

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Una carretera es un elemento fundamental para el desarrollo de un país, ya que no solo fomenta el crecimiento económico, sino que también integra a las comunidades alejadas con las principales ciudades. Las carreteras se definen como vías de transporte vehicular de uso y dominio público pudiendo ser de distintas categorías y bajo distintas reglamentaciones, en nuestro país la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras), establece los tipos de carreteras y normas que deben seguir en cada caso.

El pavimento es una parte fundamental en una carretera debido a que brinda mayor eficiencia y comodidad a los usuarios además de mayor seguridad al circular por una ruta ya sea de la red fundamental, departamental o municipal. Una de las principales características que debe cumplir un pavimento es disponer de una superficie que asegure una buena adherencia con los neumáticos del vehículo principalmente en zonas de frenado, curvas y en condiciones adversas como por ejemplo cuando el pavimento se encuentra mojado.

La resistencia al deslizamiento en una carretera disminuye por distintos factores lo cual genera mayor probabilidad de accidentes poniendo en riesgo la vida de los usuarios, por tanto es importante evaluar la incidencia de las características del pavimento con referencia a su resistencia al deslizamiento en los vehículos que circulan en tramos específicos afectando directamente a la accidentabilidad, cuya valoración debe realizarse a través del índice respectivo.

El tráfico tiene tres elementos fundamentales que son: el usuario, el vehículo y la vía, estos son elementos de estudio para mejorar la transitabilidad y generar condiciones más óptimas a los usuarios, también es importante brindar seguridad vial en las carreteras por lo que existen varias reglamentaciones y campañas de concientización para disminuir el riesgo de accidentes de tránsito debido al desconocimiento o irresponsabilidad de los conductores o peatones que circulan por una vía.

Es necesario realizar la evaluación de los accidentes en carreteras ocasionados por el fallo de la resistencia al deslizamiento, principalmente en zonas propensas a condiciones meteorológicas extremas y en carreteras sinuosas que pongan en riesgo la vida de los usuarios por la poca o nula adherencia con el pavimento.

En este proyecto se pretende analizar y estimar el índice de accidentabilidad debido al coeficiente de resistencia al deslizamiento en una carretera y conocer los principales factores que inciden para disminuir la adherencia entre pavimento y neumático.

Los resultados que se puedan obtener en esta investigación aplicada, permitirán establecer la metodología específica para la evaluación de la resistencia al deslizamiento en diferentes tramos de estudio y su correlación con la accidentabilidad en los mismos tramos, lo cual permita plantear posibles acciones en casos desfavorables.

1.2. Justificación del proyecto de aplicación

Se eligió el presente tema porque en nuestro medio, los accidentes son muy comunes y se incrementan todos los días. Los factores que influyen son varios, pero es importante conocer cuántos de estos son ocasionados por la falla de adherencia entre el pavimento y neumático, lo cual se denomina falla por la resistencia al deslizamiento.

Por lo tanto, se pretende estimar el índice de accidentabilidad debido al coeficiente de resistencia al deslizamiento y saber los principales factores que inciden en este como ser: problemas meteorológicos, el poco mantenimiento de las carreteras, escasa señalización, factores humanos entre otros, a fin de evaluar los indicadores encontrados.

La falla del coeficiente de resistencia al deslizamiento es un problema que afecta al usuario de vehículos livianos, medianos y pesados por lo cual la presente investigación debe ser dirigida a todos los que circulen por la vía en estudio, así como a las comunidades o población cercana a la zona de influencia.

Esta investigación se pretende realizar en un tramo carretero perteneciente a la red fundamental del departamento de Tarija.

Si bien la reducción del coeficiente de fricción no es el único problema de accidentabilidad en carreteras, es un tema importante debido a la escasa información que se tiene en nuestro medio y el peligro que representan las carreteras, ya que nos

encontramos en zonas montañosas donde se presentan vías sinuosas, sumado a los factores climáticos extremos, el poco o nulo mantenimiento de la vía y el poco conocimiento de seguridad vial de muchos conductores hacen que sea un tema de estudio y preocupación para todos los usuarios.

Los resultados obtenidos servirán tanto a los usuarios de la vía en estudio como a los pobladores de zonas aledañas, debido a que se pretende elaborar recomendaciones en base al estudio que coadyuven a reducir el índice de accidentabilidad en el tramo carretero solicitado.

Con este proyecto se pretende realizar un aporte académico en relación al estudio de los factores que inciden para la reducción del coeficiente de rozamiento en carreteras y su correlación con la accidentabilidad, además de plantear posibles soluciones para reducir el índice de accidentes.

La resistencia al deslizamiento y la accidentabilidad están muy relacionadas, ya que son muchos los factores que pueden afectar y/o contribuir a la reducción del coeficiente mencionado y con ello ocasionar accidentes, los cuales en su mayoría pueden resultar fatales.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

La accidentabilidad en carreteras es un tema de suma preocupación ya que según estudios realizados en nuestro medio la mayor parte de los accidentes en carreteras departamentales o interprovinciales termina en consecuencias fatales o con alguna incapacidad permanente para el conductor y/o pasajeros, mientras que en las ciudades los siniestros no tienen una tasa de mortandad tan alta.

Según la Dirección Nacional de Tránsito de la Policía Boliviana y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), al menos 1.420 personas promedio mueren cada año en accidentes automovilísticos en Bolivia y según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en América se producen 15,6 muertes en accidentes viales por cada 100.000 habitantes.

La mayor parte de los accidentes se genera por causas humanas como el consumo de alcohol, exceso de velocidad, impericia de los conductores, falta de experiencia, inobservancia de las normas de tránsito, distracciones, problemas mecánicos, imprudencia, además de cansancio al momento de conducir.

Un factor muy importante que ocasiona múltiples accidentes de tránsito es el mal tiempo, el cual es causante de muchos accidentes, debido a que la lluvia empeora el estado de las carreteras y pese a extremar las precauciones, nunca se está del todo seguro si se conduce durante una tormenta fuerte o posterior a una nevada y más si se trata de una carretera sinuosa o montañosa.

Estos problemas mencionados pueden ser evitados o reducidos si existe conciencia de los conductores que utilicen la vía, pero hay otros factores como el poco mantenimiento de la misma, el desgaste de la carpeta asfáltica, la formación de grietas o huecos sobre la superficie pavimentada e inclusive la presencia de animales sobre la carretera, que exceden la responsabilidad de los usuarios por lo cual esto debe ser controlado por las autoridades competentes.

Los organismos de tránsito son los responsables de realizar campañas de concientización y controles a los usuarios de las carreteras, a fin de reducir el número de accidentes.

1.3.2. Problema

A través de la información obtenida de mediciones en campo del coeficiente de resistencia al deslizamiento en carreteras con pavimentos construidos y los accidentes que se presentan en el área de estudio, se podrá correlacionar de manera que se obtenga una relación directa o indirecta entre estos parámetros para establecer que influencia tienen las condiciones del pavimento en la resistencia al deslizamiento para ocasionar accidentes.

1.4. Objetivos del proyecto de aplicación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el índice de accidentabilidad debido al coeficiente de resistencia al deslizamiento en algunos puntos críticos del tramo Padcaya – La Mamora.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar los aspectos teóricos necesarios sobre las metodologías para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento y el índice de accidentabilidad.
- Determinar los segmentos de estudio para evaluar el índice de accidentabilidad y sus características.
- Aplicar una metodología específica para estimar el coeficiente en estudio.
- Determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en los puntos elegidos y la textura superficial del pavimento.
- Calcular el índice de fricción internacional y clasificar los resultados obtenidos.
- Obtener y analizar los datos de accidentabilidad en los puntos críticos del tramo elegido.
- Evaluar los resultados obtenidos de la estimación realizada y su correlación con la accidentabilidad.
- Plantear las conclusiones y recomendaciones obtenidas del análisis efectuado.

1.5. Hipótesis

Si se evalúa el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el tramo de estudio, entonces se puede determinar el índice de accidentabilidad correlacionada con el parámetro evaluado y planear soluciones que permitan reducir los accidentes de tránsito.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente

- Accidentabilidad en carreteras.

1.6.2. Variable dependiente

- Accidentabilidad en carreteras en función al coeficiente de resistencia al deslizamiento.

1.6.3. Conceptualización de variables

Variable	Concepto	Medición	Unidad
Independiente	Accidentabilidad en carreteras.	Reporte del Organismo de tránsito del tipo y causa del accidente.	Número de accidentes en carreteras departamentales.
Dependiente	Accidentabilidad en carreteras en función al coeficiente de resistencia al deslizamiento.	Medición del coeficiente de resistencia al deslizamiento en la carretera e identificación de los parámetros que afectan a la reducción de este.	Coeficiente de resistencia al deslizamiento. Factores de incidencia que ocasionan la reducción del coeficiente medido.

1.7. Alcance

El alcance de este proyecto es conocer los parámetros fundamentales de una vía, además de todos los aspectos relacionados a la seguridad vial y la accidentabilidad en carreteras. También demostrar la correlación entre el coeficiente de resistencia al deslizamiento y los accidentes suscitados, y conocer cuáles pueden ser los principales factores para la pérdida o reducción del coeficiente ya mencionado.

Se pretende emplear una metodología que abarque todos los aspectos importantes de una carretera a fin de obtener resultados satisfactorios y realizar un análisis correcto del problema planteado. Para ello se empleará el péndulo británico para la obtención del coeficiente de resistencia al deslizamiento en diversos puntos del tramo elegido y se realizará un estudio de accidentabilidad en algunas zonas críticas del lugar, también se realizará el ensayo de la mancha de arena, esto a fin de poder obtener todos los datos necesarios para calcular el índice de fricción internacional y poder clasificar el estado de la vía.

Finalmente se plantearán algunas conclusiones y recomendaciones en base al estudio realizado.

En resumen, el trabajo a realizar abarca desde conocer primeramente todo el aspecto teórico relacionado a las vías departamentales, la seguridad vial en una carretera y la accidentabilidad en las mismas, y principalmente saber cuál es la correlación que existe entre el coeficiente de resistencia al deslizamiento y la accidentabilidad en carreteras. Para ello se tomará la muestra del coeficiente en estudio con el péndulo británico y de la mancha de arena siguiendo todos los parámetros tipificados por la ABC, en el manual de ensayo de suelos y materiales asfaltos, además se realizará un estudio de accidentabilidad con los datos provistos por el organismo de tránsito del departamento de Tarija, todo ello dentro del segmento solicitado, el cual consta de cuatro puntos críticos ubicados dentro del tramo Padcaya – La Mamora. Los puntos de estudio y sus respectivas coordenadas UTM son las siguientes:

- Puente Phayo ($X=325109,927$ - $Y=7573832,610$ - $Z=1890$).
- Puente Orozas ($X=325489,406$ - $Y=7573252,368$ - $Z=1873$).
- Puente Campanario ($X=328687,724$ - $Y=7564132,490$ - $Z=1557$).
- Comunidad de Río Negro ($X=327525,900$ - $Y=7554066,501$ - $Z=1396$).

En cada punto de estudio que consta de 1 km se realizara la demarcación cada 100 m obteniendo con ello 11 demarcaciones por cada uno de los 4 puntos críticos, las mediciones del coeficiente de resistencia al deslizamiento y la textura superficial se realizaran en ambos sentidos de la vía obteniendo con ello 22 mediciones a efectuar en cada punto haciendo un total de 88 mediciones a realizar para cada ensayo.

Posterior a ello se realizará el análisis correspondiente para conocer el estado actual de la vía en estudio y en caso de ser necesario plantear posibles soluciones que permitan disminuir principalmente la accidentabilidad en la zona.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN
TEÓRICA

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Introducción

En la medida en que la sociedad se ha venido tornando más compleja, se ha incrementado la necesidad de unir las distintas actividades que se llevan a cabo en lugares (separados-orígenes) y destinos, en busca de una utilidad o beneficio, mediante el transporte de una persona y mercancías sobre diversos medios de comunicación. El transporte es útil en dos aspectos: utilidad de lugar y de tiempo; términos económicos que significan contar con los pasajeros o mercancías en un lugar específico en el momento oportuno. El éxito en satisfacer esta necesidad, ha sido y será uno de los principales contribuyentes en la elevación del nivel de vida de las sociedades de todos los países del mundo.

La velocidad, el costo y la capacidad del sistema de transporte disponible, tienen un impacto significativo en la vitalidad económica de una región y en la habilidad en el uso de sus recursos naturales. Las sociedades más desarrolladas e industrializadas se distinguen por poseer servicios de transporte de alta calidad.

Si determinada área, urbana o rural, desea crecer y prosperar, será necesario planear, estudiar, proyectar, construir, operar, conservar y administrar nuevos sistemas lo suficientemente amplios, tanto para el transporte público como privado, que permitan conectar e integrar las actividades que se desarrollan en los diferentes lugares de la región, mediante la movilización de personas y mercancías. Estos sistemas, al igual que los recursos existentes, deberán ser manejados de tal manera que se produzca el máximo flujo libre de tránsito, aún más si se desea mantener un nivel de amenidad más o menos razonable. Los nuevos sistemas deberán ser planeados manteniendo un uso económico y eficiente del suelo, y a la vez contribuyan estéticamente al medio ambiente, tanto de los usuarios como de los circundantes.

La ingeniería de tránsito es un subconjunto de la ingeniería de transporte, y a su vez el proyecto geométrico es una etapa de la ingeniería de tránsito.

El sistema de transporte de una región está estrechamente relacionado con su sistema socioeconómico. En efecto, el sistema de transporte usualmente afecta la manera en que los sistemas socioeconómicos crecen y cambian y, a su vez, estos generan cambios en el sistema de transporte.

En este marco del sistema global de transporte, se puede concluir, que la sociedad utiliza el transporte como un servicio (necesidades), que se presta mediante la unión de los múltiples lugares donde se llevan a cabo las distintas actividades (beneficios). Es así, como en cada lugar donde la civilización ha encontrado un uso del suelo, el transporte forma parte de la economía que encierra una región, una nación y, porque no decirlo, el mundo entero.

La ingeniería de tránsito analiza en forma pormenorizada lo siguiente:

- **Características del tránsito:** Se analizan los diversos factores y las limitaciones de los vehículos y los usuarios como elementos de la corriente de tránsito. Se investiga la velocidad, el volumen y la densidad; el origen y destino del movimiento; la capacidad de las calles y carreteras; el funcionamiento de pasos a desnivel, terminales, intersecciones canalizadas; se analizan los accidentes, etc. Así se pone en evidencia la influencia de la capacidad y las limitaciones del usuario en el tránsito; se estudia al usuario particularmente desde el punto de vista psíquico-físico, indicándole la rapidez de las reacciones para frenar, acelerar, maniobrar, además de su resistencia al cansancio, etc., empleando en todo esto, métodos modernos e instrumentos psicotécnicos, así como la metodología estadística.
- **Reglamentación del tránsito:** La técnica debe establecer las bases para los reglamentos del tránsito; debe señalar sus objeciones, legitimidad y eficacia, así como sanciones y procedimientos para modificarlos y mejorarlos. Por ejemplo, deben ser estudiadas las reglas en materia de licencias; responsabilidad de los conductores; peso y dimensiones de los vehículos; accesorios obligatorios y equipo de iluminación, acústicos y señalamiento; revista periódica; comportamiento de la circulación, etc. Igual atención se da a otros aspectos, tales como: prioridad del paso; tránsito en un sentido; zonificación de la velocidad;

limitaciones en el tiempo de estacionamiento; control policial en las intersecciones; procedimiento legal y sanciones relacionadas con accidentes; peatones y transporte público.

- Señalamiento y dispositivos de control: Este aspecto tiene por objeto determinar los proyectos, construcción, conservación y uso de las señales, iluminación, dispositivos de control, etc. Los estudios deben complementarse con investigaciones de laboratorio. Aunque el técnico en tránsito no es responsable de la fabricación de estas señales y semáforos, a él incumbe señalar su alcance, promover su empleo y juzgar su eficiencia.
- Planificación vial: Es indispensable, en la ingeniería de tránsito, realizar investigaciones y analizar los diferentes métodos, para planificar la vialidad de un país, en una municipalidad o en una pequeña área, para poder adaptar el desarrollo de las calles y carreteras a las necesidades del tránsito. Parte de esta investigación está dedicada exclusivamente a la planificación de la vialidad urbana, que permite conocer los problemas que se presentan al analizar el crecimiento demográfico, las tendencias al aumento en el número de vehículos y la demanda de movimiento de una zona a otra.
- Administración: Es necesario examinar las relaciones entre las distintas dependencias públicas que tienen competencia en material vial y su actividad administrativa al respecto. Deben considerarse los distintos aspectos tales como: económico, político, fiscal, de relaciones públicas, de sanciones, etc.

2.2. Elementos de tránsito

Los elementos básicos del tránsito son, indiscutiblemente, el elemento humano, el vehículo y la vía.

Siempre que se trate de la planeación, estudio, proyecto y operación de un sistema de transporte automotor, el ingeniero debe conocer las habilidades, limitaciones y requisitos que tiene el usuario, como elemento de la ingeniería de tránsito.

2.2.1. El usuario

El conductor, junto con el motociclista, el ciclista y el peatón constituyen el elemento humano activo del tránsito. El elemento humano pasivo es el pasajero, pero como su

influencia directa en el tránsito es prácticamente nula se recomienda solo tomarlo en cuenta cuando se haga referencia a los vehículos de alta capacidad y al transporte colectivo.

El elemento humano activo le imprime a la ingeniería de tránsito características especiales que la distinguen de la mayoría de las otras ingenierías. No solamente las reacciones humanas varían de un individuo a otro, sino que el medio en que viven ejerce influencias significativas en estas reacciones.

El ingeniero de tránsito debe conocer hasta donde sea posible las características físicas y mentales del conductor, para comprender mejor su papel en el mecanismo de tránsito, a fin de reglamentarlo bien y establecer normas acertadas para diseñar los elementos de la vía cuya instalación, construcción y modificación tengan que ver con el tránsito.

La tarea de conducir exige que el conductor domine su vehículo, lo guíe por la vía a la velocidad que quiera y pueda ir, obedeciendo las reglas de tránsito, y teniendo en cuenta a los peatones y demás vehículos, además oriente su vehículo hacia donde requiera. Para ello depende en gran parte de su experiencia y sus condiciones físicas y mentales. La vista del conductor es uno de los principales factores humanos que debe tener en cuenta el ingeniero de tránsito, ya que el conductor se guía principalmente por sus percepciones visuales y hay que estar seguro que esas percepciones proporcionan al conductor la información que necesita para conducir. Debe distinguir el rumbo de la vía por donde va la presencia de peatones y otros vehículos, así como señales, semáforos y sus indicaciones, de día y de noche, con un tiempo suficiente para poder efectuar los cambios en la dirección y marcha de su vehículo que sean precisos.

Para manejar su vehículo, el conductor depende también de sensaciones acústicas, odoríferas, táctiles, térmicas, musculares y de estabilidad; pero ninguna de ellas resulta tan importante para él como las sensaciones ópticas.

Todos los conductores no manejan del mismo modo, ni aun un mismo conductor maneja siempre igual. Su atención en la vía está influida poderosamente por dos variables que son: su destreza y sus actitudes.

La destreza se define como la habilidad, arte o primor con que hace una cosa y es el grado de desarrollo a donde se ha llegado con respecto a la capacidad o aptitud que se tiene. La destreza del conductor se manifiesta en el mejor dominio del vehículo y la mayor exactitud para apreciar distintas velocidades. Depende de cualidades propias del individuo, pero también de la manera y a la edad en que este aprenda a manejar y de su experiencia como conductor. Por eso es que resulta tan importante que se enseñe a conducir con métodos apropiados tan pronto tenga edad para manejar vehículos.

Llamamos actitud del conductor a la tendencia, más o menos matizada de la emoción, de reaccionar positiva o negativamente de presencia de un objeto psicológico. Las actitudes del conductor influyen en su comportamiento en la vía y pueden contribuir a que el ambiente vial sea plácido y seguro, u hostil y peligroso. Las actitudes negativas son responsables de que muchos conductores corran riesgos innecesarios, no quieran dejarse adelantar por otros u obstruyan el tránsito sin tener en cuenta los otros vehículos.

La actitud, por tanto, influye poderosamente en el nivel de riesgo que asume un conductor, es decir, en la cuantía del riesgo a accidentarse que está dispuesto a correr en toda circunstancia, en vías seguras y en vías inseguras. Hay, sin embargo, otros factores que influyen en ese nivel de riesgo tales como la premura por llegar al destino de viaje, el tiempo en que se ha estado conduciendo, preocupaciones y distracciones.

Otro componente del elemento humano del tránsito es el peatón. Su influencia en las vías rurales es prácticamente nula, excepto cerca de las poblaciones, pero en las ciudades y especialmente en los distritos comerciales, es un importante factor que complica los problemas de circulación.

2.2.2. El vehículo

El vehículo es el segundo elemento de tránsito. Las dimensiones y características de funcionamiento de este son factores básicos para reglamentar el tránsito, diseñar mejoras en vías y proyectar terminales.

Aunque es enorme la variedad de vehículos que circulan generalmente por las vías públicas, agruparemos a estos en cuatro tipos fundamentales:

- Automóviles: Son vehículos de dos ejes y cuatro ruedas, destinados al transporte de no más de ocho personas o carga ligera. Desde el punto de vista del tránsito este tipo de vehículo comprende los automóviles propiamente dichos y los camiones pequeños, por lo que también se llaman todos ellos vehículos ligeros.
- Camiones: Denominados así a los vehículos automotores de más de cuatro ruedas destinados a transportar cargas. Clasificamos a los camiones en rígidos y combinados. El camión rígido es el que tiene el motor y la parte donde va la carga montados en un mismo chasis, tiene generalmente dos ejes con seis ruedas, tres ejes y a veces cuatro. El camión combinado consta de una unidad tractora, que no puede llevar carga directamente articulada a un remolque o semirremolque, o ambos elementos a la vez. El peso del remolque descansa sobre sus propios ejes mientras que el semi remolque transmite parte de su peso a la unidad tractora.
- Autobuses: Son vehículos destinados al transporte de más de 15 personas. La mayoría de ellos tienen dos o tres ejes, pero hay autobuses articulados para el transporte urbano que tienen más ejes.
- Vehículos de dos ruedas: Son vehículos ligeros para transportar generalmente una o dos personas. Entre ellos distinguimos a las bicicletas sin motor o con él, las motonetas y las motocicletas. En muchos países en vías de desarrollo, y especialmente en las ciudades, llegan a constituir el tipo de vehículo más numeroso.

2.2.3. La vía

El tercer elemento de tránsito es la vía que, como se ha dicho, es el lugar debidamente acondicionado para la circulación de vehículos, peatones o ambos. Los dos beneficios funcionales más importantes que proporcionan una vía son: accesibilidad y movilidad. Pero al brindar estos beneficios la vía debe ofrecer también seguridad a sus usuarios.

Accesibilidad es el grado de facilidad de acceso a un lugar por una vía, es decir, para poder llegar al mismo. Por ejemplo, la accesibilidad que ofrece una vía transitable en todo el año es mejor que la que brinda otra transitable en tiempo seco.

Movilidad es el grado de facilidad para desplazarse. Una vía por donde el tránsito pueda circular a altas velocidades ofrece mayor movilidad que otra donde haya impedimentos que obliguen al tránsito a ir despacio. Así una vía pavimentada suele brindar mayor movilidad que una sin pavimentar, transitable todo el año, aunque las dos proporcionen la misma accesibilidad.

Las vías pueden clasificarse en rurales y urbanas, atendiendo el medio geográfico donde se encuentran.

