psi. La prueba recomendada era utilizar un bloque de apoyo directamente sobre una muestra compactada.

El resultado de la prueba era una parcela de cojinete de tensión frente a la indentación del bloque en la muestra. Una sangría de 12,5 mm se utilizó como un valor objetivo para la obtención de la capacidad de soporte o sub-base valor de apoyo.

La única prueba de caracterización de materiales que tuvo un tremendo impacto en el diseño y en cierta medida todavía lo hace, fue el desarrollo de la California Bearing Ratio (CBR). Porter, de la división de carreteras establecidas en un documento 1942 carretera junta de investigación de California.

La prueba de razón de rodamiento fue ideada en 1929 en un intento de eliminar algunas de las objeciones a las pruebas de carga de campo y para proporcionar un método rápido para la comparación de base y sub-base de materiales locales.

Algunos de los aspectos positivos de la prueba de laboratorio de CBR según el listado de Porter:

- Mejora sobre el terreno las pruebas de carga estáticas que tengan que superar “deformación consolidación”, ya que la muestra CBR se compacta a una densidad esperada en el campo. Intentos de California para utilizar pruebas de rodamiento estáticas fueron juzgados como éxito; por lo tanto, el énfasis en la correlación de comportamiento del pavimento con una prueba de laboratorio sencillo.

- El remojo de las muestras de laboratorio con un suplemento (que representa el peso del pavimento) permite que el material se hinche y alcanzar el estado adverso de la humedad que puede existir en el campo.
- La prueba de penetración determina la resistencia del material al desplazamiento lateral que resulta en una medida combinada de la influencia de la cohesión y la fricción interna.
- La prueba ofrece un método rápido de comparación de materiales de base y subrasante.
- Al investigar y probar los materiales asociados, una relación empírica se puede establecer entre los valores de RBC, el espesor del pavimento, y el rendimiento.

Para diversos materiales que van desde muy pobre subrasante (CBR hasta 5) a las bases de buena roca triturada (CBR de 100). El CBR son en términos de porcentajes ya que el valor del cojinete se divide por 1,000 psi (0,1 penetración) o 1,500 psi (0,2 pulg. Penetración) que representa el valor de soporte de un material de piedra triturada (consulte curva estándar 100%).

La presión de inflado de los neumáticos para el tráfico fue de 400 kPa. Las curvas de diseño también encarnan la asunción de la estructura del pavimento acostado en suelos compactados por lo menos 300 mm de subrasante compactada. El artículo de Porter y una discusión de la misma por AC Benkelman más reforzaron la idea de limitar las deflexiones del pavimento para fines de diseño.

El uso de la prueba triaxial durante los años 1930 y 1940 fue doble:

- Determinación de la resistencia al corte (cohesión y el ángulo f) de módulos similar a un módulo de elasticidad [Barber, 1946; Worley, 1943, Palmer y Barber, 1940].

Worley en 1943 informó sobre el uso de pruebas triaxial y el módulo de los resultados de deformación para Kansas diseño de pavimento flexible. En las pruebas de Kansas, muestras, ya sea el 70 por 200 mm o 125 por 350 mm fueron utilizados en función del tamaño máximo del árido. La curva de tensión-deformación de la prueba triaxial se utilizó para estimar el módulo de deformación. (Worley dio cuenta de que la pendiente de la tensión-deformación no fue constante para la mayoría de los materiales del pavimento, por lo tanto, se utilizó el término módulo de deformación en lugar del módulo de elasticidad).

En resumen, el diseño estructural de pavimentos de asfalto y PCC hasta la década de 1950 (donde esta sección se detiene) era una función de un proceso evolutivo que comienza con los romanos entonces Telford y Macadam.

Materiales utilizados para el levantamiento de datos

Figura 1 Cinta métrica



Fuente: Elaboración propia

Figura 2 Conos de señalización



Fuente: Elaboración propia

Figura 3 Regla AASHTO para medición de ahuellamiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 4 Pintura para señalización



Fuente: Elaboración propia

Figura 5 Planilla para levantamiento de datos



Fuente: Elaboración propia

Figura 6 Chaleco de protección personal



Fuente: Elaboración propia

Figura 7 Cámara fotográfica



Fuente: Elaboración propia

Figura 8 Sombrero para protección personal



Fuente: Elaboración propia

2.2. Pavimentos flexibles

Los pavimentos de asfalto o pavimentos flexibles, son estructuras formadas por varias capas (base, sub-base y carpeta asfáltica) las cuales se construyen sobre la subrasante.

Una carpeta constituida por una mezcla asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; que soporta directamente las solicitudes del tránsito y aporta las características funcionales. Estructuralmente, la carpeta absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las cargas de los vehículos se distribuyen hacia las capas inferiores por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa.

Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y sub base, las cuales se construyen sobre la capa subrasante.

- **Asfalto**

Es un material aglomerante de color oscuro, constituidos por mezclas complejas de hidrocarburos no volátiles de alto peso molecular, originarios del petróleo crudo, en el cual están disueltos, pueden obtenerse por evaporación natural de depósitos localizados en la superficie terrestre, denominados Asfaltos.

Los asfaltos destilados del petróleo son producidos ya sea por destilación por vapor o soplados.

La destilación por vapor produce un excelente asfalto para pavimentos, mientras que el producto de destilación por aire o soplado tiene una escasa aplicación en pavimentación.

2.2.1. Obtención y tipos

Según el origen del petróleo crudo la composición de base se divide en:

- Base asfáltica.
- Base parafínica.
- Base intermedia.

Los asfaltos de base asfáltica, es decir, asfaltos obtenidos de petróleos asfálticos, son más deseables para pavimentación, ya que tienen buenas características ligantes y de resistencia al envejecimiento por acción del clima.

Los asfaltos de base parafínica, se oxidan lentamente expuestos a la intemperie, dejando un residuo escamoso y de poco valor como ligante.

De acuerdo a su aplicación, los asfaltos los podemos clasificar en 2 grandes grupos:

- Asfaltos para pavimentos.
- Asfaltos industriales.

2.2.2. Asfaltos para pavimentos

2.2.2.1. Cementos asfálticos

Los cementos asfálticos, son preparados especialmente para pavimentación es un material ideal para la construcción de pavimentos ya que:

- Es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, impermeable y duradero.
- Es consistente y puro.
- Es termoplástico, es decir, se licua a medida que se va calentando.

- Es resistente a los ácidos, sales y álcalis.

Se denominan por las letras CA, y se clasifican según su grado de dureza, el que mide según el ensayo de penetración.

Podemos distinguir CA 40 – 50, CA 60 – 70, etc.; CA indica que es un cemento asfáltico y los números el rango de penetración.

Para su aplicación debe estar libre de agua y con características homogéneas.

En Chile los CA más utilizados son:

- CA 40 – 50: Uso en rellenos de juntas y grietas.
- CA 60 – 70: En mezcla en planta en caliente para la construcción de bases binder y carpetas de rodado.
- CA 120 – 150: Usados en tratamientos superficiales.

Su aplicación no debe hacerse bajo amenaza de lluvia, temperatura ambiente bajo los 10°C y en superficies húmedas, tampoco deben ser calentadas sobre los 170 °C.

2.2.3. Elementos estructurales que componen un pavimento

2.2.3.1. Base

La base es la capa situada debajo de la carpeta (pavimento flexible). Su función es eminentemente ser resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tránsito pesado. Así, para tránsito medio y ligero se emplean las tradicionales bases granulares, pero para tránsito pesado se emplean ya materiales granulares tratados con un cementante.

Figura 9 Etapas para la preparación de la base



Fuente: Universidad Austral de Chile (2010) “Deterioro en pavimentos flexibles y rígidos”

(pág. 2)

2.2.3.2. Sub base

En los pavimentos flexibles, la sub base es la capa situada debajo de la base y sobre la capa subrasante, debe ser un elemento que brinde un apoyo uniforme y permanente al pavimento.

Cuando se trate de un pavimento rígido, esta capa se ubica inmediatamente abajo de las losas de hormigón, y puede ser no necesaria cuando la capa subrasante es de elevada capacidad de soporte.

Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su colocación y compactación. Debe ser un elemento permeable para que cumpla también una acción drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales usados carezcan de finos y en todo caso suele ser una capa de transición necesaria. Esta capa no debe ser sujeta al fenómeno de bombeo y que sirva como plataforma de trabajo y superficie de rodamiento para las máquinas pavimentadoras. En los casos que el tránsito es ligero, principalmente en vehículos pesados, puede prescindirse de esta capa y apoyar las losas directamente sobre la capa subrasante.

Se emplean normalmente subbases granulares constituidas por materiales cribados o de trituración parcial, suelos estabilizados con cemento, etc.

2.2.3.3. Sub rasante

Esta capa debe ser capaz de resistir los esfuerzos que le son transmitidos por el pavimento. Interviene en el diseño del espesor de las capas del pavimento e influye en el comportamiento del pavimento proporciona en nivel necesario para la subrasante y protege al pavimento conservando su integridad en todo momento, aún en condiciones severas de humedad, proporcionando condiciones de apoyo uniformes y permanentes.

Con respecto a los materiales que constituyen la capa subrasante, necesariamente deben utilizarse suelos compactables y obtener por lo menos el 95% de su grado de compactación.

Figura 10 Etapas para la preparación de la sub-rasante



Fuente: Universidad Austral de Chile (2010) “Deterioro en pavimentos flexibles y rígidos”
(pág. 4)

2.2.4. Características de pavimentos flexibles

Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes:

- **Regularidad**

Con los nuevos equipos de transporte y tendido es posible lograr acabados muy tersos, mediante tiros continuos sin juntas de construcción más que al inicio y fin de cada jornada.

- **Resistencia al derrapamiento y drenaje superficial**

La resistencia al derrapamiento se da primordialmente por la textura de la capa de rodadura que permite proporcionar un buen coeficiente de fricción neumático pavimento y por un buen drenaje superficial que impida la formación de una lámina de agua sobre la superficie de rodamiento, evitando así el acuaplaneo.

- **Capacidad estructural**

Los avances en la tecnología de modificación de ligantes asfálticos, en la de diseño de mezclas y el uso de materiales pétreos de mejor calidad han permitido que en la actualidad se logren mezclas asfálticas con resistencias muy superiores a las convencionales.

- **Reciclable**

La reutilización de mezclas asfálticas que han cumplido con su vida útil ha sido de uso común por un largo tiempo, los avances tecnológicos han permitido una amplia gama de opciones para el utilización de los materiales recuperados de los trabajos de

rehabilitación de pavimentos flexibles, estos materiales pueden ser empleados, tanto en capas estructurales como en superficies de rodamiento, formando parte de mezclas en caliente, mezclas tibias, mezclas en frío, en capas de base estabilizada o como parte de una base granular.

- **Mantenimiento**

Como cualquier obra de ingeniería civil los pavimentos flexibles requieren que las acciones de mantenimiento sean adecuadas y oportunas para que brinden un buen servicio durante la vida útil proyectada.

2.3. Tipos de fallas en pavimentos flexibles

La mejor forma de identificar las fallas del pavimento y determinar porqué se han producido, es mediante la conducción de un estudio de reconocimiento deseablemente una vez al año, preferiblemente al comienzo de la primavera. En él se debe identificar el tipo, severidad y magnitud de cada falla. También se debe tratar de determinar si el diseño del pavimento, la carga soportada, el agua, la temperatura, los materiales del pavimento o la construcción fueron la causa de la falla. Además de la inspección visual, pueden emplearse pruebas destructivas y no-destructivas para determinar la condición estructural y las condiciones del material bajo la superficie del pavimento.

2.3.1. Fisuras y grietas

2.3.1.1. Fisuras y grietas por fatiga

Son una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente ubicadas en zonas donde hay repeticiones de carga. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de cargas, en donde desarrollan un parecido con la piel de cocodrilo. Este tipo de daño no es común en carpetas asfálticas colocadas sobre pavimentos de hormigón.

Figura 11 Fisuras y grietas por fatiga



Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2003) “Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles” (pág. 7)

Posibles causas

La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

- Espesor de estructura insuficiente.
- Deformaciones de la subrasante.
- Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación del asfalto o envejecimiento).
- Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares.
- Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas.
- Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el módulo).

Reparaciones mal ejecutadas, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño.

2.3.1.2. Fisuras y grietas en bloque

En este tipo de falla la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma más o menos rectangular. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que este aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas.

Sin embargo, se pueden encontrar fisuras en bloque que han evolucionado en piel de cocodrilo debido al tránsito.

Figura 12 Fisuras y grietas en bloque



Fuente: <https://mantenimientocarreterasvias.blogspot.com/2013/02/fisuras-y-grietas-en-bloque.html>

Posibles causas:

- Es causada principalmente por la contracción del pavimento asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día, lo que se produce en ciclos de esfuerzo – deformación sobre la mezcla. La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inapropiado para el clima de la zona.
- Reflejo de grietas de contracción provenientes de materiales estabilizados utilizados como base.
- Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración.
- Espesor del pavimento inadecuado para el nivel de solicitudes baja capacidad de soporte de la subrasante.

2.3.1.3. Grietas de borde

Figura 13 Grietas en borde



Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2003) “Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles” (pág. 5)

Son grietas con tendencia longitudinal a semicircular ubicadas cerca del borde de la calzada, se presentan generalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel de la berma y la calzada. Generalmente se ubican dentro de una franja paralela al borde, con ancho hasta 0,60 m².

Posibles causas:

- La principal causa de este daño es la falta de confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia de bordillos, anchos de berma insuficientes.
- Sobre carpetas que llegan hasta el borde del carril y quedan en desnivel con la berma; en estos casos la fisura es generada cuando el tránsito circula muy cerca del borde. Las fisuras que aparecen por esta causa generalmente se encuentran a distancias entre 0,30 m a 0,60 m del borde de la calzada.

2.3.1.4. Fisuras y grietas longitudinales y transversales

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que

las generó, ya que aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.

Figura 14 Fisuras y grietas longitudinales y transversales



Fuente: Andrés Costa (2019) “Patologías de los pavimentos” (pág. 35)

Posibles causas:

Las causas más a ambos tipos de fisuras, son:

- Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler, o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°).
- Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas juntas existentes en placas de concreto hidráulicas subyacentes.
- Fatiga de la estructura, usualmente se presentan en las huellas de tránsito. Otras causas para la conformación de fisuras transversales son:
 - Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
 - Riego de liga insuficiente o ausencia total.
 - Espesor insuficiente de la capa de rodadura.

2.3.1.5. Fisuras y grietas reflejadas

Este tipo de daño ocurre cuando existe una capa de pavimento asfáltico sobre placas de pavimento rígido; estas fisuras aparecen por la proyección en superficie de las juntas en

dichas placas, en cuyo caso presentan un patrón regular, o también cuando hay grietas en el pavimento rígido que se han reflejado hasta aparecer en la superficie presentando un patrón irregular.

Figura 15 Fisuras y grietas reflejadas



Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2003) “Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles” (pág. 3)

Posibles causas:

Son generadas por los movimientos de las juntas entre placas de pavimento rígido o de los bloques formados por las grietas existentes en éste, debido a los cambios de temperatura y de humedad. Generalmente no se atribuyen a las cargas de tránsito, aunque éstas pueden provocar fisuración en las zonas aledañas incrementando la severidad del daño.

2.3.2. Deterioro superficial

2.3.2.1. Parches deteriorados

Los parches corresponden a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel del pavimento asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (agua, gas, etc.).

Figura 16 Parches deteriorados



Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2003) “Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles” (pág. 16)

Posibles causas:

- Procesos constructivos deficientes.
- Deficiencias en las juntas.
- Parche estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante.
- Mala construcción del parche (base insuficientemente compactada, mezcla asfáltica mal diseñada).

2.3.2.2. Baches en carpetas asfálticas y tratamientos superficiales

Cavidad, normalmente redondeada, que se forma al desprenderse mezcla asfáltica. Para considerarla como bache al menos una de sus dimensiones un mínimo debe tener de 150 mm.