Las vías rurales se denominan caminos; y a los caminos de características modernas destinados al tránsito de un número relativamente grande de vehículos motorizados se les da el nombre de carreteras.

Los caminos, o mejor, las carreteras, pueden tener dos calzadas independientes separadas por una faja divisoria central o mediana; o bien, su calzada puede estar dividida longitudinalmente en dos porciones por un obstáculo estrecho denominado separador. Las primeras son carreteras con calzadas separadas y las últimas carreteras con calzada dividida.

Atendiendo a su importancia, las vías rurales pueden clasificarse en:

- Carreteras internacionales: Cuando tienen por objeto proveer un medio de transporte entre distintos países.
- Carreteras nacionales o troncales: Su fin es comunicar los puntos más importantes de un país y están destinadas principalmente al tránsito que recorre grandes distancias.
- Carreteras regionales o secundarias: Cuando su interés se limita a una región, pero están vinculadas a las nacionales y son para recorridos a mediana longitud.
- Caminos locales o vecinales: Se destinan generalmente a trayectos cortos y proporcionan acceso a los puntos más apartados del país conectándolos al sistema de carreteras.

Por el número de carriles estas pueden clasificarse en carreteras de dos carriles, de tres o de múltiples carriles.

Las vías urbanas se llaman calles y suelen tomar el nombre de avenidas cuando son más anchas, tienen alto nivel de actividades humanas y están bordeadas por edificios prestigiosos. No obstante, a veces esta denominación indica simplemente la orientación de la vía.

Atendiendo a la movilidad y servicio que a su entorno prestan, se ha clasificado las vías urbanas en arterias, calles colectoras y calles locales.

- Arterias: Están destinadas primordialmente a ofrecer movilidad a la circulación del tránsito y tienen como fin secundario el servicio a las propiedades colindantes. Suelen estar reguladas por un conjunto de semáforos.
- Calles colectoras: Tienen por objeto recoger el tránsito de calles locales, conducirlo a las arterias y viceversa. En ellas la movilidad y el servicio a las propiedades colindantes tienen casi la misma importancia.
- Calles locales: Tienen como función principal proveer servicio a las propiedades. No se espera tener gran movilidad en ellas. Una de estas calles es la llamada calle céntrica o calle del centro, cuyo fin es servir los edificios del centro de la ciudad.

Generalmente las calles no tienen bermas, sino que su calzada está bordeada por una pieza vertical o inclinada que se denomina bordillo. A ambos lados de las calles se suelen construir aceras para el paso de peatones, junto al bordillo, o dejando un espacio para el césped.

2.3. Parámetros fundamentales del tráfico

2.3.1. Volumen de tránsito

Al igual que muchos sistemas dinámicos, los medios físicos y estáticos del tránsito, tales como las carreteras, las calles, las intersecciones, las terminales, etc., están sujetos a ser solicitados y cargados por volúmenes de tránsito, los cuales poseen características espaciales y temporales. Las distribuciones espaciales de los volúmenes de tránsito generalmente resultan del deseo de la gente de efectuar viajes entre determinados orígenes y destinos, llenando así una serie de satisfacciones y oportunidades ofrecidas por el medio ambiente circundante. Las distribuciones temporales de los volúmenes de

tránsito son el producto de los estilos y formas de vida que hacen que la gente siga determinados patrones de viaje basados en el tiempo, realizando sus desplazamientos durante ciertas épocas del año, en determinados días de la semana o en horas específicas del día. Al proyectar una carretera o calle, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y de su composición. Los errores que se cometen en la determinación de estos datos, ocasionarán que la carretera o calle funcione durante el período de proyecto, bien con volúmenes de tránsito muy inferiores a aquellos para los que se proyectó, o mal con problemas de congestionamiento por volúmenes de tránsito altos muy superiores a los proyectados.

De manera general, los datos sobre volúmenes de tránsito son ampliamente utilizados en los siguientes campos:

- a) Planeación.
- b) Proyecto.
- c) Ingeniería de tránsito.
- d) Seguridad vial.
- e) Investigación.
- f) Usos comerciales.

2.3.2. Velocidad

La velocidad se ha convertido en uno de los principales indicadores utilizados para medir la calidad de la operación a través de un sistema de transporte.

La importancia de la velocidad, como elemento básico para el proyecto de un sistema vial, queda demostrada por ser el parámetro de cálculo de la mayoría de los demás elementos del proyecto. Un factor que hace a este parámetro muy importante en el tránsito es que la velocidad de los vehículos de hoy en día ha sobrepasado los límites para los que fueron diseñadas las carreteras y calles actuales, por lo que la mayor parte de los reglamentos resultan obsoletos.

Se tienen las siguientes definiciones de velocidad:

- a) Velocidad en general: En general, el término velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, usualmente expresada en kilómetros por hora.
- b) Velocidad de punto: Es la velocidad a su paso por un determinado punto o sección transversal de una carretera o de una calle.
- c) Velocidad instantánea: Es la velocidad cuando se encuentra circulando a lo largo de un tramo de una carretera o de una calle en un instante dado.
- d) Velocidad media temporal: Es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una carretera o calle durante un intervalo de tiempo seleccionado.
- e) Velocidad media espacial: Es la media aritmética de las velocidades instantáneas de todos los vehículos que en un instante dado se encuentran en un tramo de carretera o calle.
- f) Velocidad de recorrido: Llamada también velocidad global o de viaje, es el resultado de dividir la distancia recorrida, desde el inicio hasta el fin del viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. En el tiempo total de recorrido están incluidas todas aquellas demoras operacionales por reducciones de velocidad y paradas provocadas por la vía, tránsito y los dispositivos de control, ajenos a la voluntad del conductor.
- g) Velocidad de marcha: Para un vehículo, la velocidad de marcha o velocidad de crucero, es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento. Para obtener la velocidad de marcha en un viaje normal, se descontará del tiempo total de recorrido, todo aquel tiempo en que el vehículo se hubiese detenido, por cualquier causa.
- h) Velocidad de proyecto: Llamada también velocidad de diseño, es la velocidad máxima a la cual pueden circular los vehículos con seguridad sobre una sección específica de una vía, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son tan favorables que las características geométricas del proyecto gobiernan la circulación.

2.3.3. Capacidad vial

Para determinar la capacidad de un sistema vial, rural o urbano, no sólo es necesario conocer sus características físicas o geométricas, sino también las características de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones operacionales sujetas a los dispositivos de control y al medio circundante.

Así mismo, no puede tratarse la capacidad de un sistema vial sin hacer referencia a otras consideraciones importantes que tienen que ver con la calidad del servicio proporcionado. Por lo tanto, un estudio de capacidad de un sistema vial es al mismo tiempo un estudio cuantitativo y cualitativo, el cual permite evaluar la suficiencia y la calidad del servicio ofrecido por el sistema a los usuarios.

Es las fases de planeación, estudio, proyecto y operación de carreteras y calles, la demanda de tránsito, presente o futura, se considera como una cantidad conocida. Una medida de eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a esta demanda, es su capacidad u oferta.

La capacidad de una infraestructura vial, representa la tasa máxima de flujo a la cual se espera que los vehículos o personas razonablemente puedan pasar por un punto o sección uniforme de carril o calzada, durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del medio ambiente, del tránsito y de los dispositivos de control.

La infraestructura vial, sea ésta una carretera o calle, puede ser de circulación continua o discontinua. Los sistemas viales de circulación continua no tienen elementos externos al flujo de tránsito, tales como los semáforos y señales de alto que produzcan interrupciones en el mismo. Los sistemas viales de circulación discontinua tienen elementos fijos que producen interrupciones periódicas del flujo de tránsito, independientemente de la cantidad de vehículos, tales como los semáforos, las intersecciones de prioridad con señales de alto y ceda el paso, y otros tipos de regulación.

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de

su percepción por los motoristas y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

De los factores que afectan al nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc.

El manual de Capacidad Vial HCM 2010 del TRB ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E Y F, que van del mejor al peor, los cuales se definen según que las condiciones de operación sean de circulación continua o discontinua.

2.4. Dispositivos de control

La infraestructura vial es el medio que posibilita el transporte mediante el uso de automóviles, autobuses, camiones, motocicletas y bicicletas, así como el transporte a pie; esta infraestructura rural o urbana, se constituye básicamente por carreteras, calles, acotamientos y banquetas. Para que éstas operen eficientemente deben proporcionar a los usuarios seguridad, confort y fluidez, para ello es indispensable que el conductor, peatón o pasajero, disponga de la información suficiente y oportuna para usar adecuadamente las vialidades, lo cual se logra en gran medida a través de las señales de tránsito, lo que ha permitido obtener el máximo rendimiento de cualquier vialidad.

Debido a la creciente demanda del autotransporte, se han venido desarrollando redes de calles y carreteras de forma acelerada y para que éstas operen con eficiencia, se ha hecho necesario desarrollar sistemas de señalización estandarizado, en donde la uniformidad juega un papel importante, ya que esta característica es la que permite que los usuarios interpreten de igual forma la información que se les transmite a través de señales a lo largo de las rutas, ya sean rurales o urbanas, dado que éstas no son más que la propagación entre unas u otras.

2.4.1. Clasificación de los dispositivos de control

Se denominan dispositivos para el control del tránsito a las señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que se colocan sobre o adyacente a las calles y carreteras por una autoridad pública, para prevenir, regular y guiar a los usuarios de las mismas. Los dispositivos de control indican a los usuarios las precauciones que deben tener en cuenta, las limitaciones que gobiernan el tramo en circulación y las informaciones estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la calle o carretera.

Los dispositivos para el control del tránsito en calles y carreteras se clasifican en:

- 1) Señales verticales: Preventivas, restrictivas, informativas, turísticas y de servicio y señales diversas.
- 2) Señales horizontales: Rayas, marcas y botones.
- 3) Dispositivos para protección de obras: Señales horizontales (rayas, símbolos, marcas viales y botones), señales verticales (preventivas, restrictivas, informativas y diversas), barreras levadizas, barreras fijas, conos, tambos, dispositivos luminosos y señales manuales.
- 4) Semáforos: Semáforos no accionados por el tránsito, semáforos accionados por el tránsito, semáforos para paso de peatones y semáforos especiales.
- 5) Dispositivos de seguridad: Barreras de protección, alertadores de salida de la vialidad y amortiguadores de impacto.

Cualquier dispositivo para el control del tránsito debe llenar los siguientes requisitos fundamentales:

- Satisfacer una necesidad importante para la circulación vial.
- Llamar la atención de los usuarios que transitan por carreteras y calles.
- Transmitir un mensaje claro y conciso al usuario.
- Imponer respeto a los usuarios de las calles y carreteras.
- Estar ubicado en el lugar apropiado con el fin de dar tiempo al usuario para reaccionar en caso de emergencia.

También deben cumplir los siguientes requisitos técnicos:

- Forma: Cada tipo de señal debe tener asociada una forma o conjunto de formas para facilitar al usuario la interpretación de los mensajes que se pretende transmitir.
- Color: Para cada tipo de señal, debe existir un color característico de los elementos que componen a la señalización.
- Dimensiones: Se deben asociar al tipo de vialidad donde se instalan.
- Reflexión: Toda la señalización debe cumplir con un nivel de reflexión para que, durante los periodos de baja visibilidad, pueda ser claramente observada.

Existen cuatro consideraciones básicas para asegurarse que los dispositivos de control sean efectivos, entendibles y satisfagan los requisitos fundamentales anteriores. Estos factores son:

- Diseño: La combinación de las características tales como forma, tamaño, color, contraste, composición, iluminación o efecto reflejante, deberían llamar la atención del usuario y transmitir un mensaje simple y claro.
- Ubicación: El dispositivo de control deberá estar ubicado dentro del cono visual del conductor, para llamar la atención, facilitar su lectura e interpretación, de acuerdo con la velocidad de su vehículo y dar el tiempo adecuado para una respuesta apropiada.
- Uniformidad: Los mismos dispositivos de control o similares deberán aplicarse de manera consistente, con el fin de encontrar igual interpretación de las situaciones que se presentan en las vialidades a lo largo de una ruta.
- Conservación: Los dispositivos deberán mantenerse física y funcionalmente conservados, esto es, limpios, legibles y visibles, lo mismo que deberán colocarse o retirarse tan pronto como se vea la necesidad de ello.

Por lo tanto, al proyectar dispositivos de control del tránsito, lo más importante es lograr la uniformidad de formas, tamaños, símbolos, colores, ubicación, etc., de manera que satisfagan una necesidad, llamen la atención, impongan respeto y transmitan un mensaje claro y legible.

2.4.2. Señalización horizontal

2.4.2.1. Generalidades

Considerando que la señalización horizontal se ubica sobre la calzada, presenta la ventaja, frente a otros tipos de señales, de transmitir su mensaje al conductor sin que éste distraiga su atención de la pista en que circula. Desde este punto de vista, el lograr una mejor señalización horizontal constituye un objetivo prioritario de la seguridad vial. No obstante, como desventaja, su visibilidad se ve afectada por variables ambientales, tales como la nieve, lluvia, polvo, alto tránsito u otros. Por lo tanto, frente a maniobras de alto riesgo tales como zonas de no adelantar, o de detención, deben siempre ser reforzadas con la señalización vertical correspondiente.

Un requisito importante al momento de decidir el material a emplear en la demarcación, será su duración y funcionalidad en climáticas adversas. Esta condición dependerá de las siguientes variables: características del material; el tipo de sustrato sobre el cual se aplica; tipo y cantidad de tránsito; clima y condiciones ambientales en el entorno de la vía.

Todas las vías pavimentadas deberán contar con señalización horizontal, la cual deberá cumplir una función prioritaria en vías interurbanas y/o de apoyo a la señalización vertical de las vías urbanas.

2.4.2.2. Función y clasificación

Las señales horizontales o demarcaciones, son marcas o elementos instalados sobre el pavimento, que mediante el uso de símbolos y leyendas determinadas cumplen la función de ordenar y regular el uso de la calzada.

La determinación mediante líneas de pista, de eje y de borde otorga un mensaje continuo al usuario, definiendo inequívocamente el espacio por el cual debe circular, otorgando al conductor la seguridad de estar transitando por el espacio destinado para tal efecto. Por el contrario, la ausencia de demarcación, genera comportamientos erráticos e inesperados en los conductores.

De acuerdo con la función que cumplen, las demarcaciones se clasifican en:

- Líneas longitudinales: Las líneas longitudinales se emplean para delimitar pistas y calzadas; para indicar zonas con y sin prohibición de adelantar; zonas con prohibición de estacionar; y, para delimitar pistas de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos, por ejemplo, pistas exclusivas de bicicletas o buses.
- Líneas transversales: Las líneas transversales tienen la función de definir puntos de detención y/o sendas de cruce de peatones y ciclistas, pueden ser de dos tipos; líneas de detención y líneas de cruce.
- Símbolos y leyendas: Los símbolos y leyendas se emplean para indicar al conductor maniobras permitidas, regular la circulación y advertir sobre peligros. Se incluyen en este tipo de demarcación flechas, señales como CEDA EL PASO y PARE y leyendas como LENTO, entre otras.
- Otras demarcaciones: Corresponden a demarcaciones como achurados, demarcaciones de tránsito divergente y convergente, etc. En este caso no es posible agruparlas por sus características geométricas, dado a que ninguna de sus formas o líneas predomina sobre las otras.

2.4.2.3. Clasificación de las señales horizontales

La señalización horizontal, en función de su altura, podrá ser de alguno de los siguientes tipos:

- a) Planas: Son las de hasta 6 mm de altura.
- b) Elevadas: Son las de más de 6 mm y hasta 21 mm de altura, utilizadas para complementar a las primeras. Una demarcación elevada aumenta su visibilidad, especialmente, al ser iluminada por la luz proveniente de los focos de los vehículos, aún en condiciones de lluvia, situación en la cual, generalmente, la demarcación plana pierde eficacia.

La demarcación plana, en función de su forma, se clasifica en los siguientes grupos genéricos:

- Líneas.
- Símbolos.

- Leyendas.
- Otras demarcaciones.

Las líneas, pudiendo ser líneas continuas, discontinuas y/o mixtas, contienen los dos sub grupos:

- Líneas longitudinales.
- Líneas transversales.

Las líneas longitudinales se emplean para delimitar pistas, calzadas, zonas con y sin prohibición de adelantamiento, zonas con prohibición de estacionar y para delimitar pistas de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos. Este tipo de línea se utiliza para delinear sub ejes longitudinales principales de la calzada de una vía, se tienen, por ejemplo: Líneas de eje; línea de carril; línea de borde de calzada; líneas de prohibición de estacionamiento; y líneas de transición.

Las líneas transversales se emplean fundamentalmente en cruces, para delimitar líneas de detención a los vehículos motorizados, y para demarcar sendas destinadas al tránsito de paso de peatones y/o ciclistas, teniéndose los siguientes dos sub grupos genéricos: Líneas de detención y líneas de sendas.

Las líneas de detención cuentan con:

- Líneas de detención cruce de prioridad estática CEDA EL PASO.
- Líneas de detención cruce de prioridad estática PARE.
- Líneas de detención cruce de prioridad estática variable semaforizado.

En cuanto a las líneas sendas se tienen las siguientes:

- Líneas de sendas cruce peatonal tipo CEBRA.
- Líneas de sendas cruce peatonal semaforizado.
- Líneas de sendas cruce ciclista para ciclo vías y/o ciclo bandas.

Los símbolos y leyendas se emplean tanto para guiar y advertir al usuario como para regular la circulación.

2.4.2.4. Resistencia al deslizamiento (péndulo de fricción)

Al igual que la capa de rodadura, la demarcación plana debe presentar una resistencia al deslizamiento suficiente para que los vehículos circulen sobre ella sin riesgo. Esta condición está directamente relacionada con su coeficiente de rozamiento, ya que la resistencia al deslizamiento es producto de ese coeficiente por la fuerza normal que ejerce el vehículo al pasar sobre la demarcación.

Considerando lo anterior, el coeficiente de rozamiento de las demarcaciones planas debe ser mayor o igual a 0.45, según mediciones con el péndulo británico (TRRL).

2.5. Seguridad vial

El problema de seguridad vial es un tema de atención prioritaria por parte de los gobiernos, principalmente por tres tipos de razones: humanitarias, de salud pública y económicas.

La importancia de atender este problema se basa en argumentos como los siguientes: según datos de nivel internacional de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se tiene arriba de un millón de muertes por año en el mundo por accidentes viales y más de 20 millones de personas lesionadas, para una población del orden de 6 mil millones de habitantes. La mayoría de esas víctimas ocurre en los países en desarrollo, y las cifras aumentan en la medida en que su parque automotor crece.

La real tragedia de los accidentes viales es que, en gran medida, ellos y sus consecuencias, pueden evitarse mediante una inversión adecuada y creciente para generar mejores conductores y usuarios de las vialidades, superiores estándares de diseño, fabricación y mantenimiento vehicular, y un mejor diseño, construcción y mantenimiento carretero.

A partir de una revisión bibliográfica internacional, se ha observado que, en muchos países de Latinoamérica, la atención de esta problemática ha sido exitosa a través de un proceso de planeación estratégica constituido por los siguientes pasos:

- 1) Formulación de una visión o filosofía.
- 2) Análisis del problema.
- 3) Definición de metas.

- 4) Desarrollo de medidas de mejoramiento.
- 5) Mecanismos de evaluación y monitoreo.

Como resultado del proceso de planeación estratégica deben generarse planes integrales multianuales, que incluyan programas dentro de los siguientes cinco tipos de estrategia: control de exposición; prevención de accidentes a través de la ingeniería; prevención de accidentes por modificación de la conducta; control de lesiones y manejo de lesionados.

Lo anterior para construir programas de mejoramiento de la seguridad vial, es decir, buscar modos de transporte más seguros; tratar de reducir los accidentes a través de mejores vehículos y carreteras más seguras; pero también mejorando los sitios conflictivos; se debe modificar la conducta de todos los usuarios (peatones, ciclistas, motociclistas y conductores), donde juega un papel muy importante el cumplimiento de las regulaciones; trabajar en el control de velocidades, en que cada vez vayan mejor equipadas las personas en los vehículos y finalmente, que el manejo de los lesionados sea oportuno y adecuado.

En los países más avanzados en la atención de esta problemática, el mejoramiento de la seguridad vial se efectúa a través de los denominados Sistemas de Administración de la Seguridad. Se basan en un mecanismo constituido por un comité, dirigidos a identificar, evaluar, implementar y dar seguimiento a toda oportunidad de mejorar la seguridad.

Existen dos tipos de actuaciones que se pueden hacer en esta materia; una son las auditorías en seguridad carretera, que básicamente son un intento formal de revisión de un proyecto de construcción o de rehabilitación de una carretera, de reordenamiento del tránsito o de cualquier otro proyecto que afecte las condiciones de seguridad, con el fin de identificar posibles problemas; el otro tipo de enfoque es el tratamiento de sitios de alta concentración de accidentes o puntos negros.

Las auditorías son enfoques en donde un experto o equipo de expertos revisan un proyecto y van determinando sus insuficiencias en materia de seguridad, además de recomendar las mejoras correspondientes ya que, si la carretera se construyese con esas

fallas o problemas, entonces sería mucho más caro incidir en ellas, incluyendo el costo de los accidentes y sus consecuencias en heridos, muertos y daños materiales.

Las auditorias se pueden hacer en varias fases: a la terminación del estudio de factibilidad, es decir, cuando apenas se está haciendo el estudio preliminar; a la terminación del anteproyecto, en la que revisa el alineamiento; la tercera es a la terminación del proyecto definitivo; la siguiente fase es a la terminación de la construcción, para ver si efectivamente la obra fue ejecutada de acuerdo con lo establecido en el proyecto, y finalmente, una fase terminal es en el seguimiento de la operación cuando menos durante los primeros tres años.

El factor humano es el aspecto más importante de la seguridad vial, pues en la mayoría de los reportes se registra que por este factor se alcanza el 70% de los accidentes de tránsito, citando como causa principal el exceso de velocidad, la violación de las regulaciones de tránsito y diversos factores más; entonces mejorar la infraestructura es muy importante, de hecho es fundamental, pero atender el factor humano es tan significativo como lo anterior.

Figura 1 Accidente comunidad de Río Negro carretera a Bermejo.



Fuente: Diario Correo del Sur.

2.5.1. Normativa vigente

El decreto supremo 29293, del 3 de octubre del 2007 establece un plan nacional de seguridad vial en carreteras en el cual sus artículos más importantes son los siguientes:

- **Artículo 8. (Operativos):**

La Policía nacional, en el marco de sus atribuciones, realizará operativos frecuentes es sujeción al Plan Nacional de Seguridad Vial, para controlar el cumplimiento de la normativa vigente del transporte automotor terrestre, utilizando los medios de prueba necesarios para garantizar la seguridad en el transporte de pasajeros.

Las empresas operadoras del transporte terrestre por carretera que incumplan lo establecido por el presente decreto supremo, serán sancionadas con la suspensión de la Tarjeta de operación.

- **Artículo 9. (Campañas):**

En el marco de la ejecución del Plan Nacional de Seguridad Vial, se desarrollarán campañas de prevención, educación, sensibilización, información y promoción de los derechos y deberes de los pasajeros, así como la responsabilidad de los operadores del transporte automotor.

2.5.2. Plan nacional de seguridad vial en carreteras

De acuerdo a los datos generales, el problema de la accidentalidad vial tiende a empeorar, lo que representa una seria crisis global de la salud pública acrecentada por el vertiginoso aumento de la tasa del parque vehicular en los países en vías de desarrollo. Este escenario estima que los accidentes de tránsito en los próximos años sean la segunda causa de morbilidad y muerte en los países menos desarrollados, en contraste con los países desarrollados, cuyos esfuerzos por hacer más segura su vialidad va dando frutos día a día.