Figura 17 Baches en carpetas asfálticas



Fuente: <https://mantenimientocarreterasvias.blogspot.com/2013/03/baches-en-carpetas-asfalticas.html>

Posibles causas:

- Pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante.
- Drenaje inadecuado o insuficiente.
- Defecto de construcción.

Derrame de solventes (bencina, aceite, etc.) o quema de elementos sobre el pavimento.

2.3.2.3. Ahuellamiento

Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de la llanta de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes de la zona deprimida y de fisuración.

Figura 18 Ahuellamiento



Fuente: Universidad Andrés Bello (2018) “Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo Tránsito” (pág. 36)

Posibles causas:

- El Ahuellamiento ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante. La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos, y también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o agregados redondeados.

2.3.2.4. Deformación transversal

Las fisuras de desplazamiento se ocasionan por la falta de adherencia entre la carpeta de superficie y la carpeta inferior. La falta de adherencia puede deberse por la presencia de polvo, aceite, agua o cualquier otro material no adhesivo entre estas dos carpetas. Generalmente la falta de adherencia se produce cuando no se ha colocado un riego de liga. Algunas veces la mala compactación ocasiona la rotura de la adherencia entre las dos carpetas.

Figura 19 Deformación transversal



Fuente: <https://mantenimientocarreterasvias.blogspot.com/2013/02/deformacion-transversal.html>

Posibles causas:

- Defecto de construcción.
- Derrame de solventes (bencina, diésel, etc.) o quema de elementos sobre el pavimento.

2.3.2.5. Exudaciones

Este tipo de daño se presenta con una película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento generalmente brillante, resbaladiza y usualmente pegajosa. Es un proceso que puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

Figura 20 Exudaciones



Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2003) “Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles” (pág. 20)

Posibles causas:

- La exudación se genera cuando la mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto haciendo que el contenido de vacíos con aire de mezcla sucede especialmente durante épocas o en zonas calurosas. También puede darse por el uso de asfaltos muy blandos o por derrame de ciertos solventes.

2.3.2.6. Desgaste

Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por la acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como pérdida del ligante y mortero. Suele encontrarse en las zonas por donde transitan los vehículos. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por acción del medio ambiente y del tránsito.

Figura 21 Desgaste



Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2003) “Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles” (pág. 17)

Posibles causas:

- El desgaste superficial generalmente es un deterioro natural del pavimento, aunque si se presenta con severidades medias o altas a edades tempranas puede estar asociado a un endurecimiento significativo del asfalto.
- Falta de adherencia del asfalto con los agregados.
- Deficiente dosificación de asfalto en la mezcla.
- Acción intensa del agua u otros agentes abrasivos además del tránsito.

2.3.2.7. Pérdida de áridos

Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado como surcos.

Figura 22 Pérdida de áridos



Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2003) “Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles” (pág. 18)

Posibles causas:

- Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales.
- Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes.
- Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico.
- Endurecimiento significativo del asfalto.
- Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica.
- Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina y otros.

2.3.2.8. Ondulaciones

Es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas usualmente menores a 1,0 m.

Figura 23 Ondulaciones



Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2003) “Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles” (pág. 10)

Posibles causas:

La ondulación es una deformación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos pueden presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos.

Otra causa puede estar asociada a un exceso de humedad en la subrasante, en cuyo caso afecta toda la zona de la estructura del pavimento. Además, también puede ocurrir debido a la contaminación de la mezcla asfáltica con finos o materia orgánica.

Bajo este contexto, las causas más probables son:

- Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- Exceso de compactación de la carpeta asfáltica.
- Exceso o mala calidad del asfalto.
- Insuficiencia de triturados (caras fracturadas).
- Falta de curado de las mezclas en la vía.

2.3.3. Otros deterioros

2.3.3.1. Descenso de la berma

Figura 24 Descenso de berma



Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2003) “Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles” (pág. 22)

Corresponde a una diferencia de elevación entre la calzada y la berma, debido a un desplazamiento de la berma. Permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento, provocando su deterioro.

Generalmente sucede cuando existen diferencias entre los materiales de la berma y el pavimento o por el bombeo del material de base en la berma.

2.3.3.2. Surgencia de finos y agua

Este afloramiento corresponde a la salida de agua infiltrada, junto con materiales finos de la capa de base por las grietas, cuando circulan sobre ellas las cargas de tránsito. La presencia de manchas o de material acumulado en la superficie cercana al borde de las grietas indica la existencia del fenómeno. Se encuentra principalmente en pavimentos semirrígidos (con base estabilizada).

Figura 25 Surgencia de finos y agua



Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2003) “Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles” (pág. 23)

Posibles causas:

Ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, exceso de finos en la estructura, filtración de aguas.

2.3.3.3. Separación entre berma y pavimento

Este daño indica el incremento en la separación de la junta existente entre la calzada y la berma. Este daño permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento provocando su deterioro.

2.4. Ahuellamiento en pavimentos flexibles

Es la de presión longitudinal de la superficie en correspondencia de la zona transitada por las ruedas, los ahuellamientos se notan durante el periodo de lluvias donde estos deterioros son ocupados por agua, estados más avanzados de desarrollo de estas fallas afectan al suelo de fundación.

- **Ahuellamiento**

Figura 26 Medida del ahuellamiento zona avenida San Andrés



Fuente: Elaboración propia

2.4.1. Causas de ahuellamiento

El ahuellamiento es un tipo de defecto o falla que se produce en pavimentos asfálticos, cual consiste en una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos. Se produce en pavimentos asfálticos sometidos a una combinación de elevados niveles de tránsito, tráfico pesado y/o lento y altas temperaturas de servicio.

Se desarrolla gradualmente y aparece como una depresión continua en las bandas de circulación de los neumáticos, dificultando la maniobrabilidad de los vehículos y ocasionando una disminución en la seguridad.

En condiciones normales de operación, las deformaciones producidas por el tránsito son reducidas; ninguna deformación es despreciable, por más pequeñas que sean siempre se van acumulando y al final se traduce en deformaciones observables. Sin embargo, existen factores que tienden a aumentar la magnitud de deformación de la mezcla asfáltica y eventualmente producen ahuellamiento. Estos factores, que normalmente actúan en conjunto, están relacionados al clima (altas temperaturas), al tráfico (cargas pesadas y velocidades de circulación bajas), la susceptibilidad térmica del asfalto, entre otros.

2.4.1.1. Incidencias del ahuellamiento

- **Altas temperaturas**

El ahuellamiento generalmente se produce en verano, dado que las temperaturas **altas** aumentan el componente plástico de deformación de la mezcla asfáltica, por lo tanto, aumentan las deformaciones permanentes. En ocasiones el ahuellamiento se puede producir en forma parcial en dos o tres estaciones de verano consecutivos.

- **Cargas pesadas**

Las cargas pesadas aumentan la magnitud de las deformaciones y por lo tanto aumentan la velocidad de deformación de la mezcla.

- **Circulación a bajas velocidades**

El tráfico lento disminuye la rigidez del asfalto, por lo que aumenta la componente plástica de deformaciones, es decir, se produce un efecto equivalente a un aumento de la temperatura de servicio. Por otro lado, la circulación a bajas velocidades incrementa el tiempo de aplicación de la carga, haciendo con que el pavimento asfáltico trabaje bajo condiciones de operación extremas.

Por otra parte, una mezcla asfáltica puede ser más o menos resistente a las deformaciones, en función de una serie de factores de diseño, como tipo de asfalto, propiedades del agregado y parámetros de dosificación. A continuación, también se explican brevemente cada uno de estos factores.

2.4.2. Tipos de ahuellamiento

Producidas: deformaciones de la mezcla asfáltica de superficie o deformaciones en capas subyacentes.

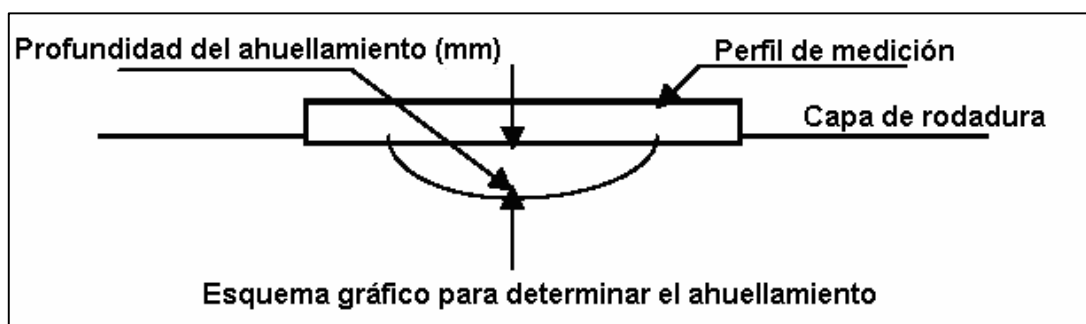
- **Ahuellamiento en la capa asfáltica**

El efecto se presenta en los primeros 7 a 10 cm de mezcla más cercanos a la superficie. La mezcla asfáltica bajo esta profundidad se encuentra aislada térmicamente y además está sometida a esfuerzos menores que las capas superiores. Este tipo de ahuellamiento es independiente del diseño estructural del pavimento.

- **Ahuellamiento producido en capas subyacentes**

En este caso las causas pueden ser, principalmente, una mala compactación de las bases granulares o tensiones de trabajo mayores a las tensiones admisibles en la subrasante. Es decir, las causas en este caso son de tipo constructivo o de diseño estructural del pavimento.

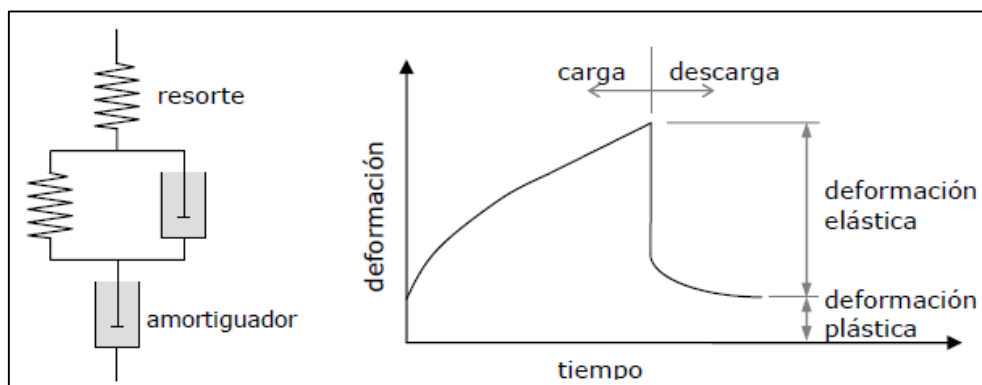
Figura 27 Perfil de medición del ahuellamiento



Fuente: Cristian Cabrera Torrico, Ing. Civil (2010) “Evaluación del ahuellamiento con equipo de alto rendimiento” (pág. 2)

El ahuellamiento de la capa asfáltica ocurre por la acumulación de pequeñas deformaciones plásticas de la mezcla que ocurren cada vez que se aplica una carga sobre el pavimento. El asfalto (y por ende la mezcla) exhibe un comportamiento visco elástico a temperaturas de servicio, es decir, las deformaciones que presenta ante cargas corresponden a una combinación entre deformación plástica (o viscosa) y elástica. La componente elástica de la deformación se recupera, mientras que la componente plástica se acumula.

Figura 28 Componente elástica de la deformación



Fuente: <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/2665/4200>

2.4.3. Nivel de severidad del ahuellamiento

La severidad del ahuellamiento se determina en función de la profundidad de la huella, midiendo esta con una regla de 1,20 m de longitud colocada transversalmente al eje de la carretera; la medición se efectúa donde la profundidad es mayor, promediando los resultados obtenidos a intervalos de 3 m a lo largo de la huella. Se identifican tres niveles de severidad.

Bajo. La profundidad promedio es menor de 10 mm.

Han comenzado a perderse los agregados o el ligante en algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse en el caso de derramamiento de aceite puede verse la mancha del mismo pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda.

Mediano. La profundidad promedio es entre 10 mm y 25 mm.

Se han perdido los agregados o el ligante la textura superficial es moderadamente rugoso y ahuecado.

Alto. La profundidad promedio es mayor de 25 mm.

Se ha perdido de forma considerable los agregados o el ligante la textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada las áreas ahuecadas tienen diámetros menores a 10,0 mm, área ahuecadas mayores se consideran huecos.

2.4.4. Evaluación del ahuellamiento

El trabajo de la evaluación superficial de un pavimento flexible implica la observación y cuantificación de las características superficiales del pavimento vale decir la capa este tipo de evaluación debe basarse en:

En el presente capítulo realizaremos un estudio del ahuellamiento y sus deterioros sus causas que se presentan en caminos de baja pendiente estabilizadas con carpeta de ripio su plataforma.

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en la cual se identifica los daños teniendo en cuenta la clase severidad y extensión de los mismos esta información se registra en formatos adecuados para tal fin.

2.4.5. Métodos de medición del ahuellamiento

Los métodos que se usan para la medición de la altura del ahuellamiento es:

Regla AASTHO 1,2 m

Este método es de aplicación en otros países la evaluación de ahuellamiento es el método puntual el cual consiste en colocar una regla de madera de 1,2 – 3 m (regla AASTHO) en las barridas de circulación de los vehículos la deflexión máxima en un punto determinado de la sección transversal es lo que llamamos el ahuellamiento.

Figura 29 Regla ASSTHO 1,2 m



Fuente: Cristian Cabrera Torrico, Ing. Civil (2010) “Evaluación del ahuellamiento con equipo de alto rendimiento” (pág. 3)

2.4.6. Reparación del ahuellamiento

Como las alternativas de solución, se plantea la siguiente:

- **Curado de los deterioros existentes**

Una vez realizada la evaluación superficial del pavimento se prevea el tipo de conservación más adecuado para mejorar las condiciones superficiales del pavimento el curado y reparación de las fallas es una forma de conservación.

- **Recapamiento de la capa de la rodadura existente**

Para llevar adelante un recapamiento o reformación de la capa de rodadura existente se deben incluir a la evaluación superficial una evaluación de carácter estructural este proyecto no contempla dicha evaluación por lo que no se realizara reforzamiento o recapamiento.

- **Mejoramiento del drenaje superficial**

En el presente proyecto no establece ningún estudio ni mejoramiento de drenaje superficial.

- **Prohibición del tránsito de vehículos pesados**

La prohibición del tránsito de vehículos pesados en una media aconsejable para esta vía ya que disminuirán los efectos de las cargas sobre el pavimento, pero en este proyecto no.

2.5. Método PCI (índice de condición del pavimento) para pavimentos flexibles

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.

Fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 a cargo del centro de ingeniería de la fuerza Aérea de los E.E.U.U. con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles. Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el departamento de defensa de los Estados Unidos, el APWA (American Public Work Association) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03).

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.

2.5.1. Objetivo del método PCI

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. El método permite la cuantificación de la integridad estructural de manera indirecta, a través del índice de condición del pavimento (ya que no se realizan mediciones que permiten calcular directamente esta integridad).

- Cuando se habla de integridad estructural, se hace referencia a la capacidad que tiene el paquete estructural de soportar solicitaciones externas, como cargas de tránsito o condiciones ambientales. En cambio, el nivel de servicio es la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro al conductor.

Obtener un indicador que permita comparar, con un criterio uniforme, la condición y comportamiento del pavimento y de esta manera justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación, seleccionando la técnica de reparación más adecuada al estado del pavimento en estudio.

2.5.2. Terminología

A continuación, se definen los principales términos utilizados en el método, que son de vital importancia para la comprensión y correcta aplicación del mismo.

Red de pavimento. Es el conjunto de pavimentos a ser administrados, es una sola entidad y tiene una función específica. Por ejemplo, un aeropuerto o una avenida, es una red de pavimento.

Tramo de pavimento. Un tramo es una parte identificable de la red de pavimento. Por ejemplo, cada camino o estacionamiento es un tramo separado.

Sección de pavimento. Es un área de pavimento contigua de construcción, mantenimiento, historial de uso y condición uniformes. Una sección debe tener el mismo volumen de tráfico e intensidad de carga.

Unidad de muestra del pavimento. Es una subdivisión de una sección de pavimento que tiene un tamaño estándar que varía de $225 \pm 90 \text{ m}^2$, si el pavimento no es exactamente divisible entre 2500 o para acomodar condiciones de campo específicas.

Muestra al azar. Unidad de muestra de la sección de pavimento, seleccionada para la inspección mediante técnicas de muestreo aleatorio.

Muestra adicional. Es una unidad de muestra inspeccionada adicionalmente a las unidades de muestra seleccionadas al azar con el fin de incluir unidades de muestra no representativas en la determinación de la condición del pavimento.

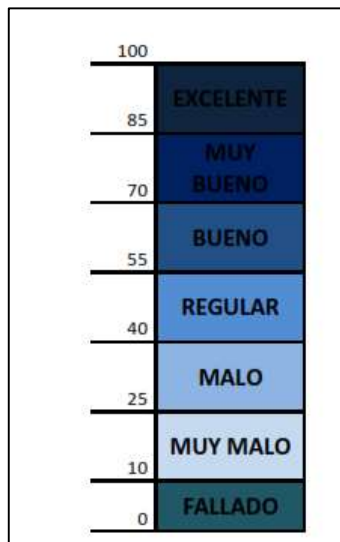
Deben ser consideradas como muestras adicionales aquellas muestras muy pobres o excelentes que no son típicas en la sección ni entre las unidades de muestra, que contienen deterioros poco comunes tales como cortes utilitarios (ejemplo: corte para instalación de tuberías de agua o desagüe, electricidad, teléfonos, etc.).

Si una unidad de muestra que contiene una falla poco común es escogida al azar como unidad de muestra, ésta deberá ser considerada como unidad de muestra adicional y otra unidad de muestra al azar deberá ser escogida. Si todas las unidades de muestra son inspeccionadas, entonces no habrá unidades de muestra adicionales.

Índice de condición del pavimento (PCI). Es un grado numérico de la condición del pavimento. Varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. Cada rango del PCI tiene su correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Grado de la condición del pavimento. Es una descripción cualitativa de la condición del pavimento, como una función del valor de PCI que varía entre fallado hasta excelente.

Figura 30 Índice de condición del pavimento (PCI) y escala de graduación



Fuente: Edgar Daniel Rodríguez Velázquez (2009) “Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, Distrito de Castilla” (pág. 30)

Fallas del pavimento. Indicadores externos del deterioro del pavimento causado por las cargas de tráfico, factores ambientales, deficiencias constructivas, o una combinación de estas causas.

2.5.3. Materiales e instrumentos

Hoja de datos de campo. Documento donde se registrará toda la información obtenida durante la inspección visual: fecha, ubicación, tramo, sección, tamaño de la unidad de muestra, tipos de fallas, niveles de severidad, cantidades, y nombres del personal encargado de la inspección.

Odómetro manual. Instrumento utilizado para medir distancias en calles, carreteras, caminos.

Regla o cordel. Para medir la deformación longitudinal y transversal del pavimento en estudio.

Conos de seguridad vial. Para aislar el área de calle en estudio, ya que el tráfico representa un peligro para los inspectores que tienen que caminar sobre el pavimento.

Plano de distribución. Plano donde se esquematiza la red de pavimento que será evaluada.

2.5.4. Determinación del PCI

El valor del PCI (índice de condición del pavimento) de la sección del pavimento se obtiene determinando el average de los valores de las unidades evaluadas. Los pasos a seguir para determinar el PCI de cada unidad son:

- (1) Determinar los datos correspondientes a cada tipo de huella del ahuellamiento.
- (2) Determinar los valores de deducción (VD), para cada huella y severidad.
- (3) El valor total de deducción (VTD = Sumatoria de VD es corregido, así se obtiene VDC. (valor de deducción corregido).
- (4) Finalmente, el $PCI = 100 - VDC$.

CAPÍTULO III
EVALUACIÓN DEL
AHUELLAMIENTO EN EL
TRAMO DE ESTUDIO

CAPÍTULO III

3. EVALUACIÓN DEL AHUELLAMIENTO EN EL TRAMO DE ESTUDIO

3.1. Unidades de estudio

- **Unidad de estudio**

Huella del vehículo.

- **Población**
 - Población finita.
 - Todas las huellas del tramo.

- **Tamaño de la muestra**

Las unidades de muestra fueron convenientemente definidas por una longitud de 100 m de cada kilómetro en estudio del pavimento, solamente para la inspección del mismo.

$$n = \frac{\sigma^2 * Z^2}{e^2}$$

Donde:

$Z = 1,96$ (95% de confianza)

$\sigma = 0,25$ (Desviación estándar)

$e = 0,05$ (Error máximo tolerable)

$$n = \frac{0,25^2 * 1,96^2}{0,05^2}$$

$$n = 384,16 \cong 385 \text{ Huellas}$$

3.1.1. Métodos y técnicas

Se realizó el ahuellamiento que existen mediante inspección visual e instrumentos y equipos que se usan en nuestro medio.

Equipo

- Una regla de metálica de 2 m de longitud, para medir y ayudar a medir los ahuellamientos.
- Una huincha, para medir cada sub tramo, y el ancho de la vía.
- Una cámara fotográfica para obtener fotografías de cada una de los ahuellamientos y aforaciones.

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

- **Procedimientos de aplicación**

Para la medición de las fallas se procederá a ubicar la progresiva de inicio y fin de la unidad de muestra, y se ejecutará los pasos siguientes:

- Inspeccionar cada unidad de muestra seleccionada.
- Registrar el tramo y número de sección, así como el número de unidad de muestra.
- Realizar la inspección de las fallas, cuantificando cada nivel de severidad y llenando la información obtenida en las hojas de registro. Los tipos de fallas y el grado de severidad.

Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

3.1.2. Estudio de tráfico

- **Aforos**

Los aforos son conteos vehiculares, en los cuales se registran los vehículos entre 4 y 6 horas al día y en períodos que oscilan entre 3 y 10 días.

Estos aforos definen los volúmenes de tráfico estacionales y mensuales de donde se obtiene el TPD (tráfico promedio diario).

Para realizar los aforos se utilizan instrumentos manuales, los más usados son: Formularios de campo; diseñados para que el registro visual de un operador haga el conteo y/o clasificación.

- **Medición del flujo vehicular**

Existen dos tipos de flujos vehiculares:

Continuos: Poseen la característica de que la velocidad de circulación es constante, (más común en carreteras rurales).

Discontinuos: Las velocidades no son constantes. Representan la circulación en áreas urbanas, con muchas interrupciones en dicho flujo.

Los flujos vehiculares se miden mediante la definición del volumen de tráfico (V), la velocidad de circulación (v) y la concentración vehicular (K). Los flujos, cuantitativamente, dependen de la velocidad y la concentración.

- **Temperatura ambiente**

Como parte del estudio del pavimento, se llevarán a cabo mediciones de temperatura. Es claro que la temperatura a que se expone el pavimento es muy importante. Cabe indicar que se solicitará a la estación meteorológica:

- Registro horario de temperaturas ambiente (máximas y mínima).
- Registro diario temperaturas ambiente (máximas y mínima).

3.1.3. Tipo de estudio

Estudio investigativo, donde se evaluará la diferente bibliografía para realizar un análisis, causas y la posible solución de cada ahuellamiento evaluado en las diferentes zonas de la Provincia Cercado.

3.2. Ubicación del tramo de estudio

El valle central de Tarija llamado también cuenca del río Guadalquivir, está situado en el departamento de Tarija (BOLIVIA). Esta zona juega un papel importante dentro del desarrollo regional, además, la capital se ubica en el valle central, la misma tiene una temperatura media anual de 18,2 °C y una precipitación pluvial media anual 700 mm

La zona de estudio, se encuentra ubicada en la ciudad de Tarija (Cercado) especialmente en las siguientes calles y/o avenidas que se indican a continuación:

- Avenida Colón.
- Avenida San Andrés.
- Avenida San Jacinto.

La ubicación de cada uno de los tramos indicados se encuentra en Anexo 1.1.2.

3.3. Evaluación del ahuellamiento por método de la regla AASTHO de 1.2m

La medición del ahuellamiento es de forma directa realizado la medición para cada sección transversal, tanto para el carril derecho como para el izquierdo la metodología usada para la medición.

Cada valor registrado del ahuellamiento tienen una severidad que está en función a la altura de ahuellamiento cada uno de los valores medidos nos servirá para poder guiarnos en qué tipo de intervención se debe seguir para solucionar el deterioro por ahuellamiento.

3.3.1. Métodos y técnicas de evaluación

Se utilizó la misma técnica, método, procedimiento para las tres zonas de estudio que se describen a continuación:

3.3.1.1. Equipo

- Una regla de metálica de 2 m de longitud, para medir ayudar a medir los ahuellamiento.

- Un flexómetro, para medir los diferentes tipos de fallas sean longitudinales o por metro cuadrado.
- Una huincha, para medir cada sub tramo, y el ancho de la vía.
- Una cámara fotográfica para obtener fotografías de cada una de los ahuellamientos.

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

3.3.1.2. Procedimientos de aplicación

Para la medición de las fallas se procederá a ubicar la progresiva de inicio y fin de la unidad de muestra, y se ejecutará los pasos siguientes.

- Inspeccionar cada unidad de muestra seleccionada.
- Registrar el tramo y número de sección, así como el número de unidad de muestra.
- Realizar la inspección de las fallas, cuantificando cada nivel de severidad y llenando la información obtenida en las hojas de registro. Los tipos de fallas y el grado de severidad.

Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

3.4. Análisis del ahuellamiento de las zonas de estudio

3.4.1. Zona San Jacinto

Según los planos obtenidos del ahuellamiento versus distancia acumulada que se muestran en los anexos A1, registro meteorológico en anexo A2, informe fotográfico en anexo A3, se puede analizar la variación de cada huella con ahuellamientos no constantes debido a lo siguiente:

- **Tráfico de diseño:** En muchos casos se tiene un tráfico de diseño del pavimento incorrecto, las cargas son bastante mayores a las previstas. Los ahuellamientos de esta zona son debidos al incremento en el tráfico con los años.

Estudio tráfico y transporte zona San Jacinto.

Tabla 4 Estudio de tráfico y transporte zona San Jacinto

Lunes 12 de septiembre del 2016			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
3832	3687	372	1458
Martes 13 de septiembre del 2016			

Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
3065	2949	297	6311
Miércoles 14 de septiembre del 2016			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
3977	3777	237	7991
Jueves 15 de septiembre del 2016			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
3181	3021	189	6391
Viernes 16 de septiembre del 2016			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
2381	1884	98	4363
Sábado 17 de septiembre del 2016			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
2977	2355	123	5455

Fuente: Elaboración propia

Periodo de 7:00 am a 19:00 pm.

Tráfico total liviano: 19413 vehículos.

Tráfico total medio: 17673 vehículos.

Tráfico total pesado: 1316 vehículos.

- **Proceso constructivo:** Deficiencias en los procesos constructivos originan una estructura débil del pavimento. Esto se debe a inadecuados espesores y mezclas, así como una deficiencia en la distribución y compactación de las capas.
- **Factores ambientales:** Elevación de la capa freática, inundaciones, lluvias prolongadas, variación térmica, congelamiento, sales nocivas. Así como una insuficiencia en el drenaje superficial o profundo, debido más que todo al cambio de temperatura que se presenta en nuestro medio.

Tabla 5 Temperatura mínima media San Jacinto Sud

Temperatura mínima media (°C)													
Estación: San Jacinto sud											Lat. S.: 21° 36' 37"		
Provincia: Cercado											Long. W.: 64° 43' 12"		
Departamento: Tarija											Altura: 1,820 m.s.n.m		
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
Media	14,61	14,81	13,79	12,22	7,38	3,54	1,91	4,36	8,41	11,98	13,56	14,31	10,06

Fuente: Senamhi

Tabla 6 Temperatura máxima media San Jacinto Sud

Temperatura máxima media (°C)													
Estación: San Jacinto Sud											Lat. S.: 21° 36' 37"		
Provincia: Cercado											Long. W.: 64° 43' 12"		
Departamento: Tarija											Altura: 1,820 m.s.n.m		
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
Media	27,92	27,81	27,77	27,79	27,42	26,37	26,36	27,62	27,47	28,31	28,06	27,92	27,60

Fuente: Senamhi

Tabla 7 Altura de precipitación San Jacinto Sud

Altura de precipitación (mm)													
Estación: San Jacinto Sud											Lat. S.: 21° 36' 37"		
Provincia: Cercado											Long. W.: 64° 43' 12"		
Departamento: Tarija											Altura: 1,820 m.s.n.m		
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Media	118,74	111,61	92,39	20,31	2,38	0,33	0,70	2,79	8,64	45,09	76,47	113,14	588,76

Fuente: Senamhi

Tabla 8 Precipitación máxima diaria San Jacinto Sud

Precipitación máxima diaria (mm)													
Estación: San Jacinto Sud											Lat. S.: 21° 36' 37"		
Provincia: Cercado											Long. W.: 64° 43' 12"		
Departamento: Tarija											Altura: 1,820 m.s.n.m		
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Máxima
Media	34,88	32,32	31,19	11,24	2,15	0,31	0,49	2,44	5,25	20,34	26,57	31,86	53,56

Fuente: Senamhi

- **Deficiente mantenimiento:** Falta de mantenimiento y conservación.

- **Crecimiento poblacional:** El registro de población del INE del último censo, de las zonas más colindantes a la zona de San Jacinto.

Tabla 9 Crecimiento poblacional San Jacinto

Departamento	Provincia	Municipio	Ciudad / Comunidad	Sexo		
				Mujer	Hombre	Total
Tarija	Cercado	Tarija	Pampa Redonda	327	310	637
Tarija	Cercado	Tarija	Tolomosita Centro	116	127	243
Tarija	Cercado	Tarija	San Jacinto Norte	131	139	270
Tarija	Cercado	Tarija	Tolomosa Grande	458	478	936
Tarija	Cercado	Tarija	Tolomosa Norte	229	231	460
Tarija	Cercado	Tarija	Tolomosita Sur	139	139	278
Tarija	Cercado	Tarija	San Jacinto Sud	99	100	199
Tarija	Cercado	Tarija	Tolomosita Oeste	190	176	366

Fuente: Instituto nacional de estadística INE

3.4.2. Zona San Andrés

Según los planos obtenidos del ahuellamiento versus distancia acumulada que se muestran en los anexos A1, registro meteorológico en anexo A2, informe fotográfico en anexo A3, se puede analizar la variación de cada huella con ahuellamientos no constantes debido a lo siguiente:

- **Tráfico de diseño:** Los ahuellamientos de esta zona son debidos a la variación de los distintos tráficos de transporte que pasan por esta zona.

Estudio tráfico y transporte zona San Andrés

Tabla 10 Estudio de tráfico y transporte zona San Andrés

Lunes 29 de Agosto del 2016			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
2667	1946	162	4775
Martes 30 de Agosto del 2016			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
2133	1556	129	3818

Miércoles 31 de Agosto del 2016			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
2619	1954	201	4774
Jueves 01 de septiembre del 2016			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
2095	1563	160	3818
Viernes 02 de septiembre del 2016			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
3407	2945	175	6527
Sábado 03 de septiembre del 2016			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
4259	3682	219	8160

Fuente: Elaboración propia

Periodo de 7:00 am a 19:00 pm.

Tráfico total liviano: 17180 vehículos.

Tráfico total medio: 13646 vehículos.

Tráfico total pesado: 1046 vehículos.

Total, de trafico: 31872 vehículos.

- **Factores ambientales:** Inundaciones (charcos de agua), lluvias prolongadas.