De manera general, los factores de riesgo han sido identificados en cierto número de factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito tales como:

- El incumplimiento de las normas de tránsito.
- El exceso de velocidad en la conducción.

- El consumo de bebidas alcohólicas.
- El diseño inadecuado de las vías y su grado de deterioro.
- La falta de señalización en las carreteras.
- La no utilización de dispositivos de seguridad (cinturón de seguridad, silla para niños).
- La falta de implementación de tecnología apropiada, equipamiento y medios en los operadores de seguridad, entre otros.

2.5.2.1. Problemática

Una de las principales causas de mortalidad en nuestro país son los accidentes de tránsito, ocasionados por imprudencias de los conductores y peatones; desperfectos mecánicos y deficientes condiciones de las carreteras de las redes fundamental, departamental y municipal. A esto se agrega también factores adversos de orden ambiental y climático.

Entre las causas más comunes de los accidentes de tránsito, se encuentran el consumo de alcohol que se acentúa en las fiestas de fin de año, carnavales, entradas folklóricas, fiestas departamentales, efemérides nacionales y departamentales entre otras.

La situación de seguridad vial en Bolivia es muy adversa. Algunos estudios anteriores mostraron que alrededor de 1000 personas mueren y 6000 resultan heridas anualmente en los más de 30000 accidentes que ocurren en el país anualmente. Estos datos nos colocan en una situación muy desfavorable en cuanto a la accidentabilidad en Latinoamérica.

De acuerdo al informe de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), en Bolivia, uno de los mayores problemas sociales es el de la elevada accidentalidad vial, la cual ha ocasionado, entre 1997 y el año 2000, un promedio anual de 885 personas muertas y un promedio anual de 6119 heridos, sin que hasta el momento exista una verdadera conciencia sobre la gravedad de este asunto que afecta a la comunidad nacional.

2.5.2.2. Principales problemas

La naturaleza del fenómeno es compleja; sin embargo, se puede discriminar que en la generalidad los hechos intervienen con mayor frecuencia las siguientes causas:

Educación y Capacitación:

- Falta de formación en manejo defensivo de los conductores.
- Carencia de acreditación de escuelas de conductores.
- Ausencia de temas de seguridad vial en los planes de estudio del sistema educativo nacional en sus diferentes niveles de educación.
- Ausencia de principios de conducta responsable en la sociedad respecto al tránsito (a nivel escolar).
- Falta de difusión de medios educativos y comunicativos, en temas relacionados a la Seguridad Vial.

Normativa:

- Carencia de una actualización de la normativa respecto a la incorporación de penas más drásticas para los consumidores de alcohol, conductores que exceden velocidad, conductores que realizan maniobras peligrosas.
- Falta de una incorporación de medidas coercitivas para los propietarios de medios de transporte.
- Falta de una regulación de tiempos de viaje como mecanismo de control.
- Carencia de legislación vigente respecto a los requisitos de los motorizados y empresas para la otorgación de Licencias de Operación.
- Falta de medidas coercitivas para el retiro temporal y definitivo de los motorizados y en su caso de la empresa, por la acumulación de reiteradas faltas y otros.
- Ausencia de revisión del sistema de penalidades que induzca conductas de seguridad.
- Falta de desarrollo de programas de reeducación como sanción (licencia por puntos).

Información:

- Falta de información ciudadana para contribuir en el proceso de investigación.
- Ausencia de cualificación de la difusión de las estadísticas de accidentes de tránsito.

- Falta de políticas dirigidas a la obligatoriedad de difusión de información educativa por los medios de comunicación en calidad de gratuidad.

Condiciones de la Vía:

- Falta de actualización (mejoramiento) y adecuación de las vías a las normas internacionales en las diferentes categorías.
- Inexistencia de señalización en las carreteras primarias y secundarias.
- Falta de mantenimiento periódico de las carreteras con carácter obligatorio por el órgano competente.
- Inexistencia de criterios de seguridad para el diseño de vías y espacios públicos.

Tecnología:

- Falta de una Red informática de comunicación para la acumulación de información, detección, alerta y atención de hechos de tránsito.
- Falta de visores ópticos en terminales de buses y lugares críticos de mayor riesgo de ocurrencia de hechos de tránsito, que permita monitorear a los usuarios y operadores.
- Falta de un programa de difusión pública sobre comportamiento ante accidentes.

Medidas de Control:

- Precarios y en algunos casos inexistencia de medios de fiscalización permanente y sostenible, por parte de la Superintendencia y Vice Ministerio de Transportes.
- Falta de una política gubernamental de un sistema de prevención y control de riesgos de origen vial.

Control Mecánico de Vehículos:

- Irresponsabilidad de las empresas para mantener sostenidamente el estado mecánico de sus motorizados.
- Falta de acreditación de los talleres mecánicos de las empresas de Transporte de pasajeros.

Medios de Transporte:

- Incumplimiento de requisitos para la obtención Tarjeta de Operación ante el Órgano Competente para el servicio de Transporte de pasajeros.
- Falta de cumplimiento de los requisitos establecidos, durante la operación regular del servicio de Transporte tanto de pasajeros como de carga.
- Irresponsabilidad empresarial y del propietario del mantenimiento sostenible de las unidades motorizadas.
- Falta de normativa para establecer la vida útil del vehículo de servicio público, conforme a normativa internacional, desde el año de su fabricación.

Recursos:

- Carencia de recursos económicos para la investigación en seguridad vial.

2.5.2.3. Estrategias

Implementación inmediata del Plan de Emergencia en Seguridad Vial, en su primera etapa, de manera operativa, con todos los medios y recursos disponibles, para un mejor control en carreteras, que rearticula de manera inmediata el accionar de la Policía Nacional mediante sus organismos operativos, que tendrán como articulador para el control al Viceministerio de Seguridad Ciudadana y de manera conjunta con la participación de otros entes involucrados en la Seguridad Vial.

De manera coordinada se ejecutará el Plan Nacional de Seguridad Vial, controlando las tres áreas principales, elemento humano, vehículos y vías, por medio de acciones que contemplan cuatro áreas principales, las que son:

- Área normativa: Contempla el cumplimiento de las disposiciones legales en vigencia.
- Área operativa y de control: Contempla las acciones de seguimiento y control permanente al transporte público interdepartamental e internacional de situaciones de riesgo en su actividad diaria.
- Área Educativa: Contempla tres niveles:
 - a) Información sobre Derechos del Usuarios sobre Seguridad Vial, implementado el uso de la línea gratuita para denuncias de los usuarios

del transporte público y lugares donde opera la Policía Caminera en casos de contingencia.

- b) Capacitación permanente de las situaciones de riesgo a transportistas en el transporte de pasajeros, mediante cursos de manejo defensivo; capacitación a diferentes instituciones sobre Seguridad Vial y obligaciones y responsabilidades de los usuarios del transporte público.
- c) Comunicación la producción medios didácticos y audiovisuales, sobre los problemas, soluciones y acciones que debe tomar el usuario, que hace uso del transporte público por medios de comunicación en prensa.

- Área de Equipamiento: Se refiere a la implementación de equipamiento e infraestructura necesaria para la aplicación del Plan Nacional de Seguridad Vial en Carreteras.

2.6. Accidentabilidad

Las dos consecuencias principales del problema de tránsito lo constituyen la accidentabilidad y el congestionamiento. De ellos, el primero es de orden vital y por eso de gran importancia, ya que significa grandes bajas entre la población, por el resultado en muertos y heridos, además de la pérdida económica.

Según cifras de la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de 1.3 millones de personas mueren y 50 millones resultan heridas cada año en accidentes viales. Esta información data del año 2009 y se estima que las cifras aumentarán en torno al 65% en los próximos 20 años, siendo América Latina y el Caribe las regiones del mundo que tendrán la más alta mortalidad para esa fecha. En estos países el problema fundamental es el de la cultura, dado que las personas no fácilmente aceptan limitaciones a su libertad, por lo que el factor humano, por desobediencia a las normas, suele estar presente en la incidencia de accidentes viales más frecuentemente que en otras culturas con mayor conciencia cívica.

La real tragedia de los accidentes viales es que, en gran medida, ellos y sus consecuencias, pueden evitarse mediante una inversión adecuada y creciente para generar mejores conductores y usuarios de las vialidades, superiores estándares de diseño, fabricación y mantenimiento vehicular, y mejores estándares de diseño,

construcción y mantenimiento carretero; a diferencia de otras causas de mortandad importantes como son los fallecimientos por cáncer o por enfermedades del corazón, que realmente no son tan evitables como las pérdidas en accidentes viales.

Siguiendo los pasos lógicos en el estudio de este problema, se ha encontrado conveniente determinar tres importantes datos, a saber:

- Causa aparente de los accidentes.
- Falla operacional.
- Magnitud del problema.

Es necesario encontrar o determinar ciertas relaciones que permitan conocer el cuadro completo en el aspecto de accidentes. Es necesario relacionar los accidentes con las causas aparentes y reales, los tipos de accidentes, la frecuencia, la ubicación, etc.

Del uso correcto de los datos recopilados, o sea la estadística, se destacan los datos ya anunciados y que serán auxiliar insustituible en la labor preventiva.

Figura 2 Accidente en una carretera de montaña al norte de La Paz.



Fuente: DW.com

2.6.1. Causas de los accidentes

Siguiendo los pasos lógicos en el estudio de este problema, se ha encontrado conveniente determinar tres importantes datos, a saber:

- Causa aparente de los accidentes.
- Falla operacional.
- Magnitud del problema.

Será necesario encontrar o determinar ciertas relaciones que permitan conocer el cuadro completo en el aspecto de accidentes. Es necesario relacionar los accidentes con las causas aparentes y reales, los tipos de accidentes, la frecuencia, la ubicación, etc.

Del uso correcto de los datos recopilados, o sea la estadística, se destacan los datos ya anunciados y que serán auxiliar insustituible en la labor preventiva.

2.6.1.1. Causas aparentes y reales

El agente de tránsito es la persona con la responsabilidad oficial de rendir el informe de cada accidente de tránsito. En su informe está la base de la estadística vital del tránsito. De acuerdo con el criterio de esta persona, los informes perfilan la “causa” del accidente. Solo podrá ser “causa aparente” hasta tanto el análisis correspondiente dictamine la “causa real”.

Bastante importante en sí, será la información que se logre acumular de los accidentes por: ubicación, frecuencia, saldos, conductor o empresas, etc.

Analizando debidamente las causas aparentes, con frecuencia se pueden determinar las causas reales. Estas permitirán saber si la falla de la operación del tránsito dependió de la carretera o calle, del vehículo o del usuario.

Al determinar la causa real, será fácil fijar las medidas necesarias para contrarrestarla, eliminando o disminuyendo el resultado negativo.

2.6.1.2. Magnitud del problema

Al relacionar los saldos en muertos y heridos, proporcionalmente con la población, con los vehículos, o con el kilometraje recorrido, se dispondrá de cifras o índices que permitirán hacer comparaciones acerca del comportamiento de la accidentabilidad. Estas darán la escala para juzgar la magnitud del problema. Esta comparación puede hacerse entre ciudades, entidades políticas, tramos de carreteras, países, o bien en sistema o red vial a través del tiempo.

Para estas relaciones, los indicadores más utilizados son los siguientes:

- 1) Índices con respecto a la población: Los índices son el de accidentabilidad, el de morbilidad y el de mortalidad, con respecto al número de habitantes en el año de que se trate, expresados por cada 100.000 habitantes.

Indica el número de accidentes en el año por cada 100.000 habitantes. Es útil para comparar ciudades, entidades políticas o sistemas de carreteras y calles, semejantes en la base económica.

- 2) Índices con respecto al parque vehicular: Al igual que en el caso anterior los índices de accidentabilidad, morbilidad y mortalidad, son con respecto al número de vehículos registrados en el año respectivo, expresado por cada 10.000 vehículos.

2.6.2. Causas de los accidentes

Del estudio de los informes de accidentes de tránsito, se puede empezar a precisar los actos del conductor que contribuyen principalmente al hecho, por lo general considerado fortuito, llamado accidente. Usualmente se piensa en una causa y la verdad es que muchas veces el accidente incluye una cadena de causas, o bien, una causa y una serie de circunstancias contribuyentes. Sin embargo, es usual referirse en general a la causa aparente del accidente. También, previo análisis, se llegará en algunos casos a la causa real.

Como consecuencia del desarrollo de la velocidad en los vehículos modernos y del no disponer, en muchos casos, de una infraestructura vial acorde con estos avances, la causa más frecuente de los accidentes de tránsito en el mundo entero es el exceso de velocidad. En orden de importancia sigue la causa catalogada como invasión de la circulación contraria, como su nombre lo indica, es el acto de invadir la sección de la calle o carretera donde los vehículos viajan en sentido opuesto.

Figura 3 Accidente por presunto exceso de velocidad en la localidad de Camargo.



Fuente: Unitel.

2.6.3. Análisis de los accidentes

Principalmente interesa llevar la estadística de accidentes por la ubicación de los mismos y por las personas físicas y morales que intervienen en ellos. Interesa irlos acumulando de acuerdo con la ubicación para que en cualquier momento se puedan analizar los accidentes de cierto lugar. Igualmente, interesa recopilar datos de accidentes de diferentes lugares en un mismo archivo, separados por ubicación y por las personas que intervienen en él, principalmente el conductor o bien la empresa de transporte donde pertenece el vehículo.

Aparte de esto, tienen los medios por los cuales las autoridades de tránsito pueden llevar un control gráfico de los accidentes. El caso más común es el mapa de frecuencia, en este mapa, que puede ser de la ciudad, de un sistema de carreteras, de una carretera, o bien de un tramo de carretera, a escala conveniente; con base en los datos tomados de los informes de accidentes, se va concentrando la información en forma gráfica teniendo en cuenta principalmente su ubicación y saldo.

La variación de la frecuencia de accidentes, a través del año, permite conocer las épocas cuando deben enfatizar labores educativas y de vigilancia. Hay épocas perfectamente definidas en las cuales suben las estadísticas de accidentes, como ocurre en las

vacaciones de semana santa, en las vacaciones de fin de año y en otras festividades cuando la gente congestiona las carreteras.

En las carreteras nacionales el correcto análisis de la estadística de accidentes es de incalculable valor. La frecuencia de accidentes en determinadas zonas o en ciertas carreteras indicará la necesidad de estudios técnicos, de mayor vigilancia policíaca y de campañas educativas. Si la distribución de agentes de tránsito, siempre escasos, se hiciese de acuerdo con la proporción de accidentes o sus saldos, seguramente se lograría un mejor aprovechamiento del personal.

Figura 4 Mal estado de la carretera a la altura del puente Campanario.



Fuente: Elaboración propia.

2.7. Coeficiente de resistencia al deslizamiento

Una de las principales características que debe cumplir un pavimento, se refiere a disponer de una superficie que asegure una buena adherencia con los neumáticos en todo instante y especialmente en zonas de frenado, curvas y cuando el pavimento se encuentra mojado, lo cual es fundamental para la seguridad de los usuarios.

Esta adherencia pavimento neumático o resistencia al deslizamiento va disminuyendo en el tiempo por efecto del pulimiento causado por el tránsito, llegando a constituirse en un

importante indicador del comportamiento del pavimento. Un parámetro importante en la adherencia es el coeficiente de fricción.

Este coeficiente se puede se puede cuantificar físicamente mediante un factor que resulta de la relación entre la fuerza de fricción desarrollada en la interface de un neumático impedido de rodar con el pavimento y el peso sobre el neumático. Debido a la importante influencia del agua en esta propiedad, los distintos métodos han optado por normalizar los ensayos en condiciones de pavimento mojado, velocidad y tipo de neumáticos.

Existen distintos procedimientos de ensayos para determinar la resistencia al deslizamiento. Dentro de los más conocidos a nivel internacional se encuentran: el SCRIM, Mu Meter y Grip Tester para mediciones continuas de alto rendimiento; y el Péndulo TRRL para medidas puntuales de bajo rendimiento. Estos dispositivos en general sirven para caracterizar la resistencia al deslizamiento a medianas velocidades.

2.7.1. Conceptos fundamentales de la resistencia al deslizamiento

La resistencia al deslizamiento es la fuerza desarrollada entre la superficie del pavimento y los neumáticos, que estando impedidos de rotar, deslizan a lo largo de la superficie. Existen dos situaciones básicas que condicionan la seguridad del usuario por una baja resistencia al deslizamiento. Estas son, la salida de un vehículo desde el camino en una curva y el deslizamiento ante una frenada de emergencia.

Esto ha llevado a definir dos tipos de coeficientes de fricción (Poncino, 2001):

- Coeficiente de fricción longitudinal.
- Coeficiente de fricción transversal.

2.7.1.1. Coeficiente de fricción longitudinal

Este se determina mediante equipos que deslizan una rueda sobre el pavimento en el sentido longitudinal, pero a una velocidad de rotación menor que la de rodadura, lo cual genera una fuerza de fricción. Esto representa mejor la situación de un frenado de emergencia en el sentido longitudinal.

Algunos de los equipos más conocidos que miden el coeficiente de fricción longitudinal son el Trailer ASTM de Estados Unidos y el GRIPTESTER de Gran Bretaña.

2.7.1.2. Coeficiente de fricción transversal

En este caso el equipo de medición desliza una rueda sobre el pavimento, pero con una inclinación respecto a la dirección de circulación, lo cual genera una fuerza de reacción transversal. Esto representa mejor la situación de derrape de un vehículo en zonas de curva.

Algunos de los equipos más conocidos que miden el coeficiente de fricción transversal son el SCRIM y el MuMeter desarrollados en Gran Bretaña.

Cabe señalar, que cada ensayo con su equipo asociado tiene condiciones propias de medición como ser: dispositivos de provisión de agua, velocidad, temperatura, etc., por lo cual los resultados obtenidos por cada tipo de equipo no son comparables directamente entre si.

2.7.1.3. Caracterización de la superficie

Las características de resistencia al deslizamiento de un pavimento, se pueden definir considerando que la adherencia superficial está determinada por dos tipos de condiciones: microtextura y macrotextura.

La microtextura corresponde a la textura superficial propia de la superficie de los agregados pétreos, las cuales pueden presentar características de tipo áspero o pulida.

La macrotextura en cambio, se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. En este caso, las propiedades de la macrotextura están dadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie. En el caso de mezclas drenantes o tratamientos superficiales, la macrotextura será del tipo grueso, mientras que, en el caso de mezclas densas convencionales la macrotextura será más bien fina.

Por lo tanto, la resistencia al deslizamiento que presente un pavimento, será en general el resultado de la combinación microtextura – macrotextura que presente la superficie.

2.7.2. Factores que afectan el valor del coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción entre una carpeta de rodado y el neumático del vehículo está condicionado por: las características del pavimento (tipo, composición y adherencia), la densidad del tránsito, condiciones del lugar, contaminación en la superficie (aceite, polvo, goma, etc.), grado de humedad en la superficie y temperatura.

a) Adherencia:

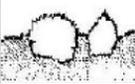
Se relaciona con la estructura geométrica de la superficie de rodado formada por el agregado y ligante. Las propiedades de la mezcla dependen de la naturaleza y granulometría de los agregados, del ligante utilizado y de su composición. La adherencia que presenta un pavimento (micro y macrotextura) expresa la buena o mala fricción y el grado de drenaje que posee.

- **Macrotextura:** Corresponde a los intersticios generados debido a la distribución de agregado en la superficie. Afecta la capacidad de drenaje que tiene la superficie del pavimento para despejar el agua de la superficie, lo cual permite un mejor contacto entre el neumático y la superficie de rodado.
- **Microtextura:** Influye en la fricción ente el neumático y la superficie de rodado. Es la característica propia del agregado expuesto.

b) Presencia de agua en la superficie:

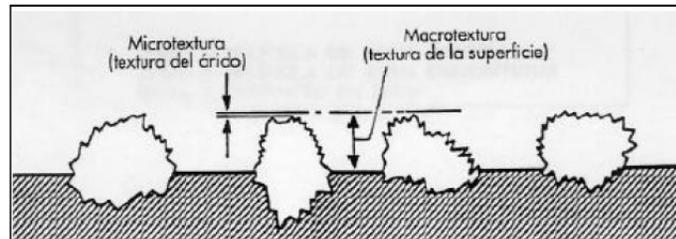
El espesor de la película de agua sobre la calzada en ocasiones produce pérdida de control, lo cual es conocido como hidropneumático.

Figura 5 Escala de textura.

	Superficie	Clases de Textura	
		Macro	Micro
A		Gruesa	Áspera
B		Gruesa	Pulida
C		Fina	Áspera
D		Fina	Pulida

Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos.

Figura 6 Esquema de Macrotextura y Microtextura.



Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos.

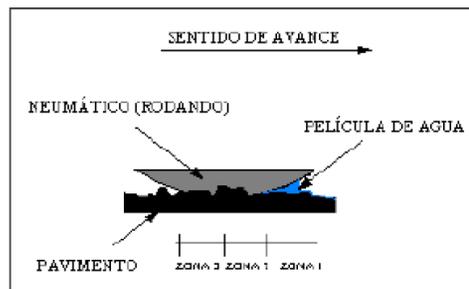
El hidropilano (aquaplaning) se produce cuando el espesor de la película es apreciable y el vehículo viaja a alta velocidad y en texturas muy finas que no dan tiempo de evacuar el agua entre el neumático y el pavimento. Los neumáticos pierden contacto con la superficie del pavimento. Se puede evitar a través de una macrotextura adecuada de la carpeta de rodado, de tal forma que se produzca un contacto directo entre el neumático y pavimento.

A continuación, se presenta esquemáticamente las condiciones de contacto existentes entre el neumático y el pavimento mojado. La interacción entre ambos puede dividirse en tres zonas: la primera, existe una película de agua continua que impide el contacto, en la segunda zona, se ha logrado evacuar la mayor parte

del agua, quedando una película discontinua en algunas asperezas del pavimento y en la tercer zona, se ha desplazado la película de agua y existe un contacto prácticamente en seco.

Una macrotextura gruesa ayuda a una mayor capacidad de evacuación del agua. Al aumentar la velocidad del vehículo o espesor de la película de agua, se reduce la zona 3, aumenta la zona 1 y se disminuye la adherencia.

Figura 7 Zonas de interacción neumático – pavimento.



Zona 1: película de agua continua.
Zona 2: película de agua discontinua.
Zona 3: contacto en seco.

Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos.

c) Naturaleza del agregado que constituye la naturaleza de la calzada:

Las características de la textura superficial de una carpeta de rodado se van modificando a medida que se produce el paso vehicular, generando desgaste y pulimiento, lo que afecta directamente a la adherencia entre neumático y superficie de rodado. Esto depende de la naturaleza y forma del árido, influyendo en su vida útil y en la seguridad de la conducción.

d) Naturaleza del ligante utilizado:

El exceso del ligante es nocivo y disminuye el roce porque produce macrotexturas finas y aparecen cepas muy resbaladizas y peligrosas en presencia del líquido.

e) Estacionalidad:

El coeficiente de fricción para una misma vía cambia dependiendo del período en que se realice la medición, el coeficiente de rozamiento medido en verano es inferior al registrado en invierno, ya que el pavimento es lavado con las precipitaciones.

f) Presión de inflado del neumático:

Mientras mayor sea la presión de inflado del neumático, menor será el área de contacto neumático-pavimento, por lo tanto, la fricción entre ambas superficies disminuye. (Se puede demostrar experimentalmente que este efecto es de segundo orden).

g) Velocidad del vehículo:

Actúa de dos formas que se superponen:

- 1) En presencia de agua: A medida que la velocidad aumenta existe la tendencia a la disminución del rozamiento, esta disminución es tanto menor cuanto mayor es la evacuación del agua que proporciona la macrotextura.
- 2) Por efecto dinámico vertical: La fuerza de contacto neumático-pavimento aumenta y disminuye con respecto al valor estático al disminuir o aumentar la velocidad, variando la adherencia, por tanto es función de la rugosidad.

h) Importancia del tráfico:

Esto va unido a con la categoría de la vía. El volumen y tipo de tráfico que circule influirá en el desgaste del pavimento. Los excesos de carga o presiones de inflado, causan esfuerzos que exceden la resistencia al corte de los materiales, causando una deformación permanente e irrecuperable de las capas del pavimento, la cual se manifiesta en la superficie como un canal longitudinal bajo la huella descrita por las ruedas del vehículo, fenómeno conocido como ahuellamiento.