Tabla 11 Temperatura mínima media San Andrés

Temperatura mínima media (°C)													
Estación: San Andrés											Lat. S.: 21° 37' 24"		
Provincia: Cercado											Long. W.: 64° 48' 54"		
Departamento: Tarija											Altura: 1,987 m.s.n.m		
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
Media	14,00	13,97	13,25	11,14	6,66	3,95	3,24	5,26	7,60	11,19	12,56	13,65	9,60

Fuente: Senamhi

Tabla 12 Temperatura máxima media San Andrés

Temperatura máxima media (°C)													
Estación: San Andrés										Lat. S.: 21° 37' 24"			
Provincia: Cercado										Long. W.: 64° 48' 54"			
Departamento: Tarija										Altura: 1,987 m.s.n.m			
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
Media	25,48	25,20	24,66	24,74	24,16	24,51	24,77	26,12	26,07	26,30	25,50	25,62	25,32

Fuente: Senamhi

Tabla 13 Altura de precipitación San Andrés

Altura de precipitación (mm)													
Estación: San Andrés										Lat. S.: 21° 37' 24"			
Provincia: Cercado										Long. W.: 64° 48' 54"			
Departamento: Tarija										Altura: 1,987 m.s.n.m			
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Media	204,82	191,61	167,89	42,72	8,49	2,09	2,19	7,17	15,69	78,06	131,62	200,61	1060,31

Fuente: Senamhi

Tabla 14 Precipitación máxima diaria San Andrés

Precipitación máxima diaria (mm)													
Estación: San Andrés										Lat. S.: 21° 37' 24"			
Provincia: Cercado										Long. W.: 64° 48' 54"			
Departamento: Tarija										Altura: 1,987 m.s.n.m			
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Máxima
Media	46,80	42,33	43,25	17,45	5,20	1,50	1,38	4,80	8,38	28,13	36,65	48,73	68,75

Fuente: Senamhi

- **Deficiente mantenimiento:** Falta de mantenimiento y conservación.
- **Crecimiento poblacional:** El registro de población del INE del último censo, de las zonas más colindantes a la zona de San Andrés.

Tabla 15 Crecimiento poblacional San Andrés

Departamento	Provincia	Municipio	Ciudad / Comunidad	Sexo		
				Mujer	Hombre	Total
Tarija	Cercado	Tarija	Bella Vista	344	320	664
Tarija	Cercado	Tarija	Pinos Norte	175	198	373

Tarija	Cercado	Tarija	Pinos Sur	185	185	370
Tarija	Cercado	Tarija	Guerra Huayco	741	755	1496
Tarija	Cercado	Tarija	San Andrés	796	797	1593
Tarija	Cercado	Tarija	San Pedro De Sola	149	160	309
Tarija	Cercado	Tarija	Turumayo	748	702	1450
Tarija	Cercado	Tarija	Lazareto	389	406	795

Fuente: Instituto nacional de estadística INE

3.4.3. Zona avenida Colón

Se puede analizar la variación de cada huella con ahuellamientos no constantes debido a lo siguiente:

- **Tráfico de diseño:** Los ahuellamientos de esta zona son debidos a la variación de los distintos tráfico de transporte que pasan por esta zona que ha crecido en los últimos años con magnitud.

Estudio tráfico y transporte zona avenida Colón

Tabla 16 Estudio de tráfico y transporte av. Colón

Lunes 27 de marzo del 2017			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
1125	281	52	1458
Martes 28 de marzo del 2017			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
1102	258	48	1408
Miércoles 29 de marzo del 2017			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
1062	236	36	1334
Jueves 30 de marzo del 2017			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
1037	211	31	1279

Viernes 31 de marzo del 2017			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
957	285	31	1273
Sábado 01 abril del 2017			
Horario:07:00 a 19:00			
Liviano	Medio	Pesado	Total
932	260	11	1203

Fuente: Elaboración propia

Periodo de 7:00 am a 19:00 pm.

Tráfico total liviano: 6215 vehículos.

Tráfico total medio: 1531 vehículos.

Tráfico total pesado: 209 vehículos.

Tráfico total: 7955 vehículos.

- **Deficiencias de proyecto:** Diseños inadecuados y una mala valoración de la subrasante. Por otro lado, a veces se tiene una mala calidad y dosificación de las mezclas asfálticas y mala calidad de materiales usados en la producción.
- **Factores ambientales:** congelamiento, sales nocivas, así como una insuficiencia en el drenaje superficial o profundo.

Tabla 17 Temperatura mínima media av. Colón

Temperatura mínima media (°C)													
Estación: Sella Cercado										Lat. S.: 21° 23' 11"			
Provincia: Cercado										Long. W.: 64° 40' 52"			
Departamento: Tarija										Altura: 2.145 m.s.n.m			
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
Media	13,34	12,90	12,38	10,37	6,38	3,99	3,46	5,29	7,51	10,76	12,15	13,26	9,28

Fuente: Senamhi

Tabla 18 Temperatura máxima media av. Colón

Temperatura máxima media (°C)													
Estación: Sella Cercado											Lat. S.: 21° 23' 11"		
Provincia: Cercado											Long. W.: 64° 40' 52"		
Departamento: Tarija											Altura: 2.145 m.s.n.m		
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
Media	25,97	25,42	24,89	25,17	24,16	24,32	24,13	25,87	26,53	27,23	26,54	26,72	25,63

Fuente: Senamhi

Tabla 19 Altura de precipitación av. Colón

Altura de precipitación (mm)													
Estación: Sella Cercado											Lat. S.: 21° 23' 11"		
Provincia: Cercado											Long. W.: 64° 40' 52"		
Departamento: Tarija											Altura: 2.145 m.s.n.m		
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Media	143,55	124,58	94,43	26,41	4,43	0,85	1,09	3,85	9,90	28,40	61,70	122,03	623,47

Fuente: Senamhi

Tabla 20 Precipitación máxima diaria av. Colón

Precipitación máxima diaria (mm)													
Estación: Sella Cercado											Lat. S.: 21° 23' 11"		
Provincia: Cercado											Long. W.: 64° 40' 52"		
Departamento: Tarija											Altura: 2.145 m.s.n.m		
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Máxima
Media	37,12	37,50	28,24	11,85	2,83	0,77	0,70	3,15	6,85	12,89	24,62	35,59	59,64

Fuente: Senamhi

- **Deficiente mantenimiento:** Falta de mantenimiento y conservación.
- **Crecimiento poblacional:** El registro de población del INE del último censo, de las zonas más colindantes a la zona de la avenida Colón.

Tabla 21 Crecimiento poblacional av. Colón

Departamento	Provincia	Municipio	Ciudad / Comunidad	Sexo		
				Mujer	Hombre	Total
Tarija	Cercado	Tarija	Monte Cercado	94	119	213
Tarija	Cercado	Tarija	Sella Cercado	181	187	368

Tarija	Cercado	Tarija	Sella Candelaria	58	63	121
Tarija	Cercado	Tarija	Sella Quebrada	161	161	322
Tarija	Cercado	Tarija	Monte Centro	156	152	308
Tarija	Cercado	Tarija	Monte Sur	562	571	1133

Fuente: Instituto nacional de estadística INE

3.5. Análisis de resultados

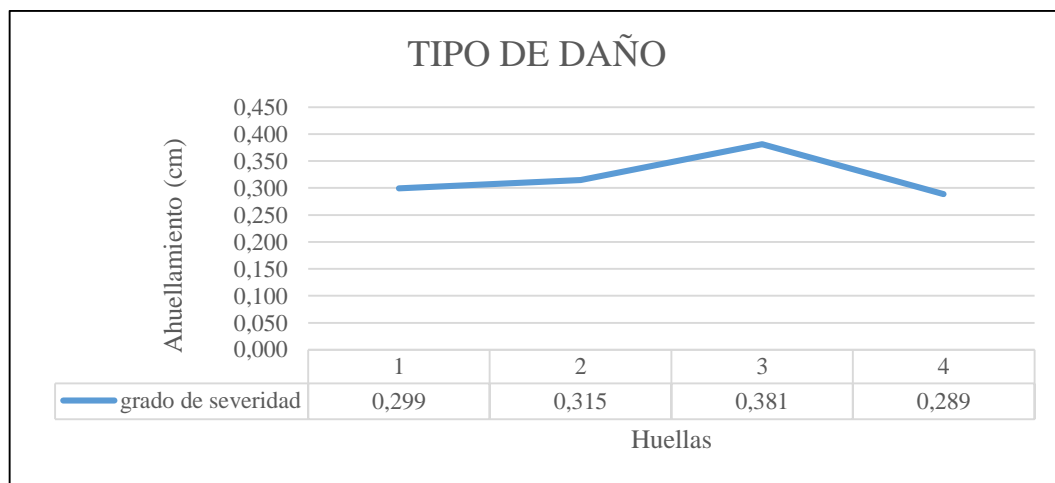
Tabla 22 Análisis de resultados

No	Denominación	Nivel de severidad		
		Bajo (L)	Moderado (M)	Alto (H)
1	Ahuellamiento	Profundidad entre 6 mm y 13 mm	Profundidad entre 13 mm y 25 mm	Profundidad mayor de 25 mm

Fuente: Elaboración propia

3.5.1. Zona avenida Colón

Figura 31 Tipo de daño de sus distintas huellas zona av. Colón



Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 Determinación del PCI kilometro uno av. Colón

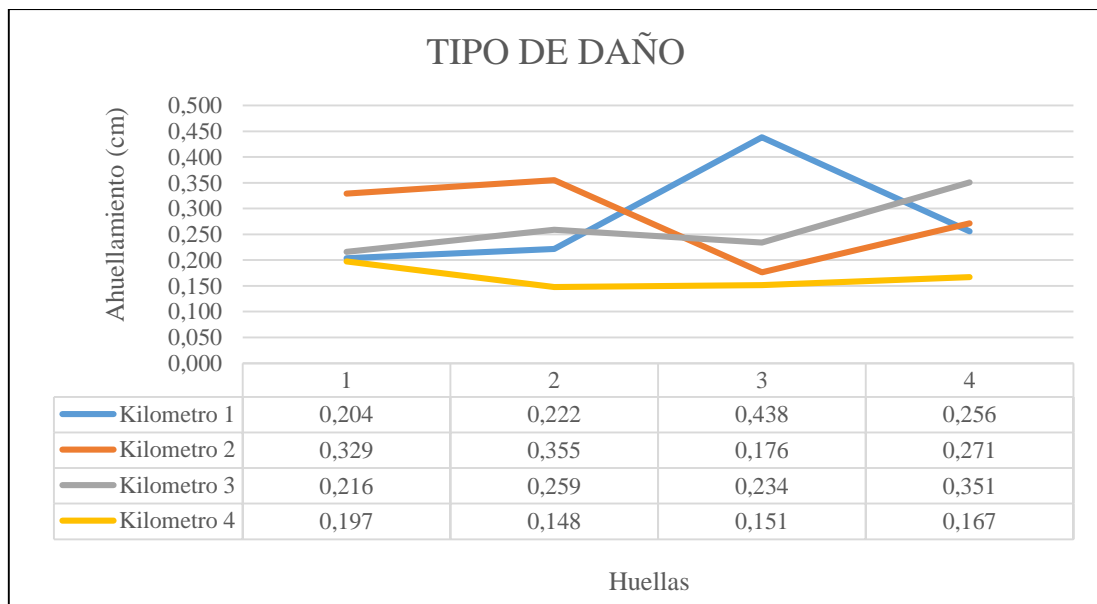
Determinación del PCI				
Nombre de la vía:	Av. Colón.			
Ancho vía: 7,40 m	Long. tramo: 100 m	Progresivas: 0+000 - 0+100		
Tipos de falla				
1	Ahuellamientos (cm)			
Cálculo del PCI				
Huella	Densidad	Severidad	Valor de	PCI=100-VDC

			Deducción	
H1	0,299	L	3,50	
H2	0,315	L	3,50	
H3	0,381	L	4,00	
H4	0,289	L	3,75	88,25
Valor total de deducción (vdt)			14,75	Condición del pavimento
Valor de deducción corregido (vdc)			11,75	
Excelente				

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Zona San Andrés

Figura 32 Tipo de daño de sus distintas huellas zona San Andrés



Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Determinación del PCI kilómetro uno San Andrés

Determinación del PCI			
Kilómetro 1			
Nombre de la vía:	Av. San Andrés		
Ancho vía: 8,00 m	Long. tramo: 100 m	Progresivas: 0+000 - 0+100	
Tipos de falla			
1	Ahuellamientos (cm)		

Cálculo del PCI				
Huella	Densidad	Severidad	Valor de Deducción	PCI=100-VDC
H1	0,204	L	2,10	
H2	0,222	L	3,05	
H3	0,438	L	4,00	
H4	0,256	L	2,22	90,13
Valor total de deducción (vdt)			11,37	Condición del pavimento
Valor de deducción corregido (vdc)			9,87	
Excelente				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25 Determinación del PCI kilómetro dos San Andrés

Determinación del PCI				
Kilómetro 2				
Nombre de la vía:		Av. San Andrés		
Ancho vía: 8,00 m	Long. tramo: 100 m	Progresivas: 0+000 - 0+100		
Tipos de falla				
1	Ahuellamientos (cm)			
Cálculo del PCI				
Huella	Densidad	Severidad	Valor de Deducción	PCI=100-VDC
H1	0,329	L	2,50	
H2	0,355	L	2,80	
H3	0,176	L	2,00	
H4	0,271	L	2,30	90,80
Valor total de deducción (vdt)			9,60	Condición del pavimento
Valor de deducción corregido (vdc)			9,20	
Excelente				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Determinación del PCI kilómetro tres San Andrés

Determinación del PCI				
Kilómetro 3				
Nombre de la vía:		Av. San Andrés		
Ancho vía: 8,00 m	Long. Tramo: 100 m	Progresivas: 0+000 - 0+100		
Tipos de falla				
1	Ahuellamientos (cm)			
Cálculo del PCI				
Huella	Densidad	Severidad	Valor de Deducción	PCI=100-VDC
H1	0,216	L	2,01	
H2	0,259	L	2,22	
H3	0,234	L	2,19	
H4	0,351	L	2,80	91,12
Valor total de deducción (vdt)			9,22	Condición del pavimento
Valor de deducción corregido (vdc)			8,80	
				Excelente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Determinación del PCI kilómetro cuatro San Andrés

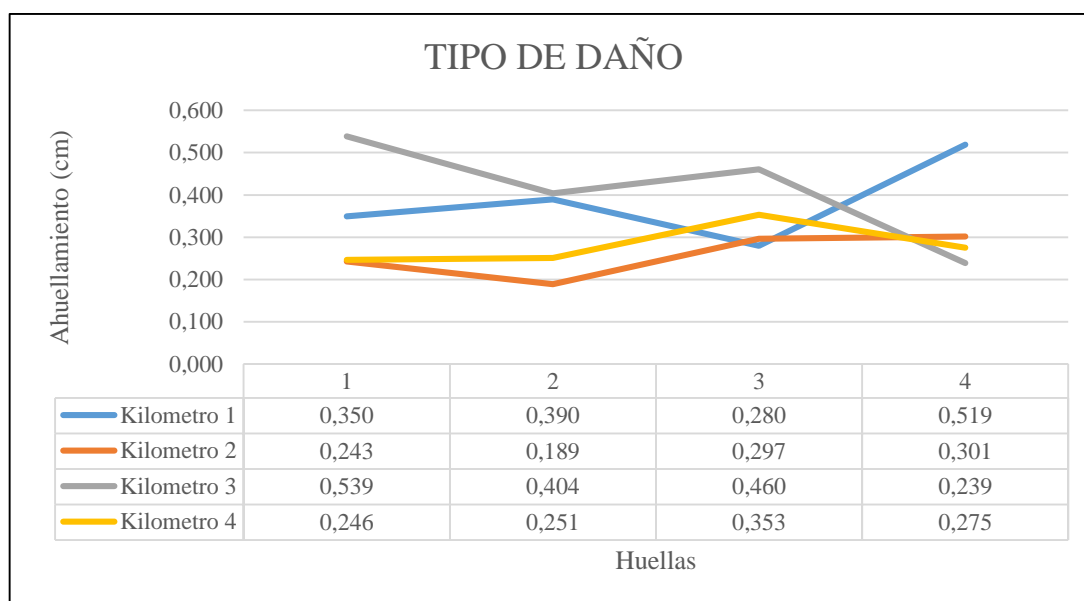
Determinación del PCI				
Kilómetro 4				
Nombre de la vía:		Av. San Andrés		
Ancho vía: 8,00 m	Long. tramo: 100 m	Progresivas: 0+000 - 0+100		
Tipos de falla				
1	Ahuellamientos (cm)			
Cálculo del PCI				
Huella	Densidad	Severidad	Valor de Deducción	PCI = 100 - VDC
H1	0,197	L	2,03	

H2	0,148	L	1,90	
H3	0,151	L	1,97	
H4	0,167	L	2,00	94,00
Valor total de deducción (vdt)			7,90	Condición del pavimento
Valor de deducción corregido (vdc)			6,00	
Excelente				

Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Zona San Jacinto

Figura 33 Tipo de daño de sus distintas huellas zona San Jacinto



Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Determinación del PCI kilómetro uno San Jacinto

Determinación del PCI		
Kilómetro 1		
Nombre de la vía:	Av. San Jacinto	
Ancho vía: 7,60 m	Long. tramo: 100 m	Progresivas: 0+000 - 0+100
Tipos de falla		
1	Ahuellamientos (cm)	
Cálculo del PCI		

Huella	Densidad	Severidad	Valor de Deducción	PCI=100-VDC
H1	0,350	L	2,50	
H2	0,390	L	2,60	
H3	0,280	L	2,20	
H4	0,519	L	2,90	90,30
Valor total de deducción (vdt)			10,20	Condición del pavimento
Valor de deducción corregido (vdc)			9,70	
Excelente				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 Determinación del PCI kilómetro dos San Jacinto

Determinación del PCI				
Kilómetro 2				
Nombre de la vía:		Av. San Jacinto		
Ancho vía: 7,60 m	Long. tramo: 100 m	Progresivas: 0+000 - 0+100		
Tipos de falla				
1	Ahuellamientos (cm)			
Cálculo del PCI				
Huella	Densidad	Severidad	Valor de Deducción	PCI=100-VDC
H1	0,243	L	2,40	
H2	0,189	L	1,80	
H3	0,297	L	2,50	
H4	0,301	L	2,50	91,30
Valor total de deducción (vdt)			9,20	Condición del pavimento
Valor de deducción corregido (vdc)			8,70	
Excelente				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 Determinación del PCI kilómetro tres San Jacinto

Determinación del PCI				
Kilómetro 3				
Nombre de la vía:		Av. San Jacinto		
Ancho vía: 7,60 m	Long. tramo: 100 m	Progresivas: 0+000 - 0+100		
Tipos de falla				
1	Ahuellamientos (cm)			
Cálculo del PCI				
Huella	Densidad	Severidad	Valor de Deducción	PCI=100-VDC
H1	0,539	L	2,90	
H2	0,404	L	2,60	
H3	0,460	L	2,80	
H4	0,239	L	2,10	90,50
Valor total de deducción (vdt)			10,40	Condición del pavimento
Valor de deducción corregido (vdc)			9,50	
				Excelente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 Determinación del PCI kilómetro cuatro San Jacinto

Determinación del PCI				
Kilómetro 4				
Nombre de la vía:		Av. San Jacinto		
Ancho vía: 7,60 m	Long. tramo: 100 m	Progresivas: 0+000 - 0+100		
Tipos de falla				
1	Ahuellamientos (cm)			
Cálculo del PCI				
Huella	Densidad	Severidad	Valor de Deducción	PCI=100-VDC
H1	0,246	L	2,2	

H2	0,251	L	2,2	
H3	0,353	L	2,51	
H4	0,275	L	2,6	91,0
				Condición del pavimento
Valor total de deducción (vdt)			9,54	
Valor de deducción corregido (vdc)			9,0	Excelente

Fuente: Elaboración propia

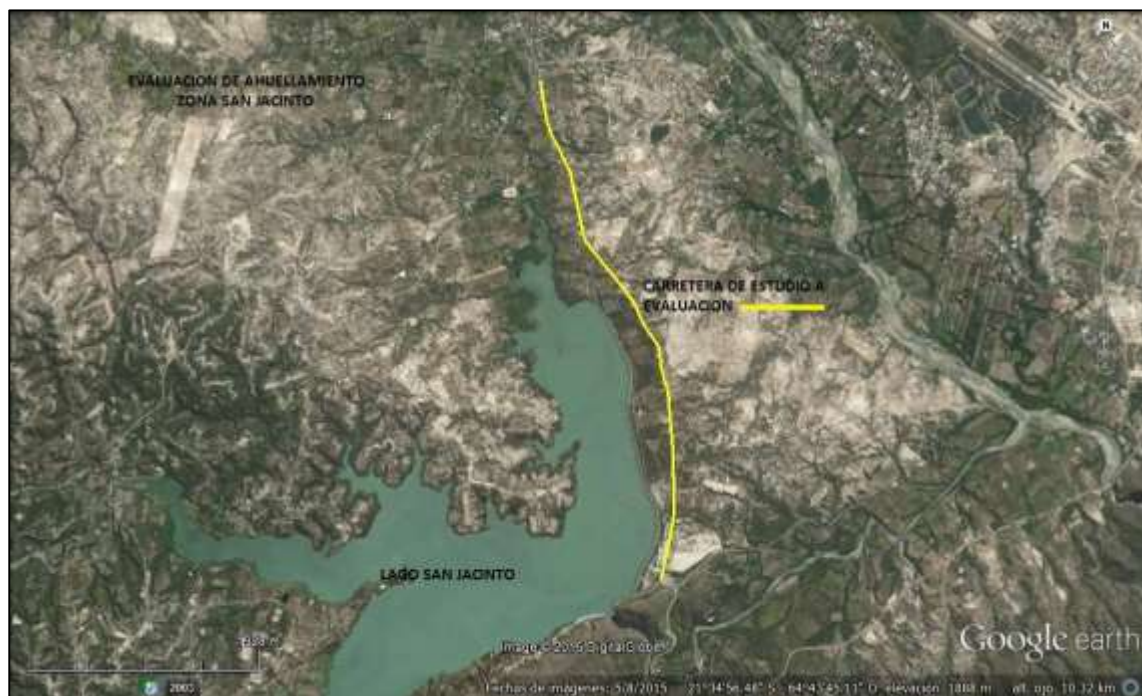
3.6. Características generales de la zona de estudio

3.6.1. Zona San Jacinto

Características geométricas y técnicas de la zona de estudio son las siguientes: Avenida San Jacinto Prog. 0+000 hasta 0+400.

- Calle: Carretera San Jacinto.
- Intersección: entre ENDE y puerta la Fexpo Tarija.
- Ancho de la calzada: 7,70 m.
- Ancho del carril: 3,80 m.
- Longitud del tramo: 4,47 km.
- Pavimento: Flexible.
- Año de construcción: 1995.
- Vida útil: 20 años.
- Vida actual del pavimento: 27 años.
- Condición actual del pavimento: regular, presenta fallas y defectos permite la circulación con algunos defectos.

Figura 34 Carretera de San Jacinto



Fuente: Google Earth

3.6.1.1. Evaluación de ahuellamiento kilómetro uno

Tabla 32 Evaluación de ahuellamiento kilómetro uno San Jacinto

Distancia acumulada (m)	Distancias parciales (m)	Huella n°1 (cm)	Huella n°2 (cm)	Huella n°3 (cm)	Huella n°4 (cm)
7,5	0,5	0,4	0,1	0,2	1,0
10,0	0,5	0,3	0,2	0,5	1,0
12,5	0,5	0,1	0,3	0,2	1,1
16,5	0,5	0,7	0,1	0,2	1,8
19,5	0,5	0,6	0,2	1,1	0,6
20,0	0,5	0,3	1,5	0,9	1,5
20,5	0,5	0,2	1,0	0,6	1,8
21,0	0,5	0,2	1,0	0,2	0,6
21,5	0,5	0,1	0,8	0,8	1,8
22,0	0,5	0,2	0,5	0,8	1,3
22,5	0,5	0,3	0,5	0,2	1,0
23,0	0,5	0,6	1,6	0,8	1,3
23,5	0,5	0,5	1,5	1,0	0,5
24,5	0,5	0,3	1,7	0,3	0,2

26,5	0,5	0,3	2,2	0,2	0,1
27,5	0,5	0,5	1,9	0,2	0,1
38,0	0,5	0,2	1,2	0,3	0,2
42,5	0,5	0,2	1,5	0,1	0,4
44,0	0,5	0,2	1,8	0,3	0,2
52,0	0,5	0,1	1,3	0,1	0,2
55,5	0,5	0,1	0,6	0,5	1,3
56,0	0,5	0,6	0,4	0,3	2,3
56,5	0,5	0,6	0,2	0,5	2,0
57,0	0,5	1,0	0,4	0,4	2,5
57,5	0,5	1,2	0,3	0,2	0,8
58,0	0,5	1,0	0,5	0,2	0,7
58,5	0,5	0,9	0,2	0,1	1,5
62,5	0,5	1,6	0,2	0,2	0,4
65,0	0,5	1,0	0,3	1,5	0,4
65,5	0,5	0,2	0,3	1,0	1,2
66,0	0,5	0,5	0,2	0,2	0,7
66,5	0,5	0,2	0,2	0,2	1,0
74,5	0,5	1,0	0,3	0,2	0,4
79,5	0,5	0,1	2,0	2,0	1,1
83,5	0,5	0,2	0,2	0,1	1,8
84,0	0,5	0,8	0,3	0,1	0,9
84,5	0,5	0,5	0,3	0,2	1,9
85,0	0,5	0,2	0,2	0,7	1,4
85,5	0,5	0,5	0,2	0,2	1,0
86,0	0,5	0,3	0,2	0,2	1,3
97,5	0,5	0,2	0,2	0,2	1,4
100,5	0,5	0,4	0,2	1,0	1,4
Promedio		0,46	0,69	0,46	1,05
Mediana		0,30	0,30	0,20	1,00
Desv. Estandar		0,35	0,63	0,42	0,62
Varianza		0,12	0,39	0,17	0,38

Menores < 0,1



Mayores > 0,9



Fuente: Elaboración propia

- Promedio de la muestra

$$x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

- Mediana si n es impar

$$Me = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}$$

- Mediana si n es par

$$Me = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)}}{2}$$

- Desviación estándar

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum(x_i - X)^2}{n - 1}}$$

- Varianza


$$Vx = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - X)^2}{n}$$

3.6.1.2. Evaluación de ahuellamiento kilómetro dos

Tabla 33 Evaluación de ahuellamiento kilómetro dos San Jacinto

Distancia acumuladas (m)	Distancia parciales (m)	Huella N°1 (cm)	Huella N°2 (cm)	Huella N°3 (cm)	Huella N°4 (cm)
0,0	0,5	0,0	0,2	0,3	0,2
0,5	0,5	0,1	0,1	0,3	0,2
1,0	0,5	0,1	0,2	0,4	0,3
1,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,1
2,0	0,5	0,1	0,2	0,1	0,2
2,5	0,5	0,1	0,2	0,3	0,3
4,0	0,5	0,1	0,2	0,1	0,2
4,5	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2
5,5	0,5	0,1	0,1	0,2	0,2
6,0	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2
6,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2
7,0	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2
7,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2
8,0	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2
8,5	0,5	0,2	0,2	0,4	0,3
9,0	0,5	0,3	0,1	0,5	0,4
9,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,5
10,0	0,5	0,1	0,1	0,2	0,2
10,5	0,5	0,1	0,2	0,4	0,2

11,0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,4
11,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2
12,0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,3
12,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2
13,0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,3
13,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1
14,0	0,5	0,3	0,1	0,3	0,2
14,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2
15,0	0,5	0,3	0,2	0,3	0,2
15,5	0,5	0,3	0,1	0,2	0,1
16,0	0,5	0,5	0,3	0,4	0,2
16,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,3
17,0	0,5	0,3	0,2	0,3	0,3
17,5	0,5	0,3	0,1	0,4	0,2
18,0	0,5	0,3	0,1	0,3	0,2
19,0	0,5	0,5	0,1	0,2	0,3
20,0	0,5	0,2	0,1	0,2	0,3
20,5	0,5	0,5	0,1	0,4	0,2
22,0	0,5	0,2	0,3	0,4	0,5
22,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2
23,0	0,5	0,3	0,1	0,3	0,2
24,0	0,5	0,5	0,1	0,3	0,5
24,5	0,5	0,5	0,2	0,3	0,5
25,0	0,5	0,3	0,1	0,3	0,4
Promedio		0,23	0,15	0,26	0,26
Mediana		0,20	0,10	0,20	0,20
Desv. Estandar		0,12	0,06	0,10	0,10
Varianza		0,02	0,00	0,01	0,01

Menores < 0,1 

Mayores > 0,9 

Fuente: Elaboración propia

3.6.1.3. Evaluación de ahuellamiento kilómetro tres

Tabla 34 Evaluación de ahuellamiento kilómetro tres San Jacinto

Distancia acumulada	Distancia parcial	Huella Nº1 (cm)	Huella Nº2 (cm)	Huella Nº3 (cm)	Huella Nº4 (cm)
(m)	(m)				
3,5	0,5	0,3	1,0	0,5	0,2
4,0	0,5	0,2	1,2	0,5	0,3

4,5	0,5	0,2	1,0	0,6	0,2
5,0	0,5	0,2	1,0	0,5	0,2
17,5	0,5	0,2	0,3	1,1	0,1
19,0	0,5	0,1	0,5	1,0	0,2
19,5	0,5	0,1	0,2	1,2	0,1
23,0	0,5	0,2	0,2	1,4	0,3
23,5	0,5	0,4	0,1	1,0	0,3
24,0	0,5	0,2	0,3	1,1	0,2
24,5	0,5	0,2	0,2	1,0	0,2
25,0	0,5	0,1	0,2	1,2	0,3
26,0	0,5	0,1	0,2	1,0	0,3
27,5	0,5	0,3	0,2	1,0	0,3
28,5	0,5	0,2	0,2	1,3	0,2
29,0	0,5	0,2	0,2	1,6	0,2
31,0	0,5	0,2	0,1	1,0	0,2
31,5	0,5	0,5	0,2	1,0	0,2
32,0	0,5	0,3	0,1	1,3	0,1
32,5	0,5	0,3	0,2	1,0	0,1
33,0	0,5	0,3	0,2	1,2	0,2
34,5	0,5	0,1	0,6	1,0	0,3
35,5	0,5	0,6	0,7	1,2	0,3
40,5	0,5	1,0	0,2	0,3	0,5
41,0	0,5	1,0	0,1	0,5	0,2
41,5	0,5	1,0	0,4	0,5	0,5
42,0	0,5	1,0	0,2	0,6	0,3
43,0	0,5	1,1	0,3	0,6	0,4
50,5	0,5	0,4	0,2	1,0	0,2
58,5	0,5	0,5	1,0	0,3	0,1
59,0	0,5	0,7	1,0	0,4	0,1
62,5	0,5	1,1	1,8	0,2	0,2
63,0	0,5	1,0	1,8	0,3	0,3
63,5	0,5	0,7	1,3	0,3	0,3
64,0	0,5	0,8	1,2	0,4	0,1
66,5	0,5	1,0	0,2	0,2	0,1
76,5	0,5	1,1	0,3	0,7	0,2
78,5	0,5	1,4	0,5	0,4	0,3
80,5	0,5	1,0	0,5	0,4	0,3
81,0	0,5	1,0	0,5	0,2	0,1
82,0	0,5	1,0	0,3	0,2	0,4