El impacto e importancia que tiene el ahuellamiento está determinado fundamentalmente por la influencia que tiene en aspectos tales como las fuerzas dinámicas en un vehículo durante su recorrido y la seguridad (específicamente en lo relacionado al riesgo que genera el fenómeno de hidroplaneo).

Otros aspectos que contribuyen al ahuellamiento son: el exceso de contenido de cemento asfáltico, el exceso de agregados finos, los altos porcentajes de arena natural, el exceso de contenido de humedad en la mezcla de material granular y suelo.

2.7.3. Medición de la resistencia al deslizamiento en Bolivia

Este método describe el procedimiento que se debe seguir para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el Péndulo Británico. El Péndulo Británico es un péndulo dinámico que se utiliza para medir la energía perdida cuando el borde de un patín de goma se desliza sobre una superficie.

El método tiene por objetivo obtener el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento que valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

Los resultados son usados principalmente para los siguientes propósitos:

- Muestreo de la red vial para la gestión de pavimentos.
- Especificaciones para la restauración de la superficie de rodado.
- Especificaciones para nuevas construcciones.
- Investigación de accidentes.
- Medición para mantenciones de invierno en carreteras.

El método de ensayo puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas. No es el propósito de este método la medida sobre probetas para determinar el pulimiento acelerado de los áridos.

2.7.3.1. Péndulo de fricción TRRL

Es un dispositivo muy difundido internacionalmente, principalmente por su bajo costo en comparación a otros equipos más sofisticados. Este equipo desarrollado por el TRRL, tiene sus mediciones normalizadas según ASTM E-303. Para efectuar la medida, este se ajusta de modo que el patín de goma, fijado al péndulo, recorra una distancia normalizada en la superficie a medir. El péndulo se balancea desde la vertical hasta el reposo. La pérdida de energía del péndulo debido a la fricción del pavimento se registra en una escala graduada. Este instrumento es indicativo de la resistencia al deslizamiento a bajas velocidades, por consiguiente provee medidas para la microtextura. La medición entrega como resultado el valor BPN (British Pendulum Number).

Sin embargo, la gran desventaja de este procedimiento es su bajo rendimiento, requiriendo gran despliegue de seguridad al momento de la medición con la consecuente obstaculización del tránsito lo que limita su aplicación al nivel de red.

Figura 8 Péndulo de fricción TRRL.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9 Medición del CRD con el péndulo de fricción TRRL.



Fuente: Elaboración propia.

2.7.3.2. Equipo y materiales

2.7.3.2.1. Equipo

1) Péndulo del TRRL:

Se emplea el aparato desarrollado y diseñado por el Transport and Road Laboratory, cuyas características son las siguientes:

El péndulo propiamente tal, con zapata y su placa soporte debe tener una masa de 1500 ± 30 g. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo, a una distancia de 411 ± 4 mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de 508 mm. La zapata del péndulo ejercerá una fuerza de $24,52 \pm 0,98$ N sobre la superficie de ensayo y en su posición media de recorrido. La variación de la tensión del muelle sobre la zapata no será mayor de 216 N/m.

La zapata de goma va pegada sobre una placa de aluminio, que comprende un casquillo para su fijación al pivote del brazo del péndulo, formando un ángulo de 70° con el eje de este brazo y de manera tal que solamente la arista posterior de la goma quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girarla alrededor del pivote, recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo y manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

2) Características de la zapata de goma:

Las dimensiones de la zapata de goma a emplear en las medidas de resistencia al deslizamiento serán, de 76,2 mm de longitud, 25,4 mm de ancho y 6,5 mm de espesor. La masa de conjunto zapata y placa soporte de aluminio será de 36 ± 7 g. Las zapatas estarán cortadas de una plancha de goma de 6,5 mm de espesor y con una edad mínima de fabricación de seis meses.

3) Dispositivo de nivelación:

El dispositivo de nivelación será del tipo tornillo, acoplado en cada uno de los tres puntos de apoyo, con un nivel de burbuja para situar la columna del instrumento en posición vertical.

4) Dispositivo de desplazamiento vertical:

Un dispositivo que permita mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo, de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud entre 124 y 127 mm. El movimiento vertical de la cabeza del aparato, solidariamente con el brazo oscilante, escalas graduadas, aguja indicadora y mecanismo de disparo, se efectuará por medio de una cremallera, fijada en la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por uno o cualquiera de los mandos. La cabeza quedará fijada por medio del tornillo a presión.

5) Dispositivo de disparo del brazo del péndulo:

Un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo, de forma que éste caiga libremente desde su posición horizontal.

6) Dispositivo de medida:

Un dispositivo consiste en una aguja, de masa 85 g y longitud 300 mm, equilibrada respecto a su centro de suspensión, para indicar, al final de su recorrido, la posición del brazo del péndulo sobre una escala circular grabada sobre un panel. Un sistema de fricción del mecanismo de suspensión de la aguja que será regulable mediante los anillos de fricción roscados, de manera tal que, con el brazo del péndulo moviéndose libremente desde su horizontal, la aguja sea arrastrada por la oscilación del brazo hasta un punto situado a 10 mm por debajo de la horizontal que pasa por el centro de oscilación, punto cero de la escala de medida.

2.7.3.2.2. Material auxiliar

7) Regla graduada:

Una regla graduada, cuyas marcas estén separadas 127 mm, siendo la separación entre una marca exterior y la interior más próxima de 2,5 mm.

8) Termómetro:

Un termómetro con graduación en grados Celsius y escala de -10 a + 60 °C.

9) Recipientes para agua:

Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo agua potable o destilada. Uno con capacidad de 10 litros y el otro con capacidad de 0,5 litros. El

más pequeño llevará en el tapón un tubo de salida con orificio de unos 3 mm de diámetro.

10) Cepillo:

Un cepillo de cerdas de goma dura con longitud mayor a 2 cm, que pueda abarcar una superficie de barrido de 16 cm², para la limpieza de la superficie a medir.

11) Cinta métrica:

Una cinta métrica de longitud igual o superior a 15 m para situar los puntos de medida.

12) Caja de herramientas:

Caja para transportar las herramientas, zapatas, termómetro, regla, tiza, lapiceros, etc. Elementos todos necesarios para efectuar las mediciones en terreno.

13) Caja de transporte:

Es recomendable contar con una caja para transportar el equipo de medida.

2.7.3.2.3. Condiciones generales

2.7.3.2.3.1. Montaje del aparato

14) Se extrae el cuerpo principal del aparato de la caja de transporte y se coloca en posición de trabajo el pie posterior de la base, haciendo girar sobre el tornillo y sujetándolo con el mismo. Seguidamente se fija el brazo oscilante en la cabeza del aparato mediante la tuerca de fijación.

15) En el brazo del péndulo y sobre el eje, se ajusta la zapata de goma, sujetándola con una golilla y un pasador.

16) Se nivela el aparato por medio de los tornillos que van situados en cada uno de los pies de su base y del nivel de burbuja situado sobre la misma base.

17) A continuación se eleva la cabeza del aparato, de forma tal que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el cero de la escala de medida. Para ello se eleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo. Después se desplaza la aguja indicadora hasta el tope situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo. Seguidamente, presionando el pulsador se dispara el brazo del péndulo,

que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia delante. Se anota la lectura señalada por la guía de la escala del panel y se vuelve el brazo a su posición inicial de disparo. La corrección de la lectura cero se realiza mediante el ajuste de los anillos de fricción. Si la aguja sobrepasa el cero de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción.

2.7.3.2.3.2. Seguridad

- 18) Los temas relacionados con la seguridad y control de tránsito asociados con su uso, deben cumplir con la normativa vigente. Es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y condiciones de operación adecuadas para satisfacer la normativa vigente antes de comenzar a realizar las mediciones.

2.7.3.2.4. Procedimiento

2.7.3.2.4.1. Desarrollo en terreno y en lugares de muestreo

- 19) Se debe seleccionar el lugar a auscultar. Luego se procede a posicionar el equipo de forma longitudinal al camino, nivelándolo gracias a los tornillos que posee en sus tres apoyos guiándose por la burbuja que el equipo tiene.
- 20) Posteriormente se debe limpiar la superficie sobre la cual pasará la zapata, asegurándose de que no queden partículas sueltas. En este instante se debe colocar la galga bajo la palanca de elevación, para mover el brazo en forma vertical de modo que roce ligeramente la superficie a auscultar. De este modo se retira la galga con lo que el brazo quedará presionando la superficie con cierta fuerza. Ahora se debe colocar la regla a modo de corroborar que al mover ligeramente hacia un lado y otro la posición vertical del brazo, de tal forma que la zapata tome contacto por un borde y el otro a cada lado de las marcas de la regla graduada.
- 21) Una vez realizados los procedimientos anteriores se debe llevar el brazo a posición horizontal y listo para obturarlo. Luego se moja la superficie que barrerá la zapata con abundante agua. Posteriormente se obtura el botón de accionamiento y se suelta el brazo libremente.
- 22) Se debe registrar la temperatura del agua para cada punto de medición, cada vez que el recipiente se llene con agua nuevamente.

- 23) La aguja indicará el valor obtenido en el ensayo, la cual debe ser registrado.
- 24) En caso de que sea la primera medición del día se debe calentar previamente la zapata realizando el ensayo como mínimo 5 veces y sin mojar la superficie, antes de la realización de las mediciones.
- 25) Se realizarán 5 mediciones en cada punto, esto podrá extenderse si no se observa que los valores obtenidos fluctúan en un rango que no difiera en más de 5 puntos, de una determinación a otra, de lo contrario se debe proceder a recalibrar el equipo, chequeando la calibración del "0", hasta lograr que esto ocurra procediéndose a efectuar la medición nuevamente; de lo contrario deben detenerse las mediciones y llevar el equipo a un mantenimiento mayor.
- 26) Debe tenerse en cuenta que no se deben realizar mediciones con este equipo en presencia de lluvia debido a que es posible que los tornillos de calibración del "0" se mojen, imposibilitando al equipo poder calibrarlo y obteniéndose lecturas erróneas al realizar mediciones en estas condiciones.
- 27) Otro factor climático sobre el cual se deben tomar las medidas correspondientes es el viento ya que la aguja no tiene ningún sistema de fijación, más bien trabaja libremente y debido al viento esta altera su recorrido llevando a lecturas erróneas para la medición. En este caso se debería considerar la posibilidad de usar algún elemento que impida que el viento llegue directamente sobre el equipo.
- 28) Para efectos de estudios el equipo puede ser posicionado en cualquier dirección ya sea transversal o en algún ángulo determinado según sea el tránsito.
- 29) Es así como, en los pavimentos con tratamientos de texturado, cepillado o ranurado, es conveniente posicionar el péndulo en 20° respecto del desplazamiento de los vehículos.
- 30) Del mismo modo, si las combinaciones de pendiente y peralte dificultan la nivelación del equipo, éste debe ser dispuesto en un ángulo tal que permita realizarse la medición.
- 31) Ahora bien, las condiciones de temperatura de la superficie del pavimento deben encontrarse en un rango de 5°C a 40°C, ya que este efecto altera las mediciones. Esto inhabilita la opción de la determinación de este indicador en pavimentos

con escarcha o nieve en su superficie, excepto que se trate de algún estudio en particular.

2.7.3.2.4.2. Procedimiento de ensayo

32) El péndulo una vez montado, como se indica en “Montaje del Aparato”, se coloca en el punto de ensayo elegido de modo que la vertical del centro de la zapata coincida con el punto marcado, y que la dirección de barrido sea la elegida. Seguidamente se procede a su nivelación.

Comprobando el cero del aparato, se ajusta la altura de la cabeza del péndulo de forma que la zapata de goma en su contacto sobre la superficie del pavimento, recorra una longitud entre 124 y 127 mm. Se deja el brazo del péndulo libre y en su vertical accionando la palanca de elevación, con lo que se elevará la zapata de goma. Se baja entonces la cabeza del aparato, sin mover el brazo del péndulo de su posición vertical, hasta que la zapata justamente toque la superficie a medir. Se fija ahora la cabeza del aparato. Se hace oscilar en forma manual el brazo del péndulo hasta que la zapata toque justamente los bordes de la superficie de ensayo, primero a un lado y luego al otro de la vertical. La longitud de rozamiento será la distancia entre los dos bordes de contacto, en el recorrido de la zapata sobre la superficie a medir. La longitud de rozamiento correcta se comprueba usando la regla graduada. Todo roce de la zapata al moverse a través de la superficie de contacto deberá ser siempre evitado usando la palanca de elevación. Siempre que sea preciso, la corrección de la longitud de rozamiento se efectuará mediante una ligera elevación o descenso vertical de la cabeza del péndulo.

33) Una vez montado el aparato, comprobada la medida del cero y controlada la longitud de rozamiento de la zapata, se coloca el brazo del péndulo y la aguja indicadora en su posición correcta de disparo.

34) La superficie de pavimento a ensayar se limpia con el cepillo, asegurándose que quede libre de partículas sueltas.

35) Antes de efectuar las medidas de ensayo, se humedece la zapata con abundante agua limpia y se moja la superficie de pavimento, extendiendo el agua sobre el área de contacto ayudándose con el cepillo.

- 36) Se procede entonces a la realización de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo que arrastra, anotándose la lectura marcada por ésta en la escala y redondeando al número entero más próximo. Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se vuelven a su posición de disparo. La medida se repite cuatro veces sobre cada punto de ensayo y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar con agua a temperatura ambiente la superficie de ensayo antes de cada disparo. Si las lecturas de las cuatro medidas no difieren en más de tres unidades, se anotan los valores medidos como valor efectivo de la lectura en el punto ensayado. Si la diferencia entre las 4 lecturas es mayor a 3 unidades BPN, se continúa realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso se toma ésta última secuencia como valor efectivo de las lecturas en el punto ensayado.
- 37) Se mide la temperatura ambiente en el punto de ensayo, colocando el termómetro próximo sobre el pavimento y a la sombra. Así mismo se anota la temperatura del agua, cuyo recipiente debe estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo.
- 38) Después de un determinado número de mediciones efectuadas con el péndulo, 5 a 6 puntos de ensayo, se debe realizar una nueva comprobación del cero.

2.7.4. Metodología de cálculo

- 1) El coeficiente de resistencia al deslizamiento se expresa en tanto por uno, es por ello que la lectura promedio efectiva BPN debe expresarse en la siguiente forma:

$$CRD = \frac{BPN}{100}$$

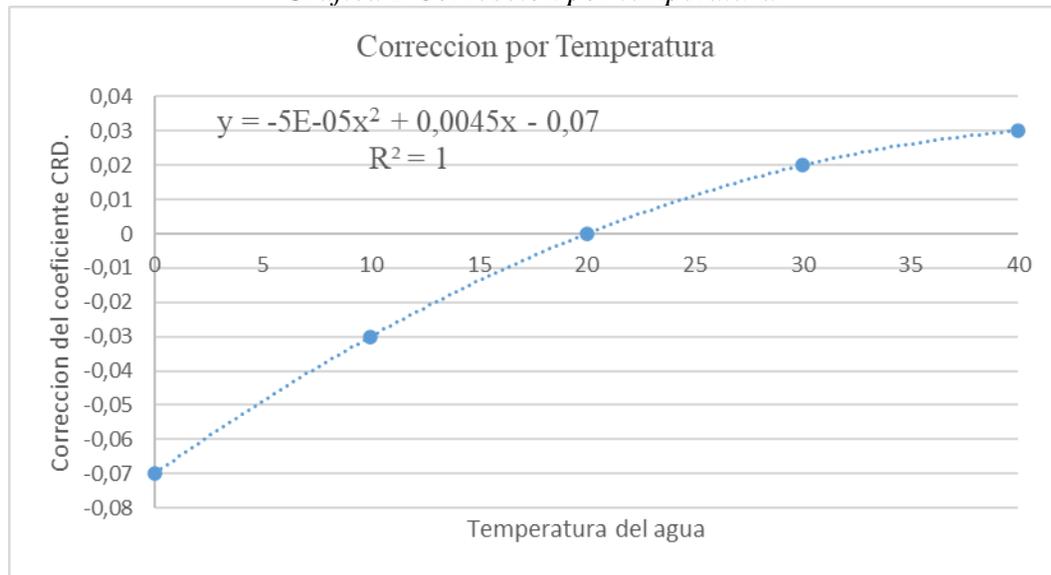
Donde:

CRD = Coeficiente de resistencia al deslizamiento.

BPN = British Pendulum Number (registro péndulo británico).

- 2) Las medidas efectuadas sobre pavimentos están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La corrección a aplicar es la descrita en la gráfica 1:

Gráfica 1 Corrección por temperatura.



Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 1 se puede obtener la ecuación la cual permitirá realizar la corrección por temperatura del CRD.

La ecuación es la siguiente:

$$y = -5x10^{-0.5} * x^2 + 0.0045 * x - 0.07$$

Donde:

X = Coeficiente de resistencia al deslizamiento CRD.

Y = Coeficiente de resistencia al deslizamiento CRD corregido.

3) Finalmente se procede a clasificar los valores obtenidos según la tabla 1.

Tabla 1 Criterio para evaluar los valores de fricción en la superficie de pavimento.

Fricción, Valor del CDR adimensional	Clasificación
< 0,50	Malo (derrapamiento de vehículo)
0,51 - 0,60	De regular a bueno
0,61 - 0,80	Bueno
0,81 - 0,90	De bueno a regular
> 0,91	Malo (desgaste de neumáticos)

Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México – Instituto Mexicano del Transporte.

2.8. Textura superficial del pavimento

Se refiere a las irregularidades de la superficie de un pavimento con respecto a una superficie plana verdadera, con longitudes de onda menores a quinientos milímetros. Dentro de este rango de longitudes de onda, la textura del pavimento se clasifica en los siguientes tipos:

- Microtextura: Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana verdadera, con longitudes de onda menores a 0.5 mm.
- Macrotextura: Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana verdadera, con longitudes de onda entre 0.5 y 50 mm.
- Megatextura: Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana verdadera, con longitudes de onda entre 50 y 500 mm.

Para caracterizar la macrotextura de un pavimento, se utilizan tres procedimientos:

- Método volumétrico: consiste en extender sobre el pavimento, en forma de círculo, un volumen de material (arena o esferas de vidrio). La medida del diámetro permite determinar el área del círculo, y dividiendo el volumen por el área se obtiene la profundidad medida de la textura.
- Medida del drenaje superficial (drenómetros): consiste en medir el tiempo que demora en evacuarse un volumen de agua determinado, ubicado en el interior del equipo. De esta forma se tiene un indicador que debe ser correlacionado con la profundidad de la textura.
- Medida del perfil a la escala de la macrotextura (texturómetros): actualmente existen tres tipos de perfilómetros, los cuales obtienen un perfil digital de la macrotextura. Los tipos son láser, de fotoseccionamiento y de aguja de contacto.

2.8.1. Ensayo de la mancha de arena

Este método llamado también ensayo del círculo de arena, describe el procedimiento para determinar la profundidad de la macrotextura de la superficie del pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material y la subsecuente medición del área total cubierta por éste. El método está sólo pensado para obtener un valor

promedio de la profundidad de textura y no se considera sensible a la microtextura de la superficie del pavimento.

Los pavimentos con importante nivel de textura superficial permitirán un contacto más eficiente (en términos de área de contacto) entre neumático y pavimento.

Este método es adecuado en ensayos in situ para determinar el promedio de profundidad de macrotextura de una superficie de pavimento. El conocimiento de la profundidad de macrotextura del pavimento sirve como herramienta para caracterizar la textura de la superficie. Cuando es utilizado en conjunto con otros ensayos, los valores de profundidad derivados de este método pueden ser utilizados para determinar las capacidades de resistencia al deslizamiento del pavimento y lo adecuado de los materiales o técnicas de acabado utilizadas. Cuando es utilizado en otros ensayos, se debe tener cuidado que todos los ensayos son aplicados en el mismo lugar. Producto del uso de la información obtenida mediante este método pueden resultar mejoramientos a las prácticas de acabado y programas de mantención.

Las mediciones de profundidad de textura obtenidas utilizando este método están influenciadas por las características de macrotextura del pavimento y no significativamente afectadas por la microtextura. La forma, tamaño y distribución de los áridos de la capa de rodadura son cualidades no abordadas por este método.

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

Figura 10 Medición de la macrotextura con el método de la mancha de arena.



Fuente: Elaboración propia.

2.8.1.1. Equipo y materiales

- 1) Se debe contar con arenas normalizadas obtenidas mediante la preparación de éstas en laboratorio, debido a que deben ser lavadas, limpiadas, secadas y tamizadas, obteniéndose dos tipos de arenas. Por un lado, se obtiene la arena tipo 80/100 que significa que pasa por el tamiz N°80 (0,18 mm) y es retenida por el tamiz N°100 (0,15 mm), y la arena tipo 100/200 cuya arena pasa por el tamiz N°100 (0,15 mm) y es retenida por el tamiz N°200 (0,75 mm). Como se menciona anteriormente esta arena debe estar libre de impurezas y debe encontrarse seca al momento de desarrollar el ensayo.
- 2) Cilindro contenedor de material, con un volumen interno predeterminado de al menos 25.000 mm³, para ser utilizado para determinar el volumen de material esparcido.
- 3) Disco de esparcir, plano y rígido, de 25 mm de espesor y 60 a 75 mm de diámetro, utilizado para esparcir el material. La parte inferior del disco debe ser cubierta por goma lisa y su parte superior debe contar con una manilla que facilite su agarre.
- 4) Escobillas, una de cerdas duras y otra de cerdas blandas, que serán utilizadas para limpiar la superficie de ensayo.

- 5) Caja protectora de viento, pantalla adecuada que evite las turbulencias de viento ocasionadas por el tránsito durante el ensayo.
- 6) Regla, de al menos 300 mm de longitud con subdivisiones de milímetro.
- 7) Balanza, se recomienda con precisión a 0,1 gramos para asegurarse que el material utilizado en el ensayo es igual en masa y volumen.

2.8.1.2. Condiciones generales

2.8.1.2.1. Calibración

- 8) En este equipo se requiere especial cuidado con la limpieza de la arena y con los elementos graduados antes descritos a fin de no alterar las mediciones obtenidas. Por lo tanto, la calibración en este caso está referida al cumplimiento estricto de las graduaciones tanto de arena y de recipientes como de elementos de medición que intervienen en el desarrollo del ensayo.

2.8.1.2.2. Seguridad

- 9) Es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y control de tránsito apropiado de acuerdo a la normativa vigente antes de la puesta en práctica del ensayo.