82,5	0,5	1,1	0,2	0,3	0,2
83,0	0,5	1,2	0,3	0,4	0,4
83,5	0,5	1,0	0,3	0,2	0,5
85,0	0,5	1,3	0,2	0,2	0,3
85,5	0,5	1,3	0,3	0,5	0,6
86,0	0,5	1,0	0,4	0,2	0,6
89,0	0,5	1,0	0,6	0,1	0,6
89,5	0,5	1,2	0,2	0,3	0,5
90,0	0,5	1,0	0,2	0,1	0,4
90,5	0,5	1,0	0,5	0,1	0,3
92,0	0,5	1,0	0,2	0,2	0,2
93,0	0,5	1,2	0,2	0,3	0,5
94,0	0,5	1,0	1,1	0,2	0,7
96,5	0,5	1,0	0,6	0,2	0,6
98,5	0,5	1,0	0,3	1,0	0,3
99,5	0,5	1,0	0,3	0,2	0,2
100,5	0,5	1,2	0,5	0,3	0,2
Promedio		0,70	0,47	0,62	0,29
Mediana		1,00	0,30	0,50	0,30
Desv. Estandar		0,41	0,41	0,41	0,15
Varianza		0,17	0,17	0,17	0,02

Menores < 0,1



Mayores > 0,9



Fuente: Elaboración propia

3.6.1.4. Evaluación de ahuellamiento kilómetro cuatro

Tabla 35 Evaluación de ahuellamiento kilómetro cuatro San Jacinto

Distancia acumulada (m)	Distancia parcial (m)	Huella N°1 (cm)	Huella N°2 (cm)	Huella N°3 (cm)	Huella N°4 (cm)
36,0	0,5	0,1	1,7	0,1	0,3
37,0	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
37,5	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2
38,0	0,5	0,2	0,1	0,2	0,6
38,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0,8
39,0	0,5	0,2	0,2	0,3	0,1
39,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,3
40,0	0,5	0,2	0,1	0,2	0,1
41,0	0,5	0,1	0,2	0,7	1,8
42,0	0,5	0,5	0,3	0,1	0,3

42,5	0,5	0,1	0,1	0,2	0,1
43,0	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
43,5	0,5	0,4	0,1	0,2	0,2
44,0	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2
44,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2
45,5	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1
46,0	0,5	0,3	0,1	0,2	0,3
48,0	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1
48,5	0,5	0,2	0,4	0,2	0,1
49,5	0,5	0,1	0,2	0,1	0,2
50,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
52,0	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
52,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2
53,0	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2
53,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,1
54,0	0,5	0,1	0,2	0,1	0,1
54,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2
55,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1
56,0	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2
56,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,2
57,0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2
57,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,3
58,0	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
58,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1
59,0	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2
60,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,2
61,0	0,5	0,4	0,1	0,1	0,3
61,5	0,5	0,2	0,6	0,2	0,1
62,0	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1
62,5	0,5	0,1	0,2	0,1	0,1
63,0	0,5	0,0	0,4	0,1	1,0
63,5	0,5	0,1	0,1	0,2	0,2
64,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0,3
65,0	0,5	0,1	0,3	0,1	0,1
65,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0,2
67,0	0,5	0,1	0,2	0,2	0,1
72,5	0,5	1,0	0,1	0,2	0,0
73,0	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1
99,5	0,5	0,2	1,0	0,1	0,2

100,0	0,5	0,1	0,4	0,1	0,1
Promedio		0,22	0,23	0,15	0,23
Mediana		0,20	0,20	0,10	0,20
Desv. Estandar		0,15	0,26	0,09	0,28
Varianza		0,02	0,07	0,01	0,08

Menores < 0,1



Mayores > 0,9



Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Zona San Andrés

Avenida San Andrés 0+000 hasta 0+400.

- Calle: avenida San Andrés.
- Intersección: Tabladita III.
- Ancho de la calzada: 8,10 m.
- Ancho del carril: 4,00 m.
- Longitud del tramo: 5 km.
- Pavimento: Flexible.
- Año de construcción: 2006-2007.
- Vida útil: 20 años.
- Vida actual del pavimento: 15 años.
- Condición actual del pavimento: Defectos y fallas en la superficie de rodadura circulación a velocidad bajas.

Trabajo de mantenimiento: Se realiza mantenimiento rutinario el cual consiste en la reparación de huecos y otras fallas.

Figura 35 Carretera de San Andrés



Fuente: Google earth

3.6.2.1. Evaluación de ahuellamiento kilómetro uno

Tabla 36 Evaluación de ahuellamiento kilómetro uno San Andrés

Distancia acumulada	Distancia parcial	Huella N°1 (cm)	Huella N°2 (cm)	Huella N°3 (cm)	Huella N°4 (cm)
(m)	(m)				
0,5	0,5	0,4	0,1	1,1	0,2
3,0	0,5	1,6	0,1	0,1	0,1
6,0	0,5	1,1	0,0	0,3	0,1
14,5	0,5	0,2	0,1	1,0	0,1
15,0	0,5	0,1	0,1	1,1	0,2
17,5	0,5	0,1	0,2	0,5	1,0
18,0	0,5	0,1	0,2	0,6	0,5
27,0	0,5	0,1	0,2	1,1	0,1
27,5	0,5	0,2	0,0	1,1	0,1
29,5	0,5	1,1	0,1	0,2	0,1
30,0	0,5	1,0	0,1	0,7	0,1
31,0	0,5	0,6	0,1	1,0	0,0
31,5	0,5	0,5	0,2	1,1	0,0
32,0	0,5	0,2	0,5	0,8	0,1
32,5	0,5	0,1	0,4	0,5	0,2
33,0	0,5	0,1	1,0	0,7	0,1

33,5	0,5	0,1	0,7	0,4	0,1
34,0	0,5	0,2	1,0	0,5	0,1
34,5	0,5	0,1	0,2	0,8	0,3
35,0	0,5	0,1	1,1	0,3	0,2
35,5	0,5	0,2	0,9	0,5	0,2
36,0	0,5	0,1	1,1	0,7	0,1
36,5	0,5	0,3	0,5	0,8	0,1
37,5	0,5	0,2	0,5	0,8	0,1
38,0	0,5	0,1	0,5	1,0	0,0
38,5	0,5	0,1	0,3	1,0	0,0
39,0	0,5	0,2	2,0	0,8	0,1
39,5	0,5	0,2	1,8	0,8	0,1
40,0	0,5	0,1	2,0	0,9	0,2
40,5	0,5	0,1	1,8	0,8	0,1
41,0	0,5	0,1	2,0	0,7	0,1
41,5	0,5	0,1	1,3	0,6	0,2
42,5	0,5	0,0	2,1	0,5	0,5
43,0	0,5	0,1	0,4	1,1	0,4
43,5	0,5	0,3	0,3	1,0	0,1
47,5	0,5	0,0	0,6	1,0	0,5
54,0	0,5	0,1	0,1	1,0	0,5
55,0	0,5	0,2	0,1	1,0	0,0
56,0	0,5	0,1	0,1	1,4	1,2
56,5	0,5	0,1	0,1	1,1	0,3
58,5	0,5	0,2	0,1	0,4	1,0
64,5	0,5	0,2	0,3	1,0	0,2
65,0	0,5	0,2	0,5	0,7	0,1
66,0	0,5	0,3	0,2	1,5	0,1
69,0	0,5	0,2	1,0	0,6	0,2
72,5	0,5	0,2	0,1	1,2	0,8
73,0	0,5	0,1	0,1	1,2	0,5
80,0	0,5	0,2	0,1	0,2	1,0
83,0	0,5	0,1	1,4	0,0	1,6
86,5	0,5	0,1	0,2	1,0	0,1
87,0	0,5	0,1	0,1	0,7	0,1
87,5	0,5	0,1	0,2	1,0	0,1
89,0	0,5	0,1	0,1	1,1	0,8
89,5	0,5	0,1	0,1	1,2	0,4
90,0	0,5	0,1	0,2	0,7	0,5

91,0	0,5	0,0	0,1	1,1	0,3
91,5	0,5	0,1	0,2	0,9	0,2
92,0	0,5	0,1	0,3	1,3	0,1
95,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1
96,0	0,5	0,2	0,1	1,0	0,3
96,5	0,5	0,2	0,1	1,0	0,1
97,5	0,5	0,1	1,8	0,4	0,4
98,0	0,5	0,1	1,8	0,5	0,5
99,0	0,5	0,1	0,3	0,6	1,1
101,0	0,5	0,1	0,7	0,4	0,1
Promedio		0,22	0,54	0,79	0,30
Mediana		0,10	0,20	0,80	0,10
Desv. Estandar		0,28	0,61	0,33	0,33
Varianza		0,08	0,37	0,11	0,11

Menores < 0,1



Mayores > 0,9



Fuente: Elaboración propia

- Promedio de la muestra

$$x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

- Mediana si n es impar

$$Me = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}$$

- Mediana si n es par

$$Me = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)}}{2}$$

- Desviación estándar

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum(x_i - X)^2}{n - 1}}$$

- Varianza

$$Vx = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - X)^2}{n}$$

3.6.2.2. Evaluación de ahuellamiento kilómetro dos

Tabla 37 Evaluación de ahuellamiento kilómetro dos San Andrés

Distancia acumuladas (m)	Distancia parciales (m)	Huella N°1 (cm)	Huella N°2 (cm)	Huella N°3 (cm)	Huella N°4 (cm)
0,0	0,5	0,7	0,5	0,1	0,5
17,5	0,5	0,1	0,7	0,3	0,1
18,0	0,5	0,1	0,6	0,3	0,1
18,5	0,5	0,2	0,4	0,2	0,2
19,0	0,5	0,1	0,2	0,1	0,2
19,5	0,5	0,2	0,5	0,2	0,2
22,5	0,5	0,2	0,5	0,1	0,2
23,0	0,5	0,4	0,7	0,1	0,2
23,5	0,5	0,2	0,4	0,2	0,1
24,0	0,5	0,2	0,4	0,2	0,2
24,5	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
25,0	0,5	0,2	0,6	0,4	0,1
40,5	0,5	0,4	0,4	0,2	0,2
41,0	0,5	0,4	0,5	0,3	0,7
41,5	0,5	0,3	0,1	0,2	0,3
42,0	0,5	0,1	0,5	0,1	0,3
42,5	0,5	0,3	0,3	0,1	0,6
43,0	0,5	1,0	0,3	0,2	0,4
43,5	0,5	1,0	0,2	0,3	0,5
44,0	0,5	0,5	0,2	0,2	0,4
44,5	0,5	0,3	0,4	0,1	0,3
64,5	0,5	0,5	0,2	0,1	0,2
65,0	0,5	0,4	0,1	0,1	0,2
66,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,6
70,0	0,5	1,0	0,5	0,1	0,1
85,5	0,5	1,0	0,2	0,3	0,1
86,0	0,5	0,9	0,3	0,3	0,4
86,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,2
87,5	0,5	1,0	0,1	0,1	0,2
88,0	0,5	0,7	0,2	0,1	0,1
95,0	0,5	0,5	0,6	1,0	0,4
95,5	0,5	0,2	0,9	0,5	0,1
96,0	0,5	0,3	0,7	0,5	0,5
96,5	0,5	0,2	0,4	0,5	0,3
97,0	0,5	0,4	0,7	0,4	0,2
97,5	0,5	0,3	0,5	0,2	0,1

98,0	0,5	0,2	0,6	0,2	0,4
98,5	0,5	0,1	0,6	0,5	0,5
99,0	0,5	0,4	0,5	0,5	0,8
99,5	0,5	0,2	0,5	0,3	0,4
100,0	0,5	0,2	0,4	0,2	0,2
100,5	0,5	0,3	0,5	0,2	0,3
Promedio		0,39	0,42	0,25	0,30
Mediana		0,30	0,45	0,20	0,20
Desv. Estandar		0,28	0,19	0,18	0,18
Varianza		0,08	0,04	0,03	0,03

Menores < 0,1



Mayores > 0,9



Fuente: Elaboración propia

3.6.2.3. Evaluación de ahuellamiento kilómetro tres

Tabla 38 Evaluación de ahuellamiento kilómetro tres San Andrés

Distancia acumulada (m)	Distancia parcial (m)	Huella N°1 (cm)	Huella N°2 (cm)	Huella N°3 (cm)	Huella N°4 (cm)
0,0	0,5	0,1	0,5	0,1	0,6
0,5	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1
1,0	0,5	0,2	0,3	0,2	0,1
1,5	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2
2,0	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2
2,5	0,5	0,2	0,5	0,1	0,4
3,0	0,5	0,1	0,2	0,8	0,5
3,5	0,5	0,2	0,2	3,5	0,5
4,0	0,5	0,3	0,1	0,8	0,3
4,5	0,5	0,1	0,5	0,3	0,4
5,0	0,5	0,1	0,4	0,2	0,4
5,5	0,5	0,1	0,2	0,1	1,7
6,0	0,5	0,2	0,6	0,1	8,0
6,5	0,5	0,0	0,2	0,1	5,5
7,0	0,5	0,3	0,1	0,1	0,7
12,0	0,5	0,5	0,1	0,2	0,7
12,5	0,5	0,2	0,5	0,2	0,6
13,0	0,5	0,2	0,4	0,2	0,7
13,5	0,5	0,3	0,1	0,3	0,8
14,0	0,5	0,4	0,5	0,1	0,2
14,5	0,5	0,4	0,6	0,1	0,2

15,0	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2
15,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,3
16,0	0,5	0,1	0,5	0,2	0,2
16,5	0,5	0,3	0,5	0,2	0,4
17,0	0,5	0,3	0,1	0,1	0,2
17,5	0,5	1,0	0,2	0,2	0,2
36,0	0,5	0,6	0,2	1,8	0,0
39,5	0,5	0,1	0,1	0,7	0,2
40,0	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1
41,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0,7
46,0	0,5	0,3	0,2	2,5	0,1
56,0	0,5	0,4	0,1	0,1	0,5
56,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,5
57,0	0,5	0,2	0,3	0,2	0,2
57,5	0,5	0,1	0,2	0,2	0,5
58,0	0,5	0,4	0,1	0,2	0,1
58,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,3
61,0	0,5	0,1	0,3	0,7	0,2
61,5	0,5	0,7	0,4	0,1	0,3
81,5	0,5	0,3	0,3	0,7	0,4
89,0	0,5	0,0	1,1	0,2	1,1
89,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,3
90,0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,7
92,0	0,5	0,1	0,4	0,1	0,7
94,0	0,5	0,3	0,2	0,3	0,8
94,5	0,5	0,2	0,5	0,1	0,8
95,0	0,5	0,2	0,4	0,2	0,5
95,5	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4
96,0	0,5	0,1	0,2	0,3	0,6
96,5	0,5	0,1	0,2	0,1	0,6
97,0	0,5	0,2	0,2	0,1	0,5
97,5	0,5	0,7	0,5	0,1	0,2
98,0	0,5	0,5	0,2	0,2	0,4
99,5	0,5	0,7	0,1	0,1	0,4
100,0	0,5	0,5	0,2	0,2	0,4
100,5	0,5	1,0	0,5	0,2	0,5
101,5	0,5	0,4	0,2	0,4	0,1
Promedio		0,28	0,29	0,34	0,65
Mediana		0,20	0,20	0,20	0,40

Desv. Estandar	0,21	0,19	0,58	1,21
Varianza	0,05	0,03	0,33	1,47

Menores < 0,1



Mayores > 0,9



Fuente: Elaboración propia

3.6.2.4. Evaluación de ahuellamiento kilómetro cuatro

Tabla 39 Evaluación de ahuellamiento kilómetro cuatro San Andrés

Distancia acumulada (m)	Distancia parcial (m)	Huella N°1 (cm)	Huella N°2 (cm)	Huella N°3 (cm)	Huella N°4 (cm)
0,0	0,5	0,0	0,1	0,6	0,7
6,0	0,5	0,1	0,0	1,0	0,1
36,0	0,5	0,1	1,7	0,1	0,3
38,0	0,5	0,2	0,1	0,2	0,6
38,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0,8
39,0	0,5	0,2	0,2	0,3	0,1
39,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,3
40,0	0,5	0,2	0,1	0,2	0,1
41,0	0,5	0,1	0,2	0,7	1,8
63,0	0,5	0,0	0,4	0,1	1,0
72,0	0,5	0,8	0,1	0,1	0,1
72,5	0,5	1,0	0,1	0,2	0,0
73,0	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1
73,5	0,5	0,2	0,1	0,0	0,1
74,0	0,5	0,3	0,1	0,1	0,2
74,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1
83,5	0,5	0,2	0,1	0,3	0,1
84,0	0,5	0,1	0,2	0,1	0,2
84,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,1
85,0	0,5	0,3	0,0	0,1	0,1
85,5	0,5	0,4	0,1	0,2	0,1
86,0	0,5	0,2	0,1	0,3	0,3
86,5	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1
87,0	0,5	0,1	0,2	0,1	0,2
87,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,0
88,0	0,5	0,3	0,3	0,1	0,1
88,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1
89,0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2
89,5	0,5	0,2	0,1	0,0	0,1

90,0	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1
90,5	0,5	0,1	0,2	0,1	0,1
91,0	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2
91,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,1
92,0	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1
92,5	0,5	0,1	0,3	0,0	0,0
93,0	0,5	0,1	0,2	0,1	0,1
93,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2
94,0	0,5	0,1	0,3	0,1	0,2
94,5	0,5	0,1	0,2	0,0	0,1
95,0	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2
95,5	0,5	0,3	0,1	0,2	0,1
96,0	0,5	0,1	0,2	0,1	0,1
96,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2
97,0	0,5	0,1	0,1	0,2	0,1
97,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,1
98,0	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1
98,5	0,5	0,3	0,2	0,1	0,0
99,0	0,5	0,2	0,7	0,0	0,1
99,5	0,5	0,2	1,0	0,1	0,2
100,0	0,5	0,1	0,4	0,1	0,1
Promedio		0,21	0,21	0,17	0,21
Mediana		0,20	0,10	0,10	0,10
Desv. Estandar		0,16	0,27	0,17	0,30
Varianza		0,03	0,07	0,03	0,09

Menores < 0,1



Mayores > 0,9



Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Zona Avenida Colón

Avenida Colón Prog. 0+000 hasta 0+0100.