El personal que realiza el ensayo, como todos los equipos a su cargo, deben cumplir con las leyes vigentes. No obstante, lo anterior se recomienda tomar precauciones adicionales a las impuestas por la ley, para asegurar en todo momento una máxima seguridad del personal a cargo de las mediciones y de los vehículos que transitan por la vía donde se realizarán los ensayos.

2.8.1.3. Procedimiento

- 10) Área de muestra:

Inspeccione la superficie del pavimento a ser evaluada y seleccione un área seca y homogénea que no tenga singularidades tales como grietas o juntas. Limpie completamente la superficie utilizando las escobillas para remover todos los residuos o material suelto en la superficie. Coloque la caja protectora para viento alrededor del área a ensayar.

11) Material de muestra:

Llene el cilindro de volumen conocido con material seco y golpee suavemente la base de éste mientras lo llena. Agregue más material hasta llenar el cilindro hasta el tope, y posteriormente enráselo con una regla. Si dispone de una balanza de laboratorio, determine la masa de material dentro del cilindro y procure utilizar esta cantidad en cada uno de los ensayos.

12) Medida de ensayo:

Vacíe el volumen o masa de material sobre la superficie limpia dentro del área protegida al viento. Cuidadosamente esparza el material en forma circular con el disco plano, utilizando su lado de goma para estos efectos, llenando las cavidades de la superficie a ras con las crestas de los áridos de la capa de rodadura. Mida y registre el diámetro del área cubierta por el material tomando cinco medidas igualmente esparcidas sobre el círculo. Calcule y registre el promedio de las cinco medidas.

13) Para superficies muy lisas donde el diámetro del parche de material esparcido es mayor a 305 mm, es recomendable reducir a la mitad el volumen de material a utilizar.

2.8.2. Metodología de cálculo

- 1) Para el volumen empleado en el ensayo, primeramente se pesó la probeta vacía y posteriormente se llenó con la arena tamizada y se volvió a pesar la probeta llena, la diferencia obtenida es considerada como el volumen interno del cilindro cuyo valor es necesario para realizar los cálculos posteriores.
- 2) La profundidad media de la macrotextura MTD, se calcula de la siguiente manera:

$$MTD = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

Donde:

MTD = Profundidad media de macrotextura, mm.

V = Volumen de arena utilizada, mm³.

D = Diámetro promedio de área cubierta por la arena, mm.

3) Por último, se procede a realizar la clasificación según la siguiente tabla:

Tabla 2 Clases de macrotextura (DNIT, 2006).

Clasificación	HS (mm)
Muy lisa	$HS < 0,20$
Lisa	$0,20 < HS < 0,40$
Media	$0,40 < HS < 0,80$
Profunda	$0,80 < HS < 1,20$
Muy profunda	$HS > 1,20$

Fuente: Análisis del parámetro de macrotextura de pavimentos en servicio por medio del procesamiento digital de imágenes – Universidad Federal do Ceará.

2.9. Índice de fricción internacional (IFI)

Una de las manifestaciones más evidentes de evolución y del grado de desarrollo de un país depende, principalmente, de una buena y segura infraestructura vial; capaz de soportar las necesidades de movimiento del tránsito vehicular que se demanden en la actualidad y en el futuro.

Las cualidades de fricción en el pavimento juegan un papel importante dentro de la seguridad en carretera. La superficie de rodamiento debe proporcionar un adecuado nivel de fricción en el interfaz neumático – pavimento para proveer seguridad de operación a los vehículos. Los métodos y sistemas usados a través del mundo para medición de textura y resistencia al deslizamiento varían significativamente; es por esta razón que el comité técnico de la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras (PIARC) en Caracterización Superficial, decidió emprender un experimento internacional para comparar y armonizar mediciones de textura y resistencia al deslizamiento.

El objetivo general del experimento fue el de comparar la gran diversidad de métodos de evaluación usados alrededor del mundo y desarrollar un método capaz de convertir los resultados producidos por diferentes equipos a una escala común, llamada Índice de Fricción Internacional (IFI), de esta manera proveer una base para la estandarización y armonización internacional. Cada país podrá ser capaz de continuar usando sus métodos tradicionales de medición mientras permanece siendo posible la relación con el índice

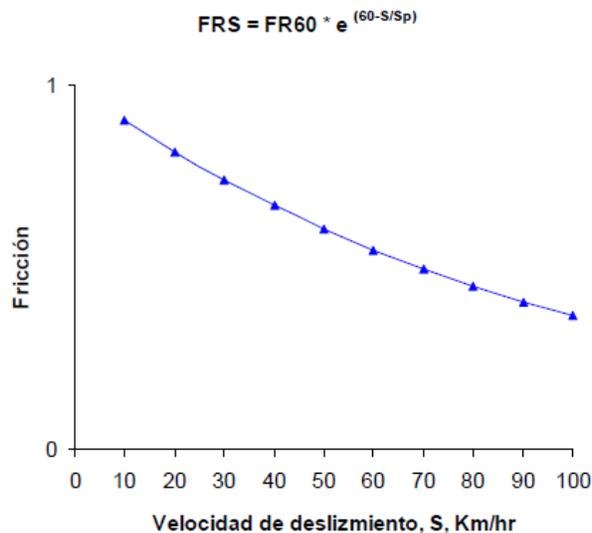
internacional. Además, los procedimientos fueron creados de tal manera que permitieran al método extenderse a equipos que no participaron en el experimento.

2.9.1. Modelo PIARC

El modelo PIARC es simplemente una modificación del de Pensilvania para el caso en que la velocidad de referencia es de 60 km/h. El modelo se describe entonces en función de una constante “FR60” que corresponde al valor de la fricción medida para esa velocidad de deslizamiento.

La figura 11 representa de forma genérica el modelo PIARC para un equipo determinado y se pueden apreciar los rangos de velocidad cubiertos por los equipos participantes en el experimento. Para un pavimento dado, se pueden establecer los parámetros FR60 y Sp a partir de las mediciones de fricción FR con cierto equipo para dos velocidades diferentes.

Figura 11 Curva de Fricción – Velocidad de desplazamiento del Modelo PIARC además de los rangos para varios de los equipos que participaron en el experimento.



Fuente. Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México.

2.9.2. Definición del IFI

El modelo PIARC descrito es la base de la definición del Índice de Fricción Internacional, IFI, a través de los parámetros F60 y Sp. Así entonces, el IFI de un

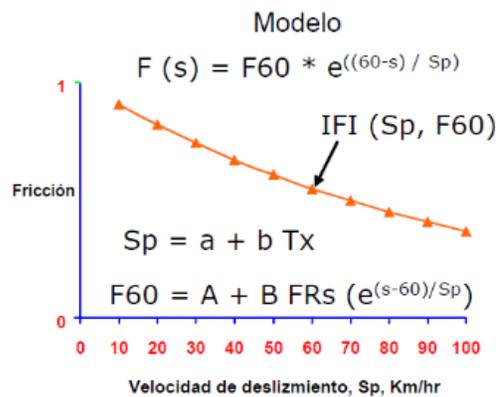
pavimento se expresa por el par de valores (F60, Sp) expresados entre paréntesis y separados por una coma; el primer valor representa la fricción y el segundo la macrotextura.

El primero es un número adimensional y el segundo es un número positivo sin límites determinados y con unidades de velocidad (km/h). El valor de cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno, adherencia. No es posible, por el momento, describir con una relación sencilla el segundo número que compone el IFI.

2.9.3. Implementación del IFI

Determinados los parámetros mencionados anteriormente se dice entonces que el tramo de pavimento en estudio tiene un valor del Índice de Fricción Internacional que se expresa como IFI (F60, Sp). El conocimiento de esos parámetros permite además conocer la curva de referencia estimada de fricción en función de la velocidad de desplazamiento (fig. 12) con una ecuación que se expresa como:

Figura 12 Modelo del Índice de Fricción Internacional, según documento PIARC.



Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México.

2.9.4. Metodología de cálculo

La determinación del índice de fricción está en función al experimento internacional para comparar y armonizar mediciones de textura y resistencia al deslizamiento elaborada por el comité técnico de la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras (PIARC).

El modelo PIARC es la base de la definición del índice de fricción internacional, a través de los parámetros F60 y Sp. Así entonces, el IFI de un pavimento se expresa por el par de valores (F60, Sp). El primero es un número adimensional y el segundo es un número positivo sin límites determinados y con unidades de velocidad (km/h). El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno, adherencia.

1) Determinación del parámetro Sp:

La constante de velocidad Sp puede ser determinada mediante una regresión lineal en función de la medida en campo de la macrotextura (Tx) tal que:

$$Sp = a + (b * Tx)$$

Donde:

Sp = Constante de velocidad.

a = Coeficiente obtenido según el equipo empleado.

b = Coeficiente obtenido según el equipo empleado.

Tx = Espesor de la macrotextura, mm.

Los valores de las constantes a y b para cada uno de los equipos se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 3 Valores de a y b para la estimación de la constante de velocidad.

Prueba	a	b
MPD por ASTM E 1845	14.2	89.7
MTD por ASTM E 965	-11.6	113.6

Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México – Instituto Mexicano del Transporte.

2) Determinación del parámetro F60:

Para la estimación de F60 se establece el tipo de equipo a emplear y se realiza la medición de la fricción FRS en una sección de un pavimento dado. Se determina la velocidad S que depende del tipo de la rueda de medición y de la velocidad V del vehículo de arrastre de acuerdo a lo que se indica en la tabla 4.

Tabla 4 Ecuaciones para determinar S según el tipo de equipo.

Tipo de Equipo	Ecuación para determinar S
Con rueda bloqueada	$S = V$
Con rueda parcialmente bloqueada	S = V por el % de desplazamiento.
Con rueda oblicua	S = V por el Sen α , donde α = ángulo de esviaje.

Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México – Instituto Mexicano del Transporte.

Se determina el valor de la constante FR60 usando el valor de la fricción FRS obtenida en campo con algún equipo a la velocidad de deslizamiento S, por lo cual se tiene la siguiente ecuación:

$$FR60 = FRS * e^{\frac{S-60}{Sp}}$$

Donde:

FR60 = Constante de la fricción media para una velocidad 60 km/h.

FRS = Constante de la fricción para la velocidad de desplazamiento.

S = Velocidad de desplazamiento de la llanta de prueba.

Sp = Constante de velocidad, km/h.

Finalmente se obtiene el valor buscado F60 a través de la siguiente correlación con FR60 establecida por el experimento PIARC:

$$F60 = A + (B * FR60)$$

Donde:

F60 = Parámetro de fricción para una velocidad de 60 km/h.

A = Constante según el equipo utilizado.

B = Constante según el equipo utilizado.

FR60 = Constante de fricción media para una velocidad de 60 km/h.

Donde A y B son constantes según el equipo utilizado para medir la fricción y sus valores se muestran en la tabla 5.

Con los valores obtenidos del IFI se pueden clasificar los resultados de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 5 Clasificación del Índice de Fricción Internacional.

Índice de Fricción Internacional (Adimensional)	Clasificación
< 0,50	Malo (deslizamiento del vehículo)
0,51 - 0,60	De regular a bueno
0,61 - 0,80	Bueno
0,81 - 0,90	De bueno a regular
> 0,91	Malo (desgaste de neumáticos)

Fuente: Documento PIARC.

La textura del pavimento también es posible calificarla, para ello se necesita del parámetro Sp, y basados en la tabla 6 se procede a su respectiva clasificación:

Tabla 6 Clasificación de la textura del pavimento.

SP (Parámetro de velocidad)	Clasificación
$100 > SP$	Textura abierta
$SP < 100$	Textura cerrada

Fuente: Documento PIARC.

Tabla 7 Lista de equipo que fueron calibrados para predecir el F60.

Llantas lisas		Clave	S	A	B	C
Características	Equipo		km/h	Cte.	Cte.	Cte.
Rueda bloqueada	ASTM E 274 (USA)	B6	65,0	0,045	0,925	0
	LCPC Skid Trailer (F)	D6	60,0	0,002	1,008	0
Rueda parcialmente bloqueada	OSCAR a 86% (N)	B4E	52,0	-0,030	0,864	0
	OSCAR a 20% (N)	B4E	12,0	0,119	0,643	0
	Komatsu skid Trailer (J)	C5	10,0	0,042	0,849	0
	DWW Trailer (NL)	C6E	43,0	0,019	0,868	0
	Griptester (UK)	D8	9,4	0,082	0,910	0
Rueda Oblicua	Stradograph (DK)	C9	12,5	0,054	0,770	0
	Odoliograph Wallon (B)	C10	12,9	0,113	0,729	0
	Odoliograph CRR (B)	D1E	20,5	0,113	0,746	0
	SCRIM Flemesh (B)	C3B	20,5	0,049	0,967	0
	SCRIM CEDEX (E)	C4	20,5	0,019	0,813	0
	SCRIM MOPT (E)	C8	20,5	0,032	0,873	0
	SCRIM SRM (D)	D2	20,5	0,017	0,850	0
	SCRIM GEOCISA (E)	D3	20,5	0,021	0,928	0
	SCRIM (F)	D4	20,5	-0,006	0,862	0
	SUMMS (I)		20,5	0,002	0,987	0
	SCRIMTEX (UK)	D5	17,1	0,033	0,872	0
Equipos con neumáticos gravados						
Rueda bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	B1	60,0	0,022	0,050	0,082
	Skiddometer (CH)	B2	60,0	0,026	0,504	0,099
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	60,0	-0,072	0,767	0,086
	ASTM E 274 (USA)	B6	65,0	-0,023	0,607	0,098
	Equipo de fricción (PL)	C10	60,0	-0,025	0,807	0,068
Rueda parcialmente bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	B1	12,0	0,141	0,323	0,074
	Skiddometer	B2	12,0	0,030	0,918	-0,014
	BV - 11 (S)	B3	12,0	0,040	0,856	-0,016
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	12,0	0,020	0,867	-0,006
Equipos con zapata						
Estáticos	DF tester at 60 km/h (J)	A13	60,0	-0,034	0,771	0
	DF tester at 20 km/h (J)	A13	20,0	0,081	0,723	0
	Péndulo de fricción BPT (USA)	A14	10,0	0,056	0,008	0
	Péndulo de fricción SRT (CH)	B7	10,0	0,044	0,010	0

Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México – Instituto Mexicano del Transporte.

**CAPÍTULO III
METODOLOGÍA Y
ANÁLISIS DE LOS
RESULTADOS EN EL
TRAMO DE ESTUDIO**

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN EL TRAMO DE ESTUDIO

3.1. Elección del tramo de estudio

El departamento de Tarija se ubica al extremo sur de Bolivia, geográficamente se encuentra dividido en seis provincias: Méndez, Cercado, Avilez, O'Connor, Arce y Gran Chaco.

La presente investigación aplicada se realizó en la provincia Arce, la cual consta de dos secciones municipales que son Padcaya y Bermejo. Dicha provincia limita al sur con la República de Argentina, al norte con las provincias Avilez y Cercado; al este con las provincias O'Connor y Gran chaco y al oeste con la provincia Avilez.

La primera sección o municipio de la provincia Arce es Padcaya y es en ella donde se optó por realizar el presente estudio. Específicamente se realizó en el tramo Padcaya – La Mamora, perteneciente a la red fundamental del Estado Plurinacional de Bolivia, propiamente este tramo es parte de la ruta nacional 1 de nuestro país.

El tramo Padcaya – La Mamora, se caracteriza por los factores climáticos adversos que la aquejan a lo largo del año, además de lo sinuoso de la carretera y sumado al poco mantenimiento que se realiza en dicho tramo hacen que sea un factor de riesgo potencial para los usuarios de la vía.

La elección de los puntos críticos dentro del tramo está en base a la información que se pudo obtener del organismo de tránsito, la cual al ser clasificada es de muy difícil acceso y hace muy dificultosa su obtención, pero se pudieron conseguir registro de los accidentes suscitados. Por lo cual se identificaron cuatro puntos críticos que son tomados para la presente investigación aplicada, cuyas zonas son: Puente Phayo, Puente Orozas, Puente Campanario y la Comunidad de Río Negro. En todos ellos se realizó la medición del coeficiente de resistencia al deslizamiento y de la textura superficial en partes iguales.

Dentro de cada punto crítico se tomó un kilómetro para realizar el estudio y se procedió a realizar las mediciones correspondientes cada 100 m haciendo un total de 4 km en

total. Dichas mediciones se realizaron en ambos carriles de la vía y en el lado de la huella exterior del vehículo tal cual lo indica el manual de ensayos y materiales asfaltos de la Administradora Boliviana de Carreteras.

Figura 13 Mapa del departamento de Tarija.



Fuente: Educa.com.bo

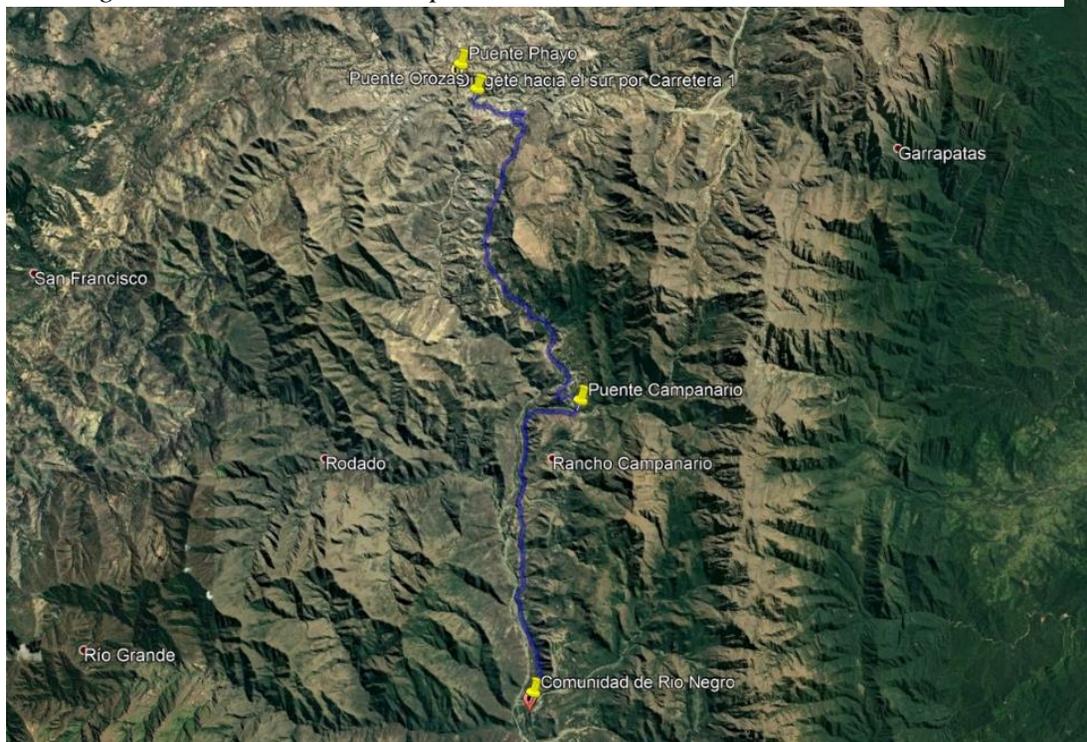
Figura 14 Mapa de la provincia Arce del departamento de Tarija.



Fuente: Educa.com.co

La distancia total que existe entre el Puente Phayo y la comunidad de Rio Negro, los puntos más alejados del estudio, es de 26.2 km.

Figura 15 Ubicación de los puntos críticos donde se realizó el estudio.



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Recopilación de datos del tramo elegido

Como ya se mencionó, el presente estudio se realizó en cuatro zonas críticas:

3.2.1. Puente Phayo

El puente Phayo está ubicado aproximadamente a 8,2 km del municipio de Padcaya, en el distrito 7 denominado Orozas Centro, a una altitud de 1890 m.s.n.m., es considerado un punto crítico por estar en medio de dos pendientes. El estudio se realizó 500 m previo al puente y 500 m posterior, dando un total de 1,0 km para el segmento de estudio, en el cual se realizaron las mediciones del coeficiente de resistencia al deslizamiento y de la textura superficial.

Las coordenadas del puente Phayo son las siguientes:

Tabla 8 Coordenadas KML Puente Phayo.

Punto de estudio	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
Puente Phayo	325109,927	7573832,610	1890

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16 Imagen satelital del puente Phayo y segmento de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Puente Orozas

El puente Orozas está ubicado muy próximo al anterior punto de estudio, el puente Phayo. Este puente está entre dos pendientes muy pronunciadas y con curvas de ingreso al mismo que son muy sinuosas, haciendo de este punto un lugar a priori muy crítico y de mucho riesgo tanto para los usuarios de la vía como para los comunarios.

El puente Orozas está a una altitud de 1873 m.s.n.m. y se ubica en el distrito 7 del municipio de Padcaya. Se realizaron las mediciones al igual que en el anterior punto,

tomando de referencia al puente y realizando las mediciones 500 m antes y 500 m después del puente tal como se muestra en la figura 17.

A continuación, se presenta la tabla 9 con las coordenadas del punto en estudio:

Tabla 9 Coordenadas KML del puente Orozas.

Punto de estudio	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
Puente Orozas	325489,406	7573252,368	1873

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17 Imagen satelital del puente Orozas y segmento de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Puente Campanario

Este puente está ubicado muy cerca a la comunidad de La Merced, aproximadamente a 23,5 km del municipio de Padcaya, en el distrito 6 y tiene una altitud de 1557 m.s.n.m.

Este tramo es sumamente crítico debido a que al ingresar al puente existe una pendiente muy pronunciada y concluyendo dicho punto se tiene una curva la cual es prácticamente continuación del mismo puente.

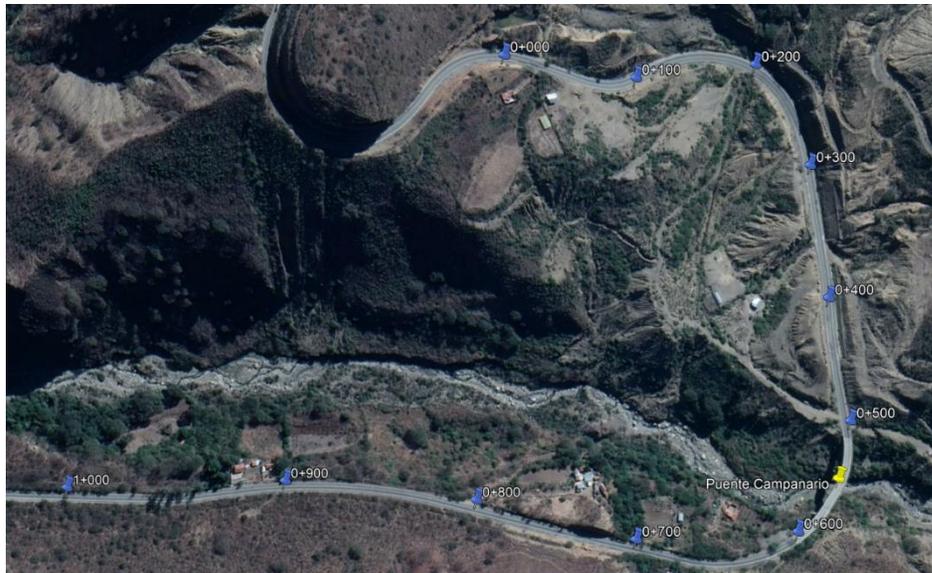
A continuación, se presentan las coordenadas del punto en estudio:

Tabla 10 Coordenadas KML del puente Campanario.

Punto de estudio	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
Puente Campanario	328687,724	7564132,490	1557

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18 Imagen satelital del puente Campanario y segmento de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Río Negro

La comunidad de Río Negro está próxima a La Mamora, está a una altitud de 1396 m.s.n.m. perteneciente al distrito 6 del municipio de Padcaya, es un punto denominado crítico por la gran cantidad de comunarios que circulan la vía, pero sobre todo del ganado principalmente vacuno que invade los carriles constantemente.