- Calle: avenida Colón.
- Intersección: Sin nombre.
- Ancho de la calzada: 7,50 m.
- Ancho del carril: 3,70 m.
- Longitud del tramo: 1,36 km.
- Pavimento: Flexible.
- Año de construcción: 2010.

- Vida útil: 20 años.
- Vida actual del pavimento: 12 años.
- Condición actual del pavimento: Presenta fallas y defectos, la circulación es defectuosa con vibraciones y dificultades para mantener la estabilidad.

Trabajo de mantenimiento: se realizó el sellado de fisuras y juntas transversales como longitudinales.

Figura 36 Avenida Colón



Fuente: Google Earth

3.6.3.1. Evaluación de ahuellamiento kilómetro uno

Tabla 40 Evaluación de ahuellamiento kilómetro uno av. Colón

Distancia parcial (m)	Distancia acumulada (m)	Huella N°1 (cm)	Huella N°2 (cm)	Huella N°3 (cm)	Huella N°4 (cm)
0,5	0,0	0,7	0,3	0,1	0,3
0,5	0,5	0,7	0,2	0,3	0,2
0,5	1,0	0,5	0,3	0,2	0,2
0,5	1,5	0,6	0,2	0,1	0,1
0,5	2,0	0,6	0,2	0,1	0,0
0,5	2,5	0,6	0,2	0,2	0,1
0,5	4,0	0,5	0,2	0,3	0,3
0,5	4,5	0,6	0,3	0,1	0,1
0,5	5,5	0,6	0,3	0,1	0,1

0,5	7,5	0,6	0,2	0,1	0,1
0,5	8,5	0,6	0,3	0,1	0,1
0,5	11,0	0,6	0,2	0,3	0,1
0,5	11,5	0,5	0,3	0,2	0,1
0,5	14,5	0,7	0,3	0,4	0,1
0,5	17,5	1,1	0,2	1,0	1,0
0,5	18,5	0,6	0,2	0,2	0,1
0,5	19,0	1,0	0,3	0,2	0,1
0,5	19,5	1,2	0,2	0,4	0,0
0,5	22,5	0,7	0,4	0,1	0,1
0,5	23,0	1,4	0,3	0,1	0,2
0,5	23,5	1,0	0,2	0,2	0,0
0,5	24,0	1,1	0,2	0,2	0,0
0,5	24,5	1,0	0,2	0,1	0,0
0,5	25,0	1,2	0,5	0,1	0,0
0,5	25,5	0,7	0,5	0,3	0,1
0,5	26,0	1,0	0,3	0,1	0,0
0,5	27,5	1,0	0,3	0,1	0,1
0,5	28,5	1,3	0,2	0,4	0,1
0,5	29,0	1,6	0,3	0,1	0,0
0,5	29,5	0,5	0,4	0,1	0,1
0,5	30,0	0,7	0,3	0,1	0,1
0,5	30,5	0,6	0,2	0,1	0,2
0,5	31,0	1,0	0,2	0,1	0,0
0,5	31,5	1,0	0,3	0,1	0,0
0,5	32,0	1,3	0,5	0,0	0,1
0,5	32,5	1,0	0,2	0,1	0,2
0,5	33,0	1,2	0,5	0,2	0,1
0,5	33,5	0,7	0,6	0,1	0,1
0,5	34,0	0,7	0,4	0,3	0,1
0,5	34,5	1,0	0,1	0,1	0,3
0,5	35,0	0,8	0,2	0,2	0,2
0,5	35,5	1,2	0,3	0,3	0,2
0,5	39,0	0,8	0,5	0,1	0,1
0,5	39,5	0,7	0,3	0,1	0,1
0,5	49,0	0,7	0,2	0,2	0,2
0,5	49,5	0,7	0,5	0,3	0,1
0,5	50,5	1,0	0,2	0,2	0,4
0,5	55,5	0,5	0,3	0,4	0,7

0,5	56,0	0,5	0,1	0,4	1,2
0,5	58,5	0,3	0,1	0,2	1,0
0,5	60,5	0,4	0,3	0,2	0,8
0,5	61,5	0,2	0,2	0,7	0,3
0,5	74,5	0,1	0,7	0,1	0,2
0,5	77,5	0,4	0,5	0,2	0,8
0,5	78,0	0,5	0,2	0,2	0,7
0,5	78,5	0,4	0,7	0,3	0,4
0,5	80,0	0,6	0,3	0,1	1,0
0,5	83,0	0,4	0,2	0,1	1,6
0,5	84,0	0,3	0,2	0,2	0,9
0,5	84,5	0,3	0,3	0,4	0,8
0,5	88,5	0,4	0,2	0,1	0,6
0,5	93,5	0,2	0,2	0,3	0,7
0,5	94,0	0,2	0,1	0,3	0,9
0,5	94,5	0,2	0,2	0,2	0,8
0,5	97,5	0,3	0,2	0,7	0,4
0,5	98,5	1,0	0,2	0,1	0,3
0,5	99,0	0,2	0,3	0,3	1,1
0,5	99,5	0,2	0,2	0,7	0,1
0,5	100,0	0,1	0,2	0,5	0,2
Promedio		0,69	0,28	0,23	0,32
Mediana		0,60	0,20	0,20	0,10
Desv. Estandar		0,34	0,13	0,18	0,36
Varianza		0,12	0,02	0,03	0,13

Menores < 0,1

Mayores > 0,9

Fuente: Elaboración propia

- **Promedio de la muestra**

$$x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

- **Mediana si n es impar**

$$Me = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}$$

- **Mediana si n es par**

$$Me = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)}}{2}$$

- **Desviación estándar**

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum(x_i - X)^2}{n - 1}}$$

- **Varianza**

$$Vx = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - X)^2}{n}$$

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS
OBTENIDOS

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. Criterios de selección aleatoria de datos

Tabla 41 Selección de kilómetro 3 San Jacinto

Distancia acumulada	Distancia parcial	Huella N°1 (cm)	Huella N°2 (cm)	Huella N°3 (cm)	Huella N°4 (cm)
(m)	(m)				
3,5	0,5	0,3	1,0	0,5	0,2
4,0	0,5	0,2	1,2	0,5	0,3
4,5	0,5	0,2	1,0	0,6	0,2
5,0	0,5	0,2	1,0	0,5	0,2
17,5	0,5	0,2	0,3	1,1	0,1
19,0	0,5	0,1	0,5	1,0	0,2
19,5	0,5	0,1	0,2	1,2	0,1
23,0	0,5	0,2	0,2	1,4	0,3
23,5	0,5	0,4	0,1	1,0	0,3
24,0	0,5	0,2	0,3	1,1	0,2
24,5	0,5	0,2	0,2	1,0	0,2
25,0	0,5	0,1	0,2	1,2	0,3
26,0	0,5	0,1	0,2	1,0	0,3
27,5	0,5	0,3	0,2	1,0	0,3
28,5	0,5	0,2	0,2	1,3	0,2
29,0	0,5	0,2	0,2	1,6	0,2
31,0	0,5	0,2	0,1	1,0	0,2
31,5	0,5	0,5	0,2	1,0	0,2
32,0	0,5	0,3	0,1	1,3	0,1
32,5	0,5	0,3	0,2	1,0	0,1
33,0	0,5	0,3	0,2	1,2	0,2
34,5	0,5	0,1	0,6	1,0	0,3
35,5	0,5	0,6	0,7	1,2	0,3
40,5	0,5	1,0	0,2	0,3	0,5
41,0	0,5	1,0	0,1	0,5	0,2
41,5	0,5	1,0	0,4	0,5	0,5
42,0	0,5	1,0	0,2	0,6	0,3
43,0	0,5	1,1	0,3	0,6	0,4
50,5	0,5	0,4	0,2	1,0	0,2
58,5	0,5	0,5	1,0	0,3	0,1
59,0	0,5	0,7	1,0	0,4	0,1
62,5	0,5	1,1	1,8	0,2	0,2

63,0	0,5	1,0	1,8	0,3	0,3
63,5	0,5	0,7	1,3	0,3	0,3
64,0	0,5	0,8	1,2	0,4	0,1
66,5	0,5	1,0	0,2	0,2	0,1
76,5	0,5	1,1	0,3	0,7	0,2
78,5	0,5	1,4	0,5	0,4	0,3
80,5	0,5	1,0	0,5	0,4	0,3
81,0	0,5	1,0	0,5	0,2	0,1
82,0	0,5	1,0	0,3	0,2	0,4
82,5	0,5	1,1	0,2	0,3	0,2
83,0	0,5	1,2	0,3	0,4	0,4
83,5	0,5	1,0	0,3	0,2	0,5
85,0	0,5	1,3	0,2	0,2	0,3
85,5	0,5	1,3	0,3	0,5	0,6
86,0	0,5	1,0	0,4	0,2	0,6
89,0	0,5	1,0	0,6	0,1	0,6
89,5	0,5	1,2	0,2	0,3	0,5
90,0	0,5	1,0	0,2	0,1	0,4
90,5	0,5	1,0	0,5	0,1	0,3
92,0	0,5	1,0	0,2	0,2	0,2
93,0	0,5	1,2	0,2	0,3	0,5
94,0	0,5	1,0	1,1	0,2	0,7
96,5	0,5	1,0	0,6	0,2	0,6
98,5	0,5	1,0	0,3	1,0	0,3
99,5	0,5	1,0	0,3	0,2	0,2
100,5	0,5	1,2	0,5	0,3	0,2

Menores < 0,1

Mayores > 0,9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42 Selección de kilómetro 1 San Andrés

Distancia acumulada (m)	Distancia parcial (m)	Huella N°1 (cm)	Huella N°2 (cm)	Huella N°3 (cm)	Huella N°4 (cm)
0,5	0,5	0,4	0,1	1,1	0,2
3,0	0,5	1,6	0,1	0,1	0,1
6,0	0,5	1,1	0,0	0,3	0,1
14,5	0,5	0,2	0,1	1,0	0,1
15,0	0,5	0,1	0,1	1,1	0,2
17,5	0,5	0,1	0,2	0,5	1,0

27,0	0,5	0,1	0,2	1,1	0,1
27,5	0,5	0,2	0,0	1,1	0,1
29,5	0,5	1,1	0,1	0,2	0,1
30,0	0,5	1,0	0,1	0,7	0,1
31,0	0,5	0,6	0,1	1,0	0,0
31,5	0,5	0,5	0,2	1,1	0,0
32,0	0,5	0,2	0,5	0,8	0,1
33,0	0,5	0,1	1,0	0,7	0,1
33,5	0,5	0,1	0,7	0,4	0,1
34,0	0,5	0,2	1,0	0,5	0,1
34,5	0,5	0,1	0,2	0,8	0,3
35,0	0,5	0,1	1,1	0,3	0,2
35,5	0,5	0,2	0,9	0,5	0,2
36,0	0,5	0,1	1,1	0,7	0,1
36,5	0,5	0,3	0,5	0,8	0,1
37,5	0,5	0,2	0,5	0,8	0,1
38,0	0,5	0,1	0,5	1,0	0,0
38,5	0,5	0,1	0,3	1,0	0,0
39,0	0,5	0,2	2,0	0,8	0,1
39,5	0,5	0,2	1,8	0,8	0,1
40,0	0,5	0,1	2,0	0,9	0,2
40,5	0,5	0,1	1,8	0,8	0,1
41,0	0,5	0,1	2,0	0,7	0,1
41,5	0,5	0,1	1,3	0,6	0,2
42,5	0,5	0,0	2,1	0,5	0,5
43,0	0,5	0,1	0,4	1,1	0,4
43,5	0,5	0,3	0,3	1,0	0,1
47,5	0,5	0,0	0,6	1,0	0,5
54,0	0,5	0,1	0,1	1,0	0,5
55,0	0,5	0,2	0,1	1,0	0,0
56,0	0,5	0,1	0,1	1,4	1,2
56,5	0,5	0,1	0,1	1,1	0,3
58,5	0,5	0,2	0,1	0,4	1,0
64,5	0,5	0,2	0,3	1,0	0,2
65,0	0,5	0,2	0,5	0,7	0,1
66,0	0,5	0,3	0,2	1,5	0,1
69,0	0,5	0,2	1,0	0,6	0,2
72,5	0,5	0,2	0,1	1,2	0,8
73,0	0,5	0,1	0,1	1,2	0,5

80,0	0,5	0,2	0,1	0,2	1,0
83,0	0,5	0,1	1,4	0,0	1,6
86,5	0,5	0,1	0,2	1,0	0,1
87,5	0,5	0,1	0,2	1,0	0,1
89,0	0,5	0,1	0,1	1,1	0,8
89,5	0,5	0,1	0,1	1,2	0,4
91,0	0,5	0,0	0,1	1,1	0,3
91,5	0,5	0,1	0,2	0,9	0,2
92,0	0,5	0,1	0,3	1,3	0,1
95,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1
96,0	0,5	0,2	0,1	1,0	0,3
96,5	0,5	0,2	0,1	1,0	0,1
97,5	0,5	0,1	1,8	0,4	0,4
98,0	0,5	0,1	1,8	0,5	0,5
99,0	0,5	0,1	0,3	0,6	1,1
101,0	0,5	0,1	0,7	0,4	0,1

Menores < 0,1



Mayores > 0,9



Fuente: Elaboración propia

Tabla 43 Selección de kilómetro 1 Av. Colón

Distancia parcial	Distancia acumulada	Huella N°1 (cm)	Huella N°2 (cm)	Huella N°3 (cm)	Huella N°4 (cm)
(m)	(m)				
0,5	0,0	0,7	0,3	0,1	0,3
0,5	0,5	0,7	0,2	0,3	0,2
0,5	14,5	0,7	0,3	0,4	0,1
0,5	17,5	1,1	0,2	1,0	1,0
0,5	19,0	1,0	0,3	0,2	0,1
0,5	19,5	1,2	0,2	0,4	0,0
0,5	22,5	0,7	0,4	0,1	0,1
0,5	23,0	1,4	0,3	0,1	0,2
0,5	23,5	1,0	0,2	0,2	0,0
0,5	24,0	1,1	0,2	0,2	0,0
0,5	24,5	1,0	0,2	0,1	0,0
0,5	25,0	1,2	0,5	0,1	0,0
0,5	25,5	0,7	0,5	0,3	0,1
0,5	26,0	1,0	0,3	0,1	0,0
0,5	27,5	1,0	0,3	0,1	0,1
0,5	28,5	1,3	0,2	0,4	0,1