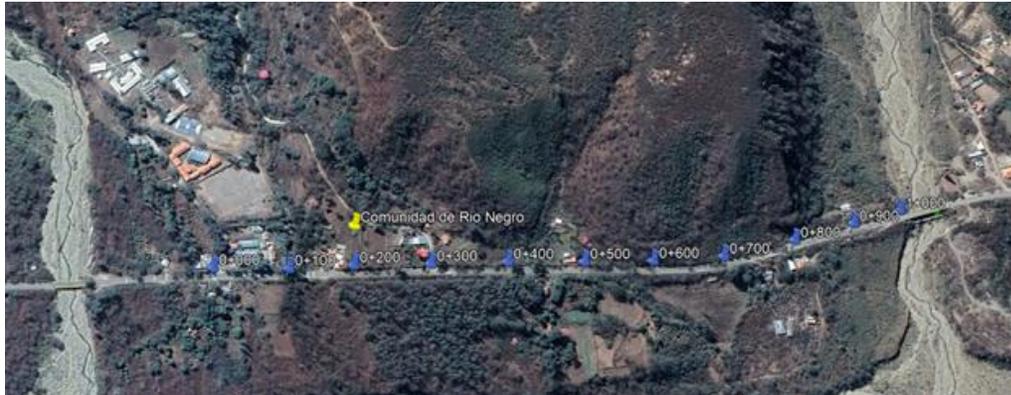
Esta comunidad está ubicada en las siguientes coordenadas:

Tabla 11 Coordenadas KML del puente Campanario.

Punto de estudio	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
Comunidad de Río Negro	327525,900	7554066,501	1396

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19 Imagen satelital de la comunidad de Río Negro y segmento de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Medición de la resistencia al deslizamiento y determinación de la textura superficial en el tramo elegido

3.3.1. Elección de la metodología a emplear

El método elegido para realizar la medición del coeficiente de resistencia al deslizamiento, es el propuesto por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), en el manual de ensayo de suelo y materiales asfaltos, el cual es el A0804. Método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el pavimento con péndulo británico (TRRL) (ASTM E 303 AASHTO T278-90) y cuyo procedimiento de medición esta descrito en el capítulo II del presente.

Por otra parte, la determinación de la textura superficial también se realizó en base al manual de ensayo de suelo y materiales asfaltos de la ABC, el cual es el A0805. Método para determinar la textura superficial del pavimento mediante ensayo del círculo de arena (ASTM E 965) y de igual manera esta descrito en el capítulo II.

3.3.2. Medición de la resistencia al deslizamiento con el método elegido

La medición de la resistencia al deslizamiento en los puntos críticos se realizó de la siguiente manera:

- 1) Primeramente, basados en el manual de dispositivos de control de tránsito de la ABC, y en coordinación con la institución responsable del tramo, se procedió a realizar el control y corte parcial del tránsito en un carril de la vía, para poder realizar las mediciones correspondientes. Al ser un tramo donde los vehículos imprimen velocidades elevadas y una carretera sinuosa, es de suma importancia la señalización en la zona de trabajo para evitar accidentes tanto de los usuarios como de todo aquel que circule por el lugar.
- 2) Una vez demarcados los puntos críticos, que fueron cuatro se procedió a delimitarlos cada 100 m, haciendo un total de 11 mediciones ya que para este estudio se realizó un análisis de 1 km en cada uno de ellos. En total fueron efectuadas 44 mediciones a lo largo de los 4 km de estudio.
- 3) En los días de estudio las condiciones climáticas fueron las óptimas, por lo cual no hubo inconvenientes por este factor.
- 4) Se siguió paso a paso todas las recomendaciones del ensayo de la ABC para las tomas del registro BPN (British Pendulum Number), en ambos carriles y en las huellas externas de estos, ya que son las más críticas.
- 5) Finalmente, una vez realizado el estudio de campo se procedió a analizar la información obtenida.

3.3.3. Medición de la textura superficial con el método elegido

- 1) Para la obtención de la textura superficial del pavimento, el estudio se basó en la norma (ASTM E 965), propuesta por la ABC, cuyo ensayo en la mancha de arena.
- 2) Dicha medición se realizó en los mismos puntos donde se hizo el estudio del coeficiente de resistencia al deslizamiento, por lo cual en tema de seguridad ya estaba contemplado el corte parcial del carril.
- 3) Por lo tanto, se obtuvo el mismo número de datos lo cual es fundamental para obtener el IFI, finalmente se procedió a realizar el análisis respectivo.

3.4. Datos obtenidos

Cabe mencionar que para la presente se denominará “pista 1” a la ruta Tarija – Bermejo y “pista 2” a la ruta Bermejo – Tarija.

3.4.1. Datos obtenidos puente Phayo

Tabla 12 Ensayo del péndulo británico en puente Phayo.

Proyecto	Evaluación del Índice de Accidentabilidad		Fecha	Martes 20 de abril del 2021			
			Registros (BPN)				
Km	Pista	T(°C)	1	2	3	4	
0+000	1	30	93	95	94	93	
	2	30	84	85	84	85	
0+100	1	34	54	54	54	55	
	2	34	60	64	62	60	
0+200	1	35	85	85	84	84	
	2	38	72	73	72	72	
0+300	1	38	64	62	62	62	
	2	38	95	92	90	90	
0+400	1	31	79	78	80	80	
	2	31	80	79	79	79	
0+500	1	30	76	76	77	76	
	2	30	65	65	68	65	
0+600	1	33	94	106	106	96	
	2	36	82	83	81	81	
0+700	1	38	100	99	99	99	
	2	38	96	92	95	96	
0+800	1	38	75	74	75	75	
	2	38	80	79	82	79	
0+900	1	36	112	111	110	111	
	2	36	95	97	95	97	
1+000	1	39	82	82	80	79	
	2	39	90	87	87	89	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13 Ensayo de la mancha de arena en puente Phayo.

Proyecto	Evaluación del Índice de Accidentabilidad		Fecha	Martes 20 de abril del 2021			
			Diámetros (mm)				
Km	Pista	Peso para el volumen de la muestra (gr)	1	2	3	4	
0+000	1	75,8	26,0	26,5	26,0	24,5	
	2	75,8	25,0	24,0	24,0	23,5	
0+100	1	75,8	30,0	26,0	29,0	30,5	
	2	75,8	28,0	28,5	29,0	29,0	
0+200	1	75,8	23,0	24,0	23,5	23,0	
	2	75,8	26,5	25,0	24,5	26,0	
0+300	1	75,8	24,0	24,0	24,0	25,0	
	2	75,8	25,0	26,0	25,5	25,0	
0+400	1	75,8	25,0	25,0	25,0	25,0	
	2	75,8	26,0	25,0	26,0	26,0	
0+500	1	75,8	30,0	29,0	28,5	29,0	
	2	75,8	30,0	29,0	30,5	30,0	
0+600	1	75,8	25,0	24,0	25,0	24,0	
	2	75,8	25,0	25,0	26,0	26,0	
0+700	1	75,8	22,0	22,0	22,0	22,0	
	2	75,8	21,0	21,0	21,5	21,0	
0+800	1	75,8	23,0	23,0	23,0	23,0	
	2	75,8	25,0	25,0	24,0	25,0	
0+900	1	75,8	24,0	25,0	24,0	25,0	
	2	75,8	23,0	23,0	24,0	23,0	
1+000	1	75,8	25,0	25,0	24,5	24,0	
	2	75,8	26,0	26,0	26,0	26,0	

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Datos obtenidos puente Orozas

Tabla 14 Ensayo del péndulo británico en puente Orozas.

Proyecto	Evaluación del Índice de Accidentabilidad		Fecha	Martes 20 de abril del 2021			
			Registros (BPN)				
Km	Pista	T(°C)	1	2	3	4	
0+000	1	37	62	63	63	64	
	2	37	70	73	71	71	
0+100	1	36	70	69	70	69	
	2	36	60	61	61	61	
0+200	1	36	75	76	78	78	
	2	36	80	83	83	81	
0+300	1	40	63	63	61	63	
	2	40	81	81	80	80	
0+400	1	44	80	87	84	80	
	2	43	70	74	71	71	
0+500	1	43	93	92	92	91	
	2	43	90	91	91	90	
0+600	1	44	95	96	94	93	
	2	42	85	84	84	84	
0+700	1	46	103	100	100	100	
	2	46	85	87	88	87	
0+800	1	46	111	110	109	110	
	2	46	90	89	89	88	
0+900	1	44	72	70	70	70	
	2	44	80	81	81	82	
1+000	1	45	80	79	79	80	
	2	46	80	80	82	81	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15 Ensayo de la mancha de arena en puente Orozas.

Proyecto	Evaluación del Índice de Accidentabilidad		Fecha	Martes 20 de abril del 2021			
			Diámetros (mm)				
Km	Pista	Peso para el volumen de la muestra (gr)	1	2	3	4	
0+000	1	75,8	26,0	28,0	28,0	27,5	
	2	75,8	25,0	25,5	25,5	26,0	
0+100	1	75,8	27,5	28,0	28,0	28,0	
	2	75,8	27,0	28,5	27,0	28,0	
0+200	1	75,8	24,0	24,0	24,0	25,0	
	2	75,8	26,0	26,0	25,0	26,0	
0+300	1	75,8	24,0	23,5	24,0	24,0	
	2	75,8	25,0	25,0	24,5	25,0	
0+400	1	75,8	26,0	26,5	25,0	25,0	
	2	75,8	25,0	25,0	26,0	25,0	
0+500	1	75,8	25,0	25,5	24,5	25,0	
	2	75,8	27,0	27,0	27,5	28,0	
0+600	1	75,8	24,0	24,0	24,5	24,5	
	2	75,8	26,0	26,0	25,0	26,5	
0+700	1	75,8	24,0	24,0	23,0	24,0	
	2	75,8	24,0	24,0	24,0	24,0	
0+800	1	75,8	25,0	26,0	26,0	24,0	
	2	75,8	27,0	26,0	26,0	26,5	
0+900	1	75,8	25,0	25,0	25,5	26,0	
	2	75,8	25,0	24,5	24,0	24,0	
1+000	1	75,8	26,0	25,0	26,0	25,0	
	2	75,8	24,0	24,0	25,0	24,5	

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Datos obtenidos puente Campanario

Tabla 16 Ensayo del péndulo británico en puente Campanario.

Proyecto	Evaluación del Índice de Accidentabilidad		Fecha	Miércoles 21 de abril del 2021			
			Registros (BPN)				
Km	Pista	T(°C)	1	2	3	4	
0+000	1	24	86	84	85	86	
	2	24	95	94	95	95	
0+100	1	24	78	78	80	78	
	2	24	80	81	81	80	
0+200	1	22	30	31	30	30	
	2	22	90	96	90	90	
0+300	1	22	45	44	44	45	
	2	28	73	72	72	74	
0+400	1	28	50	50	50	51	
	2	28	62	60	63	60	
0+500	1	30	56	56	57	56	
	2	29	62	64	63	62	
0+600	1	30	45	46	46	47	
	2	30	58	56	56	56	
0+700	1	28	60	60	60	60	
	2	35	74	70	70	71	
0+800	1	32	69	70	69	69	
	2	32	65	66	64	65	
0+900	1	28	70	74	75	75	
	2	28	77	78	77	75	
1+000	1	28	76	75	75	75	
	2	30	85	84	84	83	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17 Ensayo de la mancha de arena en puente Campanario.

Proyecto	Evaluación del Índice de Accidentabilidad		Fecha	Martes 20 de abril del 2021			
			Diámetros (mm)				
Km	Pista	Peso para el volumen de la muestra (gr)	1	2	3	4	
0+000	1	75,8	27,5	26,0	26,5	27,0	
	2	75,8	27,0	27,0	27,5	26,0	
0+100	1	75,8	26,0	26,0	27,0	26,0	
	2	75,8	27,0	26,0	26,0	26,0	
0+200	1	75,8	23,0	24,0	23,0	23,0	
	2	75,8	24,0	25,0	25,0	25,0	
0+300	1	75,8	25,0	23,0	23,0	23,0	
	2	75,8	25,0	24,0	25,5	25,0	
0+400	1	75,8	24,0	23,0	23,0	23,0	
	2	75,8	23,0	23,5	23,0	24,0	
0+500	1	75,8	24,0	24,0	24,0	24,0	
	2	75,8	25,0	24,5	24,0	24,0	
0+600	1	75,8	26,0	27,0	25,5	25,0	
	2	75,8	25,0	24,0	24,0	25,0	
0+700	1	75,8	25,0	24,5	24,5	25,0	
	2	75,8	24,0	25,5	24,0	24,0	
0+800	1	75,8	24,0	24,0	23,0	23,0	
	2	75,8	26,0	26,0	25,0	26,0	
0+900	1	75,8	24,0	24,0	24,0	25,0	
	2	75,8	25,0	25,0	25,0	26,0	
1+000	1	75,8	25,0	24,0	25,0	25,0	
	2	75,8	24,0	23,0	23,0	24,0	

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Datos obtenidos comunidad de Río Negro

Tabla 18 Ensayo del péndulo británico en la comunidad de Río Negro.

Proyecto	Evaluación del Índice de Accidentabilidad		Fecha	Miércoles 21 de abril del 2021			
			Registros (BPN)				
Km	Pista	T(°C)	1	2	3	4	
0+000	1	40	75	74	74	75	
	2	40	59	59	60	58	
0+100	1	37	87	90	90	93	
	2	36	80	81	78	80	
0+200	1	40	94	94	94	92	
	2	40	98	99	98	98	
0+300	1	38	74	75	74	76	
	2	34	74	70	72	70	
0+400	1	35	85	83	83	83	
	2	33	80	80	82	80	
0+500	1	32	76	78	80	79	
	2	32	88	85	85	86	
0+600	1	39	89	90	90	85	
	2	39	86	85	85	86	
0+700	1	40	85	84	83	86	
	2	40	95	92	93	95	
0+800	1	42	83	83	84	85	
	2	41	90	91	91	93	
0+900	1	42	68	68	69	68	
	2	42	80	84	83	83	
1+000	1	40	74	74	75	74	
	2	41	77	76	76	76	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19 Ensayo de la mancha de arena en la comunidad de Río Negro.

Proyecto	Evaluación del Índice de Accidentabilidad		Fecha	Martes 20 de abril del 2021			
			Diámetros (mm)				
Km	Pista	Peso para el volumen de la muestra (gr)	1	2	3	4	
0+000	1	75,8	24,0	24,0	23,0	23,0	
	2	75,8	24,0	25,0	24,0	25,0	
0+100	1	75,8	26,0	26,0	26,0	25,5	
	2	75,8	26,5	26,0	26,0	25,5	
0+200	1	75,8	26,0	26,0	26,0	26,5	
	2	75,8	25,0	25,0	26,0	25,0	
0+300	1	75,8	27,0	27,0	27,0	27,0	
	2	75,8	24,0	25,0	24,0	24,0	
0+400	1	75,8	25,0	24,0	25,5	25,0	
	2	75,8	26,0	26,0	26,0	25,5	
0+500	1	75,8	26,0	26,0	27,0	26,0	
	2	75,8	26,0	26,0	26,0	27,0	
0+600	1	75,8	26,0	25,5	26,0	25,5	
	2	75,8	25,0	25,5	25,5	25,0	
0+700	1	75,8	25,0	25,0	25,0	24,5	
	2	75,8	26,0	25,0	25,0	25,5	
0+800	1	75,8	25,0	24,5	25,5	26,5	
	2	75,8	25,0	26,0	26,0	25,0	
0+900	1	75,8	26,0	27,0	26,0	26,0	
	2	75,8	26,0	26,0	27,0	27,0	
1+000	1	75,8	26,0	26,5	26,0	26,0	
	2	75,8	27,0	26,5	27,0	26,0	

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Procesamiento de los datos obtenidos

Para el procesamiento de los datos obtenidos tanto por el péndulo británico como con la mancha de arena, primeramente, es necesario obtener el error absoluto y porcentual en cada punto de estudio, esto a fin de corroborar que estén dentro de los parámetros permitidos por la norma.

Los valores de errores máximos permitidos en los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 20 Errores máximos permitidos para los ensayos.

Error máximo permitido según norma AASHTO M-261-(96)	Ensayo con el Péndulo británico	10%
Error máximo permitido según norma NLT 335/87	Ensayo de la mancha de arena	5%

Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos – Ing. Fabricio Leiva.

3.5.1. Determinación del error máximo permitido en el ensayo del péndulo británico y mancha de arena

A fin de demostración se tomará como ejemplo la progresiva 0+100 en el puente Orozas pista 1, cuyos datos son:

Tabla 21 Registro BPN en progresiva 0+100 puesta 1 puente Orozas.

Proyecto	Evaluación del Índice de Accidentabilidad		Fecha	Martes 20 de abril del 2021				Promedio
			Registros (BPN)					
Km	Pista	T(°C)	1	2	3	4		
0+100	1	36	70	69	70	69	69,5	

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de entrada para proceder a realizar la teoría de errores, se realizarán los siguientes pasos a fin de saber si los registros BPN obtenidos son válidos o no.

1) Desviación estándar:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n-1} - \frac{n * x^2}{n-1}}$$

Donde:

S = Desviación estándar.

Xi = Registros BPN.

n = Número de registros.

x = Promedio de los registros BPN.

$$s = \sqrt{\frac{70^2 + 69^2 + 70^2 + 69^2}{4-1} - \frac{4 * 69.5^2}{4-1}} = 0.5774$$

2) Error absoluto:

$$Ea = \left| \frac{\sum BPN - x}{n} \right|$$

Donde:

Ea = Error absoluto.

BPN = Registros obtenidos con el péndulo británico.

x = Promedio de los registros BPN.

n = Número de registros.

$$Ea = \left| \frac{(70 - 69.5) + (69 - 69.5) + (70 - 69.5) + (69 - 69.5)}{4} \right| = 0.5$$

3) Error relativo:

$$Er = \frac{Ea}{x} * 100$$

Donde:

Er = Error relativo porcentual.

Ea = Error absoluto.

x = Promedio de los registros BPN.

$$Er = \frac{0.5}{69.5} * 100 = 0.719\%$$

Tabla 22 Errores obtenidos de la medición del BPN en la progresiva 0+100 pista 1 del puente Orozas.

Promedio	Desviación estándar	Error absoluto				Error relativo	
		1	2	3	4	Promedio	Porcentual
69,5	0,5774	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,719%

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Resultados obtenidos del cálculo de errores efectuado en los puntos críticos

Tabla 23 Estimación de los errores para el ensayo con el péndulo británico en puente Phayo y puente Orozas.

Km	Pista	Puente Phayo			Puente Orozas		
		Desviación estándar	Error relativo	Error porcentual	Desviación estándar	Error relativo	Error porcentual
0+000	1	0,96	0,75	0,80%	0,82	0,50	0,79%
	2	0,58	0,50	0,59%	1,26	0,88	1,23%
0+100	1	0,50	0,38	0,69%	0,58	0,50	0,72%
	2	1,91	1,50	2,44%	0,50	0,38	0,62%
0+200	1	0,58	0,50	0,59%	1,50	1,25	1,63%
	2	0,50	0,38	0,52%	1,50	1,25	1,53%
0+300	1	1,00	0,75	1,20%	1,00	0,75	1,20%
	2	2,36	1,75	1,91%	0,58	0,50	0,62%
0+400	1	0,96	0,75	0,95%	3,40	2,75	3,32%
	2	0,50	0,38	0,47%	1,73	1,25	1,75%
0+500	1	0,50	0,38	0,49%	0,82	0,50	0,54%
	2	1,50	1,13	1,71%	0,58	0,50	0,55%
0+600	1	6,40	5,50	5,47%	1,29	1,00	1,06%
	2	0,96	0,75	0,92%	0,50	0,38	0,45%
0+700	1	0,50	0,38	0,38%	1,50	1,13	1,12%
	2	1,89	1,38	1,45%	1,26	0,88	1,01%
0+800	1	0,50	0,38	0,50%	0,82	0,50	0,45%
	2	1,41	1,00	1,25%	0,82	0,50	0,56%
0+900	1	0,82	0,50	0,45%	1,00	0,75	1,06%
	2	1,15	1,00	1,04%	0,82	0,50	0,62%
1+000	1	1,50	1,25	1,55%	0,58	0,50	0,63%
	2	1,50	1,25	1,42%	0,96	0,75	0,93%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24 Estimación de los errores para el ensayo con el péndulo británico en puente Campanario y comunidad de Río Negro.

Km	Pista	Puente Campanario			Comunidad de Río Negro		
		Desviación estándar	Error relativo	Error porcentual	Desviación estándar	Error relativo	Error porcentual
0+000	1	0,96	0,75	0,88%	0,58	0,50	0,67%
	2	0,50	0,38	0,40%	0,82	0,50	0,85%
0+100	1	1,00	0,75	0,96%	2,45	1,50	1,67%
	2	0,58	0,50	0,62%	1,26	0,88	1,10%
0+200	1	0,50	0,38	1,24%	1,00	0,75	0,80%
	2	3,00	2,25	2,46%	0,50	0,38	0,38%
0+300	1	0,58	0,50	1,12%	0,96	0,75	1,00%
	2	0,96	0,75	1,03%	1,91	1,50	2,10%
0+400	1	0,50	0,38	0,75%	1,00	0,75	0,90%
	2	1,50	1,25	2,04%	1,00	0,75	0,93%
0+500	1	0,50	0,38	0,67%	1,71	1,25	1,60%
	2	0,96	0,75	1,20%	1,41	1,00	1,16%
0+600	1	0,82	0,50	1,09%	2,38	1,75	1,98%
	2	1,00	0,75	1,33%	0,58	0,50	0,58%
0+700	1	0,00	0,00	0,00%	1,29	1,00	1,18%
	2	1,89	1,38	1,93%	1,50	1,25	1,33%
0+800	1	0,50	0,38	0,54%	0,96	0,75	0,90%
	2	0,82	0,50	0,77%	1,26	0,88	0,96%
0+900	1	2,38	1,75	2,38%	0,50	0,38	0,55%
	2	1,26	0,88	1,14%	1,73	1,25	1,52%
1+000	1	0,50	0,38	0,50%	0,50	0,38	0,51%
	2	0,82	0,50	0,60%	0,50	0,38	0,49%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25 Estimación de los errores para el ensayo de la mancha de arena en puente Phayo y puente Orozas.

Km	Pista	Puente Phayo			Puente Orozas		
		Desviación estándar	Error relativo	Error porcentual	Desviación estándar	Error relativo	Error porcentual
0+000	1	0,87	0,63	2,43%	0,95	0,69	2,51%
	2	0,63	0,44	1,81%	0,41	0,25	0,98%
0+100	1	2,02	1,44	4,98%	0,25	0,19	0,67%
	2	0,48	0,38	1,31%	0,75	0,63	2,26%
0+200	1	0,48	0,38	1,60%	0,50	0,38	1,55%
	2	0,91	0,75	2,94%	0,50	0,38	1,46%
0+300	1	0,50	0,38	1,55%	0,25	0,19	0,79%
	2	0,48	0,38	1,48%	0,25	0,19	0,75%
0+400	1	0,00	0,00	0,00%	0,75	0,63	2,44%
	2	0,50	0,38	1,46%	0,50	0,38	1,49%
0+500	1	0,63	0,44	1,50%	0,41	0,25	1,00%
	2	0,63	0,44	1,46%	0,48	0,38	1,37%
0+600	1	0,58	0,50	2,04%	0,29	0,25	1,03%
	2	0,58	0,50	1,96%	0,63	0,44	1,69%
0+700	1	0,00	0,00	0,00%	0,50	0,38	1,58%
	2	0,25	0,19	0,89%	0,00	0,00	0,00%
0+800	1	0,00	0,00	0,00%	0,96	0,75	2,97%
	2	0,50	0,38	1,52%	0,48	0,38	1,42%
0+900	1	0,58	0,50	2,04%	0,48	0,38	1,48%
	2	0,50	0,38	1,61%	0,48	0,38	1,54%
1+000	1	0,48	0,38	1,52%	0,58	0,50	1,96%
	2	0,00	0,00	0,00%	0,48	0,38	1,54%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26 Estimación de los errores para el ensayo de la mancha de arena en puente Campanario y comunidad de Río Negro.

Km	Pista	Puente Campanario			Comunidad de Río Negro		
		Desviación estándar	Error relativo	Error porcentual	Desviación estándar	Error relativo	Error porcentual
0+000	1	0,65	0,50	1,87%	0,58	0,50	2,13%
	2	0,63	0,44	1,63%	0,58	0,50	2,04%
0+100	1	0,50	0,38	1,43%	0,25	0,19	0,72%
	2	0,50	0,38	1,43%	0,41	0,25	0,96%
0+200	1	0,50	0,38	1,61%	0,25	0,19	0,72%
	2	0,50	0,38	1,52%	0,50	0,38	1,49%
0+300	1	1,00	0,75	3,19%	0,00	0,00	0,00%
	2	0,63	0,44	1,76%	0,50	0,38	1,55%
0+400	1	0,50	0,38	1,61%	0,63	0,44	1,76%
	2	0,48	0,38	1,60%	0,25	0,19	0,72%
0+500	1	0,00	0,00	0,00%	0,50	0,38	1,43%
	2	0,48	0,38	1,54%	0,50	0,38	1,43%
0+600	1	0,85	0,63	2,42%	0,29	0,25	0,97%
	2	0,58	0,50	2,04%	0,29	0,25	0,99%
0+700	1	0,29	0,25	1,01%	0,25	0,19	0,75%
	2	0,75	0,56	2,31%	0,48	0,38	1,48%
0+800	1	0,58	0,50	2,13%	0,85	0,63	2,46%
	2	0,50	0,38	1,46%	0,58	0,50	1,96%
0+900	1	0,50	0,38	1,55%	0,50	0,38	1,43%
	2	0,50	0,38	1,49%	0,58	0,50	1,89%
1+000	1	0,50	0,38	1,52%	0,25	0,19	0,72%
	2	0,58	0,50	2,13%	0,48	0,38	1,41%

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Análisis de la determinación de errores en ambos ensayos

Como se puede evidenciar en las tablas 23 a 26, tanto el ensayo del péndulo británico como de la mancha de arena se encuentran dentro del rango permitido descrito en la tabla 20. Es por ello que con esta verificación satisfactoria se procedió a realizar los demás cálculos.

3.6. Procesamiento de datos validos

3.6.1. Ensayo del péndulo británico

3.6.1.1. Metodología a emplear

Una vez obtenido el promedio de los registros BPN, y validados por la teoría de errores, se procede a calcular el coeficiente de resistencia al deslizamiento, el cual se denominará a partir de ahora como CRD.

Como ejemplo se mostrará el cálculo a efectuar en todos los puntos, en el puente Phayo, progresiva 0+000 y pista 1.

Tabla 27 Registros BPN progresiva 0+000 pista 1 en puente Phayo.

Proyecto	Evaluación del Índice de Accidentabilidad		Fecha				Promedio
			Martes 20 de abril del 2021				
Km	Pista	T(°C)	Registros (BPN)				
			1	2	3	4	
0+000	1	30	93	95	94	93	93,75

Fuente: Elaboración propia.

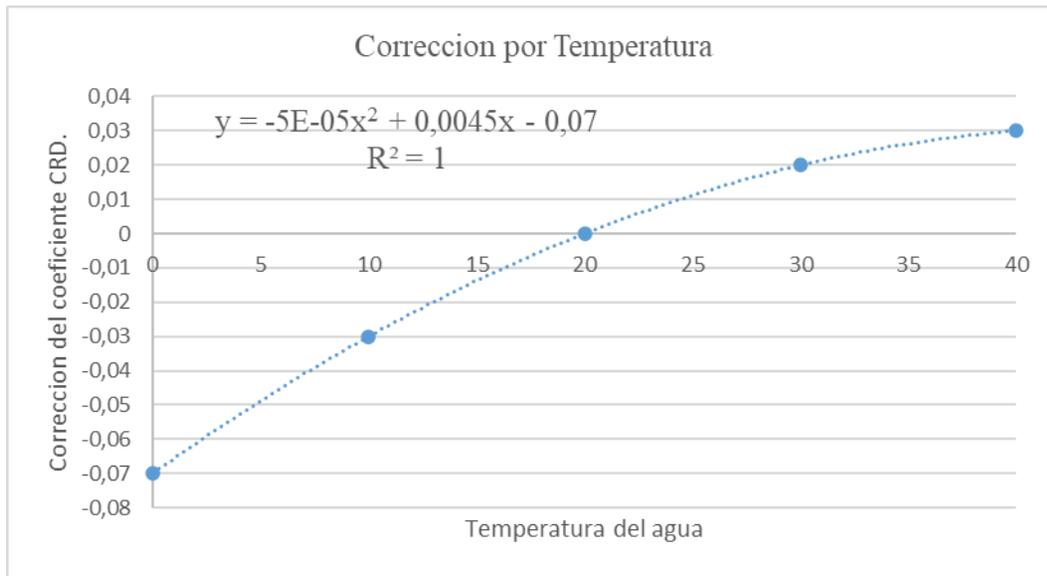
Para ello es necesario aplicar la siguiente ecuación, corrección por temperatura y su respectiva clasificación:

- 1) El coeficiente de resistencia al deslizamiento se expresa en tanto por uno, es por ello que la lectura promedio efectiva BPN debe expresarse en la siguiente forma:

$$CRD = \frac{BPN}{100}$$
$$CRD = \frac{93,75}{100} = 0,94$$

- 2) Las medidas efectuadas sobre pavimentos están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La corrección a aplicar es la descrita en la gráfica 2:

Gráfica 2 Corrección por temperatura.



Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 2 se puede obtener la ecuación la cual permitirá realizar la corrección por temperatura del CRD.

La ecuación es la siguiente:

$$y = -5x10^{-0,5} * x^2 + 0,0045 * x - 0,07$$

$$y = -\left(5x10^{-0,5} * (0,94^2)\right) + (0,0045 * 0,94) - 0,07$$

$$y = 0,96$$

3) Finalmente se procede a clasificar los valores obtenidos según la tabla 28.

Tabla 28 Criterio para evaluar los valores de fricción en la superficie de pavimento.

Fricción, Valor del CDR adimensional	Clasificación
< 0,50	Malo (derrapamiento de vehículo)
0,51 - 0,60	De regular a bueno
0,61 - 0,80	Bueno
0,81 - 0,90	De bueno a regular
> 0,91	Malo (desgaste de neumáticos)

Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México – Instituto Mexicano del Transporte.

3.7.1.2. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos en los cuatro puntos de estudio son los siguientes:

Tabla 29 Resultados del coeficiente de resistencia al deslizamiento en puente Phayo y puente Orozas.

Km	Pista	Puente Phayo		Puente Orozas	
		CRD corregido	Clasificación	CRD corregido	Clasificación
0+000	1	0,96	Malo	0,66	Bueno
	2	0,87	De bueno a regular	0,74	Bueno
0+100	1	0,57	De regular a bueno	0,72	Bueno
	2	0,64	Bueno	0,63	Bueno
0+200	1	0,87	De bueno a regular	0,79	Bueno
	2	0,75	Bueno	0,84	De bueno a regular
0+300	1	0,65	Bueno	0,66	Bueno
	2	0,95	Malo	0,84	De bueno a regular
0+400	1	0,81	De bueno a regular	0,86	De bueno a regular
	2	0,81	De bueno a regular	0,75	Bueno
0+500	1	0,78	Bueno	0,95	Malo
	2	0,68	Bueno	0,94	Malo
0+600	1	1,03	Malo	0,98	Malo
	2	0,84	De bueno a regular	0,87	De bueno a regular
0+700	1	1,02	Malo	1,04	Malo
	2	0,98	Malo	0,90	De bueno a regular
0+800	1	0,78	Bueno	1,13	Malo
	2	0,83	De bueno a regular	0,92	Malo
0+900	1	1,14	Malo	0,74	Bueno
	2	0,99	Malo	0,84	De bueno a regular
1+000	1	0,84	De bueno a regular	0,83	De bueno a regular
	2	0,91	Malo	0,84	De bueno a regular

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30 Resultados del coeficiente de resistencia al deslizamiento en puente Campanario y comunidad de Río Negro.

Km	Pista	Puente Campanario		Comunidad de Río Negro	
		CRD corregido	Clasificación	CRD corregido	Clasificación
0+000	1	0,86	De bueno a regular	0,78	Bueno
	2	0,96	Malo	0,62	Bueno
0+100	1	0,79	Bueno	0,93	Malo
	2	0,81	De bueno a regular	0,82	De bueno a regular
0+200	1	0,31	Malo	0,97	Malo
	2	0,92	Malo	1,01	Malo
0+300	1	0,45	Malo	0,78	Bueno
	2	0,74	Bueno	0,74	Bueno
0+400	1	0,52	De regular a bueno	0,86	De bueno a regular
	2	0,63	Bueno	0,83	De bueno a regular
0+500	1	0,58	De regular a bueno	0,81	De bueno a regular
	2	0,65	Bueno	0,88	De bueno a regular
0+600	1	0,48	Malo	0,91	Malo
	2	0,59	De regular a bueno	0,88	De bueno a regular
0+700	1	0,62	Bueno	0,88	De bueno a regular
	2	0,74	Bueno	0,97	Malo
0+800	1	0,72	Bueno	0,87	De bueno a regular
	2	0,67	Bueno	0,94	Malo
0+900	1	0,75	Bueno	0,71	Bueno
	2	0,78	Bueno	0,86	De bueno a regular
1+000	1	0,77	Bueno	0,77	Bueno
	2	0,86	De bueno a regular	0,79	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Ensayo de la mancha de arena

3.6.2.1. Metodología a emplear

Una vez corroborados los diámetros obtenidos en el presente ensayo, se procede a realizar el cálculo de la profundidad media de macrotextura, el cual es el siguiente:

- 1) Para el volumen empleado en el ensayo, primeramente se pesó la probeta vacía y posteriormente se llenó con la arena tamizada y se volvió a pesar la probeta llena, la diferencia obtenida es considerada como el volumen interno del cilindro cuyo valor es necesario para realizar los cálculos posteriores.

Peso probeta vacia = 41,9 gr

Peso probeta llena = 75,8 gr

Volumen de la muestra = 75,8 gr – 41,9 gr = 33,9 gr = 33900 mm³

Para efectos de cálculo y como demostración, se trabajará con los datos de puente Phayo, progresiva 0+000 y pista 1:

Tabla 31 Diámetros obtenidos del ensayo de círculo de arena en la progresiva 0+000 pista 1 del puente Phayo.

Proyecto	Evaluación del Índice de Accidentabilidad		Fecha	Martes 20 de abril del 2021				Promedio
			Diámetros (mm)					
Km	Pista	Peso para el volumen de la muestra (gr)	1	2	3	4		
0+000	1	75,8	26	26,5	26	24,5	25,75	

Fuente: Elaboración propia.

- 2) La profundidad media de la macrotextura MTD, se calcula de la siguiente manera:

$$MTD = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

$$MTD = \frac{4 * (33900 \text{ mm}^3)}{\pi * (257,50 \text{ mm})^2} = 0,65 \text{ mm}$$

- 3) Por último, se procede a realizar la clasificación según la siguiente tabla:

Tabla 32 Clases de macrotextura (DNIT, 2006).

Clasificación	HS (mm)
Muy lisa	HS < 0,20
Lisa	0,20 < HS < 0,40
Media	0,40 < HS < 0,80
Profunda	0,80 < HS < 1,20
Muy profunda	HS > 1,20

Fuente: Análisis del parámetro de macrotextura de pavimentos en servicio por medio del procesamiento digital de imágenes – Universidad Federal do Ceará.

3.6.2.2. Resultados obtenidos

Tabla 33 Resultados de la macrotextura superficial en puente Phayo y puente Orozas.

Km	Pista	Puente Phayo			Puente Orozas		
		Promedio (mm)	Espesor de la macrotextura (mm)	Clases de macrotextura	Promedio (mm)	Espesor de la macrotextura (mm)	Clases de macrotextura
0+000	1	257,50	0,65	Media	273,75	0,58	Media
	2	241,25	0,74	Media	255,00	0,66	Media
0+100	1	288,75	0,52	Media	278,75	0,56	Media
	2	286,25	0,53	Media	276,25	0,57	Media
0+200	1	233,75	0,79	Media	242,50	0,73	Media
	2	255,00	0,66	Media	257,50	0,65	Media
0+300	1	242,50	0,73	Media	238,75	0,76	Media
	2	253,75	0,67	Media	248,75	0,70	Media
0+400	1	250,00	0,69	Media	256,25	0,66	Media
	2	257,50	0,65	Media	252,50	0,68	Media
0+500	1	291,25	0,51	Media	250,00	0,69	Media
	2	298,75	0,48	Media	273,75	0,58	Media
0+600	1	245,00	0,72	Media	242,50	0,73	Media
	2	255,00	0,66	Media	258,75	0,64	Media
0+700	1	220,00	0,89	Profunda	237,50	0,77	Media
	2	211,25	0,97	Profunda	240,00	0,75	Media
0+800	1	230,00	0,82	Profunda	252,50	0,68	Media
	2	247,50	0,70	Media	263,75	0,62	Media
0+900	1	245,00	0,72	Media	253,75	0,67	Media
	2	232,50	0,80	Media	243,75	0,73	Media
1+000	1	246,25	0,71	Media	255,00	0,66	Media
	2	260,00	0,64	Media	243,75	0,73	Media

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34 Resultados de la macrotextura superficial en puente Campanario y comunidad de Río Negro.

Km	Pista	Puente Campanario			Comunidad de Río Negro		
		Promedio (mm)	Espesor de la macrotextura (mm)	Clases de macrotextura	Promedio (mm)	Espesor de la macrotextura (mm)	Clases de macrotextura
0+000	1	257,50	0,60	Media	235,00	0,78	Media
	2	241,25	0,60	Media	245,00	0,72	Media
0+100	1	288,75	0,63	Media	258,75	0,64	Media
	2	286,25	0,63	Media	260,00	0,64	Media
0+200	1	233,75	0,80	Media	261,25	0,63	Media
	2	255,00	0,70	Media	252,50	0,68	Media
0+300	1	242,50	0,78	Media	270,00	0,59	Media
	2	253,75	0,70	Media	242,50	0,73	Media
0+400	1	250,00	0,80	Media	248,75	0,70	Media
	2	257,50	0,79	Media	258,75	0,64	Media
0+500	1	291,25	0,75	Media	262,50	0,63	Media
	2	298,75	0,73	Media	262,50	0,63	Media
0+600	1	245,00	0,64	Media	257,50	0,65	Media
	2	255,00	0,72	Media	252,50	0,68	Media
0+700	1	220,00	0,70	Media	248,75	0,70	Media
	2	211,25	0,73	Media	253,75	0,67	Media
0+800	1	230,00	0,78	Media	253,75	0,67	Media
	2	247,50	0,65	Media	255,00	0,66	Media
0+900	1	245,00	0,73	Media	262,50	0,63	Media
	2	232,50	0,68	Media	265,00	0,61	Media
1+000	1	246,25	0,70	Media	261,25	0,63	Media
	2	260,00	0,78	Media	266,25	0,61	Media

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. Índice de fricción internacional (IFI)

3.6.3.1. Ejemplo de cálculo para la obtención del IFI

Como ejemplo ilustrativo del método PIARC, se realizará el cálculo del IFI en la progresiva 0+600 pista 2 del puente Campanario, cuyos datos son los siguientes:

Tabla 35 Datos para ejemplo de cálculo del IFI en progresiva 0+600 pista 2 del puente Campanario.

Km	Pista	Espesor de la macrotextura (mm)	CRD corregido
0+600	2	0,72	0,59

Fuente: Elaboración propia.

$$Sp = a + b * Tx$$

De la tabla 3 obtendremos el valor de las constantes a y b:

$$Sp = -11,60 + 113,60 * (0,72 \text{ mm})$$

$$Sp = 70,0876 \text{ km/h}$$

Para la estimación del FR60 se considera con el péndulo británico un S = 10km/h.

$$FR60 = FRS * e^{\frac{S-60}{Sp}}$$

$$FR60 = 59 * e^{\frac{(10 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 60 \frac{\text{km}}{\text{h}})}{70,0876}}$$

$$FR60 = 28,6638$$

$$F60 = A + B * FR60$$

De la tabla 7 se obtendrán los valores de A y B, esto depende del equipo que se utilice para realizar la medición:

$$F60 = 0,056 + (0,008 * 28,6638)$$

$$F60 = 0,2853$$

Según la clasificación de la tabla 28 este punto de estudio tiene una clasificación del IFI mala, mientras que según la tabla 32 su clasificación es cerrada.

3.6.3.3. Resultados obtenidos

Tabla 36 Resultados del IFI puente Phayo y puente Orozas.

Km	Pista	Puente Phayo				Puente Orozas			
		Sp	F60	Clasificación del IFI	Clasificación de la textura del pavimento	Sp	F60	Clasificación del IFI	Clasificación de la textura del pavimento
0+000	1	62,35	0,40	Malo	Cerrada	53,83	0,26	Malo	Cerrada
	2	72,65	0,40	Malo	Cerrada	63,81	0,33	Malo	Cerrada
0+100	1	47,21	0,21	Malo	Cerrada	51,50	0,27	Malo	Cerrada
	2	48,24	0,24	Malo	Cerrada	52,65	0,25	Malo	Cerrada
0+200	1	78,14	0,42	Malo	Cerrada	71,78	0,37	Malo	Cerrada
	2	63,81	0,33	Malo	Cerrada	62,35	0,36	Malo	Cerrada
0+300	1	71,78	0,32	Malo	Cerrada	74,42	0,32	Malo	Cerrada
	2	64,55	0,40	Malo	Cerrada	67,64	0,37	Malo	Cerrada
0+400	1	66,85	0,36	Malo	Cerrada	63,07	0,37	Malo	Cerrada
	2	62,35	0,35	Malo	Cerrada	65,31	0,33	Malo	Cerrada
0+500	1	46,20	0,27	Malo	Cerrada	66,85	0,42	Malo	Cerrada
	2	43,34	0,23	Malo	Cerrada	53,83	0,35	Malo	Cerrada
0+600	1	70,09	0,46	Malo	Cerrada	71,78	0,45	Malo	Cerrada
	2	63,81	0,36	Malo	Cerrada	61,64	0,37	Malo	Cerrada
0+700	1	89,71	0,52	De bueno a regular	Cerrada	75,33	0,48	Malo	Cerrada
	2	98,27	0,53	De bueno a regular	Cerrada	73,53	0,42	Malo	Cerrada
0+800	1	81,09	0,39	Malo	Cerrada	65,31	0,48	Malo	Cerrada
	2	68,45	0,38	Malo	Cerrada	58,89	0,37	Malo	Cerrada
0+900	1	70,09	0,50	De bueno a regular	Cerrada	64,55	0,33	Malo	Cerrada
	2	79,11	0,48	Malo	Cerrada	70,93	0,39	Malo	Cerrada
1+000	1	69,26	0,38	Malo	Cerrada	63,81	0,36	Malo	Cerrada
	2	60,93	0,38	Malo	Cerrada	70,93	0,39	Malo	Cerrada

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37 Resultados del IFI puente Campanario y comunidad de Río Negro.

Km	Pista	Puente Campanario				Comunidad de Río Negro			
		Sp	F60	Clasificación del IFI	Clasificación de la textura del pavimento	Sp	F60	Clasificación del IFI	Clasificación de la textura del pavimento
0+000	1	56,92	0,34	Malo	Cerrada	77,19	0,38	Malo	Cerrada
	2	56,29	0,37	Malo	Cerrada	70,09	0,30	Malo	Cerrada
0+100	1	59,56	0,33	Malo	Cerrada	61,64	0,39	Malo	Cerrada
	2	59,56	0,34	Malo	Cerrada	60,93	0,35	Malo	Cerrada
0+200	1	79,11	0,19	Malo	Cerrada	60,24	0,39	Malo	Cerrada
	2	68,45	0,41	Malo	Cerrada	65,31	0,43	Malo	Cerrada
0+300	1	77,19	0,24	Malo	Cerrada	55,66	0,31	Malo	Cerrada
	2	67,64	0,34	Malo	Cerrada	71,78	0,35	Malo	Cerrada
0+400	1	79,11	0,28	Malo	Cerrada	67,64	0,39	Malo	Cerrada
	2	78,14	0,32	Malo	Cerrada	61,64	0,35	Malo	Cerrada
0+500	1	73,53	0,29	Malo	Cerrada	59,56	0,33	Malo	Cerrada
	2	70,93	0,31	Malo	Cerrada	59,56	0,36	Malo	Cerrada
0+600	1	61,64	0,23	Malo	Cerrada	62,35	0,38	Malo	Cerrada
	2	70,09	0,29	Malo	Cerrada	65,31	0,39	Malo	Cerrada
0+700	1	68,45	0,29	Malo	Cerrada	67,64	0,39	Malo	Cerrada
	2	70,93	0,35	Malo	Cerrada	64,55	0,41	Malo	Cerrada
0+800	1	77,19	0,36	Malo	Cerrada	64,55	0,38	Malo	Cerrada
	2	62,35	0,30	Malo	Cerrada	63,81	0,40	Malo	Cerrada
0+900	1	71,78	0,36	Malo	Cerrada	59,56	0,30	Malo	Cerrada
	2	65,31	0,35	Malo	Cerrada	58,22	0,35	Malo	Cerrada
1+000	1	68,45	0,35	Malo	Cerrada	60,24	0,33	Malo	Cerrada
	2	77,19	0,42	Malo	Cerrada	57,57	0,32	Malo	Cerrada

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Análisis de la accidentabilidad en los puntos críticos

La información de accidentabilidad debe ser proporcionada por la policía boliviana, en la dirección departamental de tránsito transporte y seguridad vial del departamento de Tarija–Bolivia.

Bajo este aspecto fue que se realizó la solicitud respectiva al por entonces director departamental de tránsito, cuya respuesta fue negativa y se puede evidenciar en el anexo VIII.