0,5	29,0	1,6	0,3	0,1	0,0
0,5	29,5	0,5	0,4	0,1	0,1
0,5	30,0	0,7	0,3	0,1	0,1
0,5	30,5	0,6	0,2	0,1	0,2
0,5	31,0	1,0	0,2	0,1	0,0
0,5	31,5	1,0	0,3	0,1	0,0
0,5	32,0	1,3	0,5	0,0	0,1
0,5	32,5	1,0	0,2	0,1	0,2
0,5	33,0	1,2	0,5	0,2	0,1
0,5	33,5	0,7	0,6	0,1	0,1
0,5	34,0	0,7	0,4	0,3	0,1
0,5	34,5	1,0	0,1	0,1	0,3
0,5	35,0	0,8	0,2	0,2	0,2
0,5	35,5	1,2	0,3	0,3	0,2
0,5	39,0	0,8	0,5	0,1	0,1
0,5	39,5	0,7	0,3	0,1	0,1
0,5	49,0	0,7	0,2	0,2	0,2
0,5	49,5	0,7	0,5	0,3	0,1
0,5	50,5	1,0	0,2	0,2	0,4
0,5	55,5	0,5	0,3	0,4	0,7
0,5	56,0	0,5	0,1	0,4	1,2
0,5	58,5	0,3	0,1	0,2	1,0
0,5	60,5	0,4	0,3	0,2	0,8
0,5	77,5	0,4	0,5	0,2	0,8
0,5	78,0	0,5	0,2	0,2	0,7
0,5	80,0	0,6	0,3	0,1	1,0
0,5	83,0	0,4	0,2	0,1	1,6
0,5	84,0	0,3	0,2	0,2	0,9
0,5	84,5	0,3	0,3	0,4	0,8
0,5	93,5	0,2	0,2	0,3	0,7
0,5	94,0	0,2	0,1	0,3	0,9
0,5	94,5	0,2	0,2	0,2	0,8
0,5	98,5	1,0	0,2	0,1	0,3
0,5	99,0	0,2	0,3	0,3	1,1
0,5	100,0	0,1	0,2	0,5	0,2

Menores < 0,1



Mayores > 0,9



Fuente: Elaboración propia

4.2. Estadística descriptiva

- Promedio de la muestra

$$x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

- Mediana si n es impar

$$Me = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}$$

- Mediana si n es par

$$Me = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)}}{2}$$

- Desviación estándar

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum(x_i - X)^2}{n - 1}}$$

- Varianza

$$Vx = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - X)^2}{n}$$

Tabla 44 Datos estadísticos de kilómetro 3 San Jacinto

	Huella 1 (cm)	Huella 2 (cm)	Huella 3 (cm)	Huella 4 (cm)
Promedio	0,703	0,471	0,621	0,288
Mediana	1,000	0,300	0,500	0,300
Desv. Estandar	0,414	0,406	0,411	0,150
Varianza	0,174	0,168	0,172	0,023

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45 Datos estadísticos de kilómetro 1 San Andrés

	Huella 1 (cm)	Huella 2 (cm)	Huella 3 (cm)	Huella 4 (cm)
Promedio	0,226	0,561	0,798	0,293
Mediana	0,100	0,200	0,800	0,100
Desv. Estandar	0,284	0,625	0,339	0,338
Varianza	0,082	0,397	0,117	0,116

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46 Datos estadísticos de kilómetro 3 Av. Colón

	Huella 1 (cm)	Huella 2 (cm)	Huella 3 (cm)	Huella 4 (cm)
Promedio	0,767	0,284	0,216	0,361
Mediana	0,700	0,300	0,200	0,200
Desv. Estandar	0,355	0,121	0,159	0,399
Varianza	0,128	0,015	0,026	0,162

Fuente: Elaboración propia

4.3. Estadística inferencial

- **Media**

$$x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

- **Error medio cuadrático**

$$Ex = \sqrt{\frac{\sum(x_i - X_m)^2}{n - 1}}$$

- **Error medio de la media**

$$Em = \sqrt{\frac{\sum(x_i - X_m)^2}{n(n - 1)}}$$

- **Error probable**

$$Ep = C_p * E_m$$

- **Precisión**

$$P = \frac{1}{\frac{X_m}{E_p}}$$

- **Valor aceptado**

$$X_a = X_m \pm E_p$$

Tabla 47 Estadística inferencial de kilómetro 3 San Jacinto

Media	0,703	0,471	0,621	0,288
Error medio cuadrático	0,418	0,410	0,415	0,151
Error medio de la media	0,055	0,054	0,054	0,020
Error probable	0,110	0,108	0,109	0,040
Precision	0,156	0,229	0,175	0,138
Valor aceptado	0,813	0,578	0,730	0,328

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48 Estadística inferencial de kilómetro 1 San Andrés

Media	0,226	0,561	0,798	0,293
Error medio cuadrático	0,286	0,630	0,342	0,341
Error medio de la media	0,037	0,081	0,044	0,044
Error probable	0,073	0,161	0,088	0,087
Precisión	0,324	0,288	0,110	0,297
Valor aceptado	0,300	0,722	0,886	0,381

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49 Estadística inferencial de kilómetro 3 Av. Colón

Media	0,767	0,284	0,216	0,361
Error medio cuadrático	0,853	0,312	0,271	0,543
Error medio de la media	0,119	0,044	0,038	0,076
Error probable	0,239	0,087	0,076	0,152
Precisión	0,312	0,307	0,351	0,422
Valor aceptado	1,006	0,372	0,291	0,513

Fuente: Elaboración propia

4.4. Prueba

Paso 1:

Plantear Hipótesis Nula (Ho) e Hipótesis Alternativa (Hi).

La Hipótesis alternativa plantea matemáticamente lo que queremos demostrar.

$$x \geq \mu$$

La Hipótesis nula plantea exactamente lo contrario.

$$x < \mu$$

Paso 2:

Determinar Nivel de Significancia. (Rango de aceptación de hipótesis alternativa).

- 0.05 para proyectos de investigación.

- 0.01 para aseguramiento de calidad.

- 0.10 para encuestas de mercadotecnia y políticas.

Paso 3:

Evidencia de la Muestra. Se calcula la media y la desviación estándar a partir de la muestra.

- **Media**

$$x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

- **Desviación estándar**

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i - X)^2}{n - 1}}$$

Tabla 50 Media y desviación estándar kilómetro 3 San Jacinto

	Huella 1 (cm)	Huella 2 (cm)	Huella 3 (cm)	Huella 4 (cm)
Promedio	0,703	0,471	0,621	0,288
Desv. Estandar	0,414	0,406	0,411	0,150

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51 Media y desviación estándar kilómetro 1 San Andrés

	Huella 1 (cm)	Huella 2 (cm)	Huella 3 (cm)	Huella 4 (cm)
Promedio	0,226	0,561	0,798	0,293
Desv. Estandar	0,284	0,625	0,339	0,338

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52 Media y desviación estándar kilómetro 1 Av. Colón

	Huella 1 (cm)	Huella 2 (cm)	Huella 3 (cm)	Huella 4 (cm)
Promedio	0,767	0,284	0,216	0,361
Desv. Estandar	0,355	0,121	0,159	0,399

Fuente: Elaboración propia

Paso 4:

Se aplica la Distribución Normal para calcular la probabilidad de error (P) por medio de la fórmula:

$$Z = \frac{\mu - X_m}{S_x}$$

Donde:

X_m=Media de la muestra.

μ= Valor a analizar según el problema.

S_x= Desviación estándar.

Tabla 53 Variable reducida kilómetro 3 San Jacinto

Huella 1 (cm)		Huella 2 (cm)		Huella 3 (cm)		Huella 4 (cm)	
Orden estadístico	$ z=(x-X)/s $	Orden estadístico	$ z=(x-X)/s $	Orden estadístico	$ z=(x-X)/s $	Orden estadístico	$ z=(x-X)/s $
1,4	1,68	1,8	3,27	1,6	2,38	0,7	2,75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54 Variable reducida kilómetro 1 San Andrés

Huella 1 (cm)		Huella 2 (cm)		Huella 3 (cm)		Huella 4 (cm)	
Orden estadístico	$ z=(x-X)/s $	Orden estadístico	$ z=(x-X)/s $	Orden estadístico	$ z=(x-X)/s $	Orden estadístico	$ z=(x-X)/s $
1,6	4,84	1,8	2,46	1,6	2,07	0,7	3,87

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55 Variable reducida kilómetro 1 Av. Colón

Huella 1 (cm)		Huella 2 (cm)		Huella 3 (cm)		Huella 4 (cm)	
Orden estadístico	$ z=(x-X)/s $	Orden estadístico	$ z=(x-X)/s $	Orden estadístico	$ z=(x-X)/s $	Orden estadístico	$ z=(x-X)/s $
1,6	2,35	0,5	1,78	0,5	1,79	1,2	2,10

Fuente: Elaboración propia

Figura 37 Valores de Z para pruebas de una cola

Valores de Z para Pruebas de Hipótesis de una cola.	
Nivel de Significancia (α)	Z
0.01	2.33
0.05	1.645
0.10	1.28

Fuente: <http://matepedia-estadistica.blogspot.com/p/prueba-de-hipotesis-distribucion-normal.html>

Paso 5:

Se buscan las regiones de aceptación o rechazo.

Conclusión:

$$0.703 < 1.6$$

Se acepta la Hipótesis Nula.

4.5. Alternativas de solución

Como las alternativas de solución a futuro a través del método PCI el pavimento evaluado se encuentra en excelente estado, se plantea la siguiente:

Curado de los deterioros existentes

Una vez realizada la evaluación superficial del pavimento se prevea el tipo de conservación más adecuado para mejorar las condiciones superficiales del pavimento el curado y reparación de las fallas es una forma de conservación.

Recapamiento de la capa de la rodadura existente

Para llevar adelante un recapamiento o reformación de la capa de rodadura existente se deben incluir a la evaluación superficial una evaluación de carácter estructural este proyecto no contempla dicha evaluación por lo que no se realizara reforzamiento o recapamiento.

Mejoramiento del drenaje superficial

En el presente proyecto no establece ningún estudio ni mejoramiento de drenaje superficial.

Prohibición del tránsito de vehículos pesados

La prohibición del tránsito de vehículos pesados en una media aconsejable para esta vía ya que disminuirán los efectos de las cargas sobre el pavimento, pero en este proyecto no se tomarán en cuenta esta medida.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se hizo la identificación de los tramos correspondientes a esta evaluación en base a el alcance definido anteriormente, como ser:

El tramo San Jacinto, kilómetro 3, huella 1, el cual tiene 58 mediciones, de las cuales el 5,2 % están entre 0,5 cm y 0,6 cm de profundidad, 5,2 % están entre 0,7 cm y 0,8 cm de ahuellamiento, el 32,7 % están entre 0,9 cm y 1 cm de profundidad y 19 % es mayor a 1 cm de profundidad.

En San Andrés, kilómetro 1, huella 3, del cual se obtuvo 60 mediciones de ahuellamiento, 13.3 % están entre 0,5 cm y 0,6 cm de profundidad, 20 % están entre 0,7 cm y 0,8 cm, un 25 % de las mediciones están entre 0,9 cm y 1 cm de profundidad y 25 % son mayores de 1 cm.

En cuanto a la Av. Colon, en este tramo se detalla la huella 1 del kilómetro 1, el cual cuenta con 51 mediciones de las cuales, 9.8 % corresponde con ahuellamiento de 0,5 cm a 0,6 cm, 25.5 % están entre 0,7 cm y 0,8 cm, un 21.5 % de las mediciones están entre 0,9 cm y 1 cm de profundidad de ahuellamiento y 25 % es mayor de 1 cm de profundidad.

De lo anterior, podemos concluir que el tramo con mayor ahuellamiento es la zona de San Andrés, ya que tiene una mayor numero de mediciones que superan 1 cm de profundidad. Debido a las altas temperaturas, y alto tráfico, produciendo el debilitamiento de la carpeta asfáltica y la consecuente falla de la misma por deformación plástica.

- Se determinó el numero confiable de mediciones a través de métodos estadísticos como ser la confianza al 95 %, la desviación estándar y el error máximo tolerable de 5 %, el cual nos da un numero confiable de mediciones de 385 mediciones. Las unidades de muestra fueron convenientemente definidas por una longitud de 100 m por cada kilómetro en estudio del pavimento, solamente para la inspección del mismo.
- Se realizó las mediciones correspondientes para cada kilómetro y huella de cada tramo en análisis, zona de San Jacinto, zona San Andrés y avenida Colon, de los

cuales denominamos el ahuellamiento como “Bajo (L)” con profundidad de 6 mm a 13 mm. “Moderado (M)” con profundidad que van desde 13 mm hasta 25 mm. “Alto (H)” con profundidad mayor de 25 mm. En base a esto podemos decir que la huella 1 del kilómetro 1 de la avenida Colon es la que tiene menor ahuellamiento ya que el nivel de severidad es “Bajo (L)” y su índice de condición de pavimento es excelente.

- Una compactación eficiente de la mezcla asfáltica, con el equipo de construcción adecuado y a una temperatura dentro del rango de compactación, ayuda a prevenir la formación de ahuellamiento. Evitar la segregación del contenido asfáltico durante el transporte y el extendido del mismo es un factor favorable para la estabilidad de la mezcla evitando su deformación. Una compactación eficiente implica utilizar equipos de compactación (rodillos lisos y neumáticos) con espesor de la capa asfáltica, número de pasadas necesarias que permitan alcanzar la densidad de compactación según lo establecido por el diseño Marshall. Asimismo, la temperatura de compactación de la mezcla asfáltica no debe ser menor a los 110°C y en lo posible debe colocarse a una temperatura uniforme para evitar segregación por temperatura.

5.2. Recomendaciones

Ante la necesidad de evitar por lo menos en parte que se produzcan fallas por deformación permanente en los pavimentos asfálticos, el autor, como resultado de la investigación bibliográfica, recomienda se tomen las siguientes acciones:

- a) Se recomienda cuidado en la selección, diseño y verificación de la calidad de los materiales con que se fabrican las mezclas asfálticas en nuevos pavimentos considerando que éstos conforman el esqueleto estructural del pavimento en su conjunto y por lo tanto su respuesta para resistir las cargas de los vehículos es determinante para una mayor durabilidad del mismo, evitando de esta manera la falla por deformación permanente
- b) En cuanto a los cementos asfálticos utilizados en Bolivia es conveniente tener en cuenta la normativa vigente de la A.B.C. También existe la necesidad de realizar estudios de investigación referidos al uso de asfaltos modificados.

- c) Es importante que las instituciones públicas de la provincia Cercado que se dedican a estas actividades, adquieran equipos de laboratorio de última generación, que permitan mejorar la selección de los materiales y efectuar los diseños más convenientes, que aseguren un mejor comportamiento del pavimento ante las deformaciones permanentes.
- d) Se recomienda que la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho que cuenta con la Facultad de Ciencias y Tecnología, incluya cursos especializados de ingeniería de pavimentos, así como adquirir equipos de laboratorio y de campo de última generación que les permita formar profesionales en esta especialidad a través de trabajos de investigación en laboratorios.
- e) Se recomienda la capacitación a nivel departamental de los profesionales de la actividad pública que trabajan en esta especialidad de la Ingeniería Civil; esto puede lograrse con la decisión política del estado a través de sus funcionarios, el mismo que debe invertir para mejorar esta tecnología que tanto requiere el país. Igual actitud debe tomar la empresa privada, ya que de esta manera los proyectos y obras serán mejor manejadas y los resultados definitivamente favorecerán al desarrollo del país.