Es por ello que se trabajó con dos tipos de información para la presente:

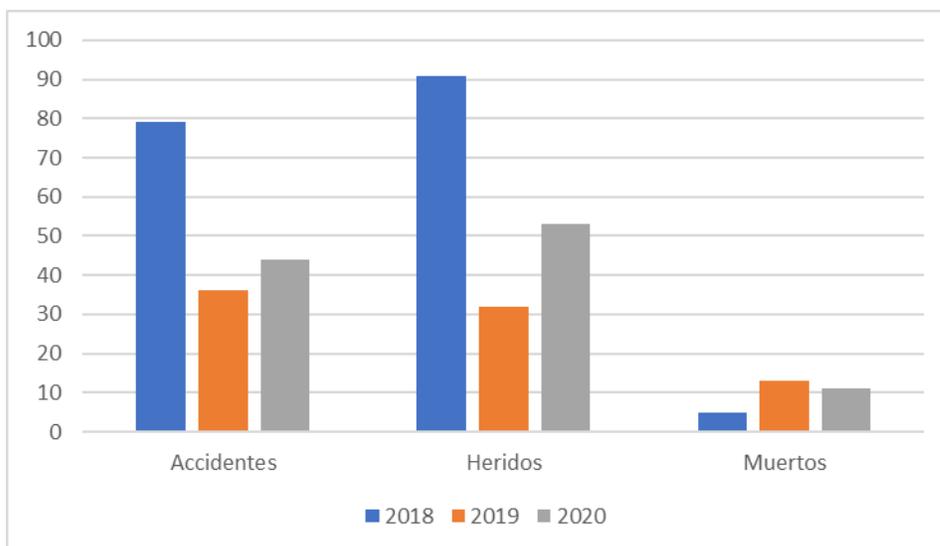
- 1) La información de accidentabilidad de los puntos críticos que son puente Phayo, puente Orozas, puente Campanario y comunidad de Río Negro de las gestiones 2013 a 2017 fue recopilada de un proyecto de grado de la U.A.J.M.S. cuyos datos fueron obtenidos del organismo de tránsito.
- 2) La información correspondiente a las gestiones 2018 a 2020 fue proporcionada por el organismo de tránsito bajo diferentes gestiones realizadas por miembros de otras instituciones.

3.7.1. Magnitud del problema

Primeramente, se estimará el índice de accidentabilidad y de morbilidad para conocer la magnitud del problema, para ello es necesario trabajar con los datos de la accidentabilidad de todo el tramo carretero Tarija – Bermejo perteneciente a la red fundamental de nuestro país, esto a fin de obtener resultados más ilustrativos que reflejen las condiciones reales de la vía. Es por ello que se trabajarán con datos obtenidos del organismo de tránsito de las gestiones 2018 a 2020.

Según el reporte de la división de tránsito, se tienen los siguientes datos de las gestiones en estudio:

Gráfica 3 Reporte de accidentabilidad carretera Tarija - Bermejo gestión 2018-2020.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.1.1. Índice de accidentabilidad

Indica el número de accidentes en el año por cada 100.000 habitantes. Matemáticamente se expresa como:

$$I_{A/P} = \frac{N^{\circ} \text{ de accidentes en el año} * 100.000}{N^{\circ} \text{ de habitantes}}$$

3.7.1.1.1. Resultados del índice de accidentabilidad

Tabla 38 Índice de accidentabilidad en la carretera Tarija - Bermejo.

Gestión	N° de accidentes en la carretera Tarija - Bermejo	N° de habitantes del departamento de Tarija según datos del INE	Índice de accidentabilidad
2018	79	391.226	20,19
2019	36		9,20
2020	44		11,25

Fuente: Elaboración propia.

3.7.1.2. Índice de morbilidad

Representa al número de heridos en el año por cada 100.000 habitantes. Se expresa como:

$$I_{morb/P} = \frac{N^{\circ} \text{ de heridos en el año} * 100.000}{N^{\circ} \text{ de habitantes}}$$

3.7.1.2.1. Resultados del índice de morbilidad

Tabla 39 Índice de morbilidad en la carretera Tarija - Bermejo.

Gestión	N° de heridos en el año en la carretera Tarija - Bermejo	N° de habitantes del departamento de Tarija según datos del INE	Índice de morbilidad
2018	91	391.226	23,26
2019	32		8,18
2020	53		13,55

Fuente: Elaboración propia.

3.7.1.3. Índice de mortalidad

Representa al número de muertos en el año por cada 100.000 habitantes en la carretera de estudio. La ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$I_{mort/P} = \frac{N^{\circ} \text{ de muertos en el año} * 100.000}{N^{\circ} \text{ de habitantes}}$$

3.7.1.3.1. Resultados del índice de mortalidad

Tabla 40 Índice de mortalidad en la carretera Tarija - Bermejo.

Gestión	N° de muertos en el año en la carretera Tarija - Bermejo	N° de habitantes del departamento de Tarija según datos del INE	Índice de mortalidad
2018	5	391.226	1,28
2019	13		3,32
2020	11		2,81

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Causas de los accidentes

Para el análisis de las causas de los accidentes se tomaron los cuatro puntos críticos donde se realizó el estudio tanto del coeficiente de resistencia al deslizamiento como de la textura superficial del pavimento. Para ello se empleó la información de los puntos específicos de las gestiones 2013 a 2017, cuya información refleja los accidentes en el puente Phayo, puente Orozas, puente Campanario y comunidad de Río Negro.

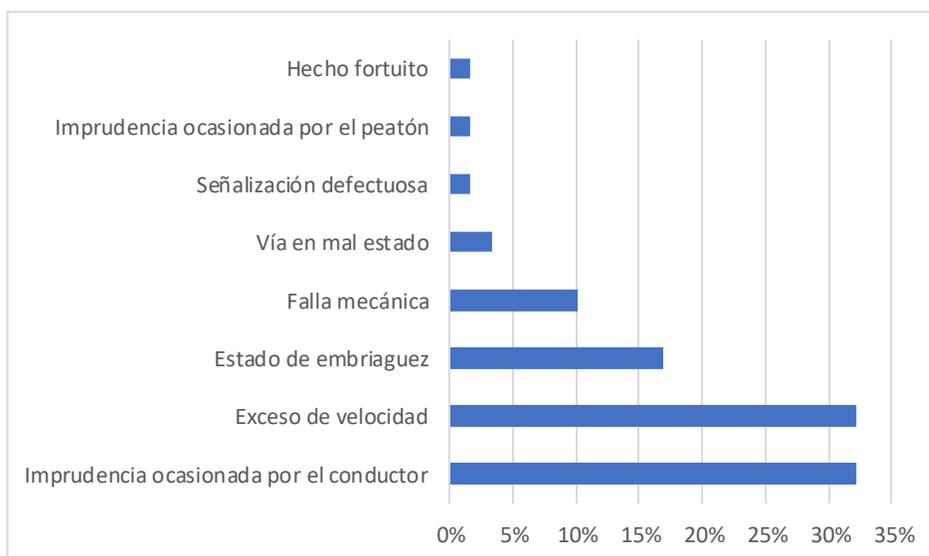
Además, la información de las gestiones 2018 a 2020 no indica si específicamente el accidente fue en los puntos críticos, pero al ser en la zona de influencia podemos darlos por válidos, dichos accidentes según el reporte de tránsito se suscitaron en las siguientes localidades: comunidad Orozas abajo, comunidad La Merced, comunidad Orozas y comunidad de Río Negro. Por lo cual con la información de las gestiones 2013 a 2020 se pudo evidenciar las causas más frecuentes de los accidentes suscitados en los segmentos de estudio y se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 41 Causales de los accidentes en la zona de estudio.

Causales de los accidentes en la zona de estudio		
Imprudencia ocasionada por el conductor	19	32%
Exceso de velocidad	19	32%
Estado de embriaguez	10	17%
Falla mecánica	6	10%
Vía en mal estado	2	3%
Señalización defectuosa	1	2%
Imprudencia ocasionada por el peatón	1	2%
Hecho fortuito	1	2%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4 Causales de los accidentes en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede evidenciar en la gráfica 4, más del 80% de los accidentes suscitados en el tramo de estudio son ocasionados directamente por irresponsabilidad del conductor, lo cual trae consigo que el tiempo de reacción al realizar una maniobra sea mayor y sumado al mal estado de la carretera, el usuario tiene muchas probabilidades de tener un accidente.

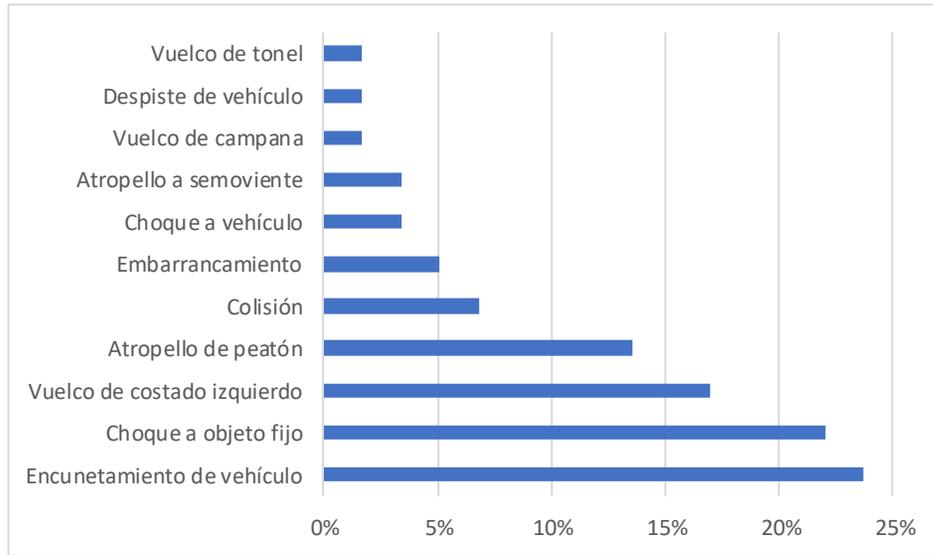
A continuación, se puede evidenciar descripción del hecho ocasionado por el accidente en la zona de estudio:

Tabla 42 Descripción del hecho en la zona de estudio.

Descripción del hecho en la zona de estudio		
Encunetamiento de vehículo	14	24%
Choque a objeto fijo	13	22%
Vuelco de costado izquierdo	10	17%
Atropello de peatón	8	14%
Colisión	4	7%
Embarrancamiento	3	5%
Choque a vehículo	2	3%
Atropello a semoviente	2	3%
Vuelco de campana	1	2%
Despiste de vehículo	1	2%
Vuelco de tonel	1	2%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5 Descripción del hecho en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 5, se puede evidenciar que más del 60% de los hechos ocasionados por los accidentes, tienen como único implicado al conductor del vehículo, esto es un indicativo de que el factor humano es predominante en cualquier carretera, pero sumado a un índice de fricción internacional malo hace que los tramos estudiados sean de alto riesgo para los usuarios de la vía.

3.8. Análisis de los resultados obtenidos

En nuestro medio existe un factor predominante en cuanto a la accidentabilidad en carreteras se refiere y como se puede evidenciar en la gráfica 4 de la presente, es el factor humano, ya que en los segmentos de estudio se pudo constatar que más del 81% de los accidentes suscitados tienen como responsable directo al conductor del vehículo ya sea por causales como la imprudencia ocasionada por el usuario, el exceso de velocidad o el estado de embriaguez. Lo cual conlleva principalmente a generar accidentes cuya responsabilidad es únicamente del usuario tal cual se puede evidenciar en la gráfica 5 donde el 63% de los accidentes tienen como responsable directo al conductor, esto debido a una reacción lenta o una imprudencia al momento de conducir.

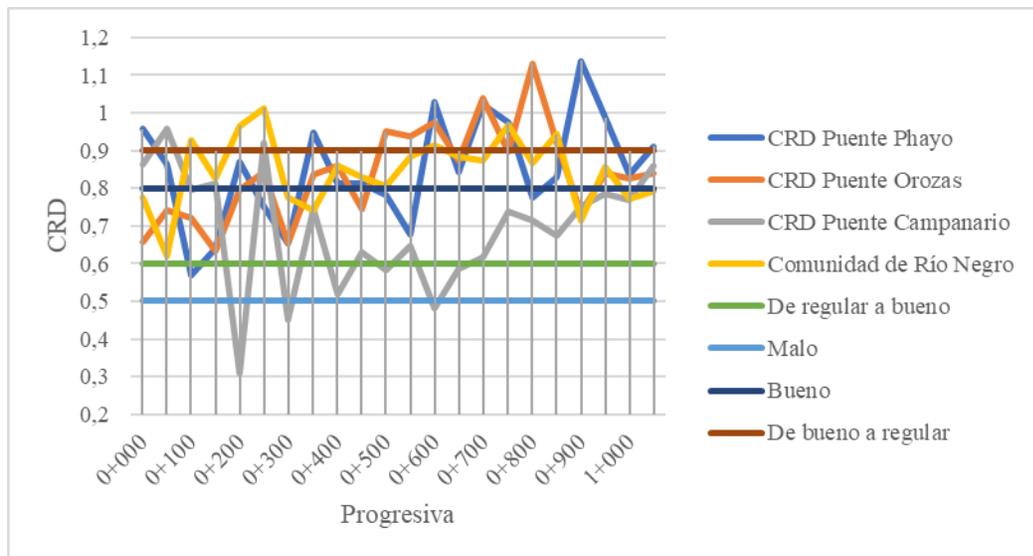
Es por ello la importancia de este estudio ya que los segmentos analizados al ser parte de la carretera Tarija – Bermejo pertenecientes a la red fundamental del Estado

Plurinacional de Bolivia, tiene un índice de accidentabilidad muy alto el cual en la gestión 2018 fue de 20,19 accidentes por cada 100.000 habitantes con una tasa de morbilidad de 23,26 heridos por cada 100.000 habitantes haciendo de este tramo de riesgo para los usuarios.

También se pudo estimar que el índice de mortalidad en esta carretera es de 3,32 muertes por cada 100.000 habitantes, esto en la gestión 2019.

Una de las posibles causales que aumenten y generen mayor número de accidentes es el coeficiente de resistencia al deslizamiento, los resultados de dicho coeficiente en los puntos críticos de estudio se presentan en la siguiente gráfica:

Gráfica 6 Coeficiente de resistencia al deslizamiento en los puntos críticos.

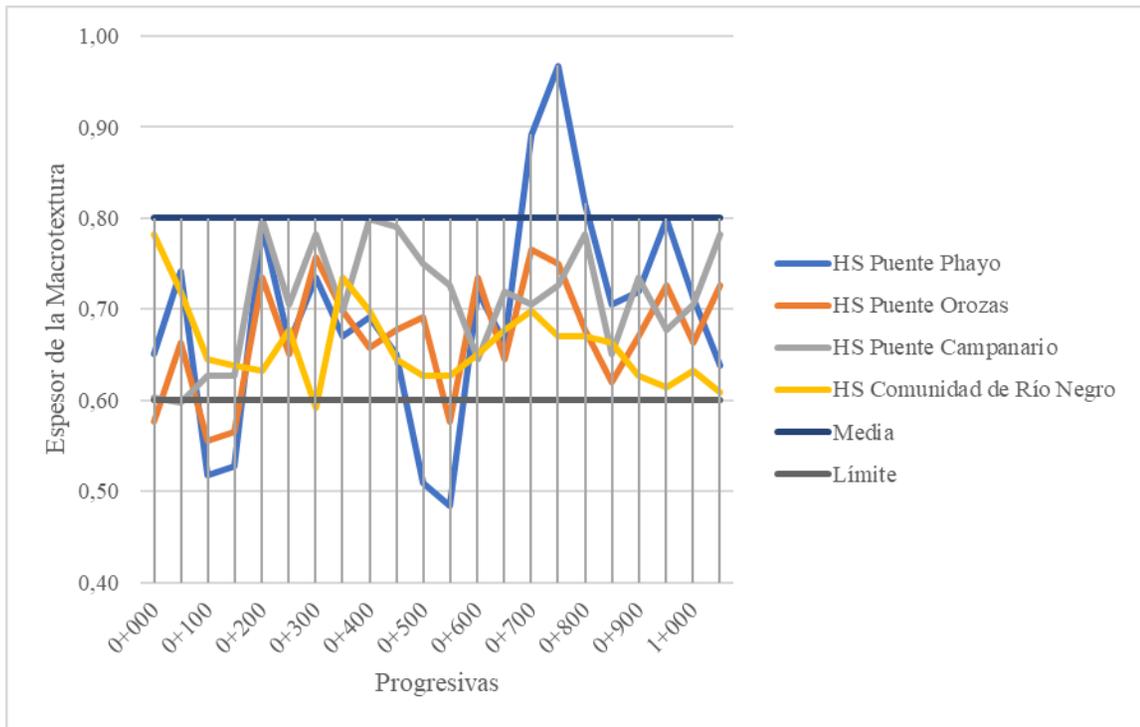


Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 6 podemos concluir que existe un coeficiente de resistencia al deslizamiento muy bajo en gran parte de las progresivas del puente Phayo y en ese sentido los puentes Orozas y Campanario además de la comunidad de Río Negro, presentan un CRD mayor a 0,9 lo cual también representa un riesgo para los usuarios, dichos rangos están en la tabla 1 del presente.

Los resultados del ensayo de la mancha de arena presentan una característica muy importante que es la siguiente:

Gráfica 7 Espesor de la macrotextura en los puntos críticos.

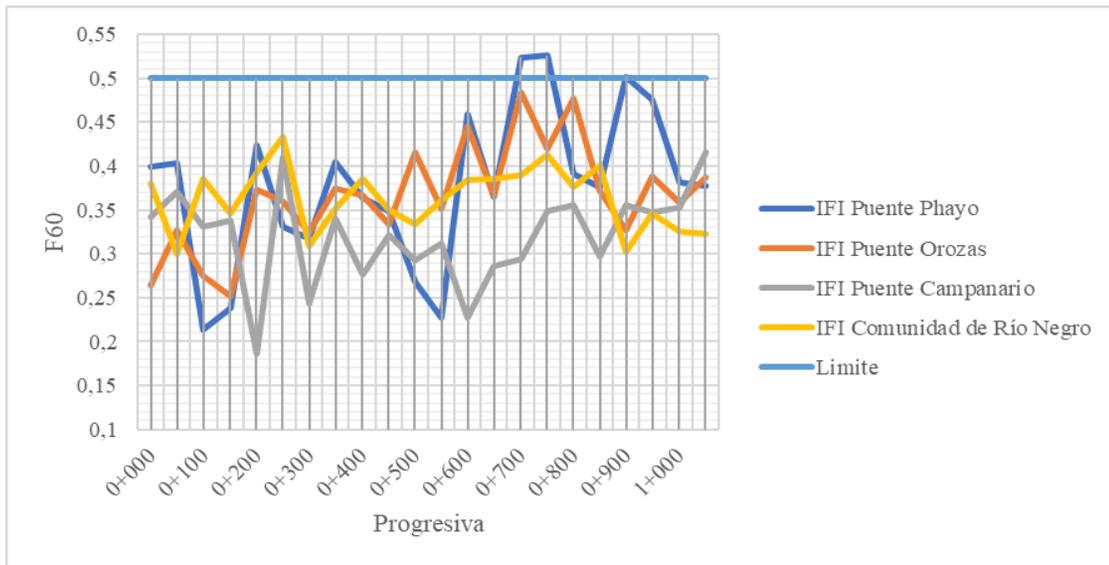


Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 7 podemos concluir que prácticamente todos los puntos estudiados están dentro del rango óptimo, en cuanto a la macrotextura se refiere, solo se considera de riesgo las progresivas 0+100 y 0+500 del puente Phayo por tener un espesor menor a 0,60 mm, el cual según recomendaciones de algunos autores es el valor mínimo permitido ya que se puede considerar una superficie lisa, pero por lo demás el estado de la textura superficial del pavimento está en buenas condiciones.

Analizando los resultados obtenidos del índice de fricción internacional, se puede evidenciar que el estado de la vía es malo, según clasificación del PIARC, esto puede tener diversas lecturas, pero la que se pudo comprobar con la presente investigación es que al tener un espesor de macrotextura óptimo en prácticamente toda la zona de estudio, el valor que afecta directamente para dar como resultado un IFI malo, es el coeficiente de resistencia al deslizamiento, a continuación se presentan los resultados:

Gráfica 8 Resultados del IFI en los puntos críticos.

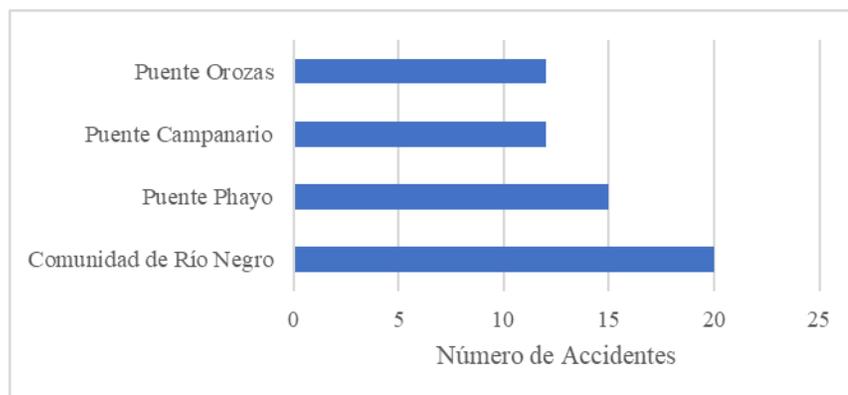


Fuente: Elaboración propia.

En este sentido se puede evidenciar la correlación que existe entre el coeficiente de resistencia al deslizamiento y la accidentabilidad, ya que este coeficiente influye directamente en los resultados del índice de fricción internacional y como se observa en la gráfica 8, a excepción de la progresiva 0+700 del puente Phayo, todos los ensayos en los puntos críticos están debajo del límite permitido por el PIARC.

Los resultados del IFI, pueden explicar el gran número de accidentes suscitados entre las gestiones 2013 a 2020, el cual se presenta en la siguiente gráfica:

Gráfica 9 Accidentes en los puntos críticos gestión 2013 - 2020.



Fuente: Elaboración propia.

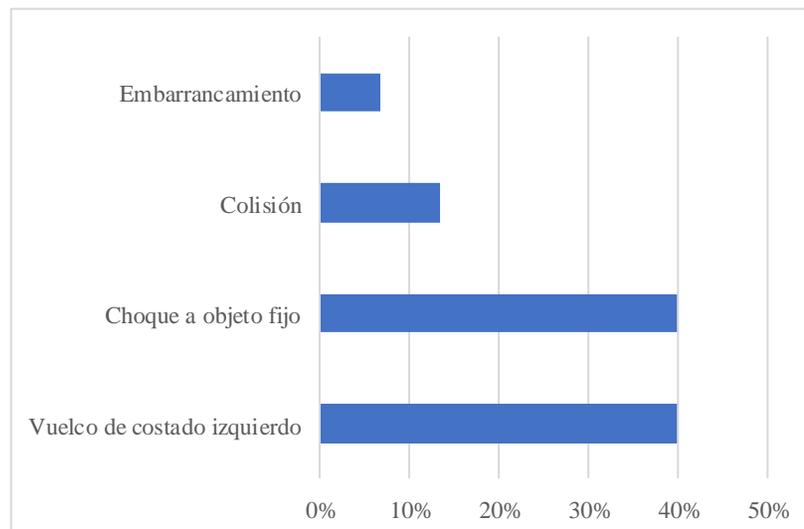
En dicha gráfica y habiendo realizado el estudio en dichos puntos, se puede concluir que basados en los reportes del organismo de tránsito la mayor incidencia en dichos accidentes es principalmente al exceso de velocidad que se pudo evidenciar en la zona, sumado a condiciones climáticas extremas, la falta de control del ganado vacuno y la imprudencia de los conductores hacen que un mínimo descuido o cambio de dirección brusco, tenga como consecuencia el despiste del vehículo, tal como se puede corroborar en la gráfica 5 donde el 63% de los accidentes son encunetamiento, choque a objeto fijo o vuelco de costado, ello debido a que al tener un índice de fricción bajo, no existe la suficiente adherencia en el pavimento que permita al vehículo poder detenerse a tiempo y evitar el siniestro, ni mucho menos realizar una maniobra en la vía.

Se efectuó el análisis para cada punto de estudio el cual es el siguiente:

3.8.1. Puente Phayo

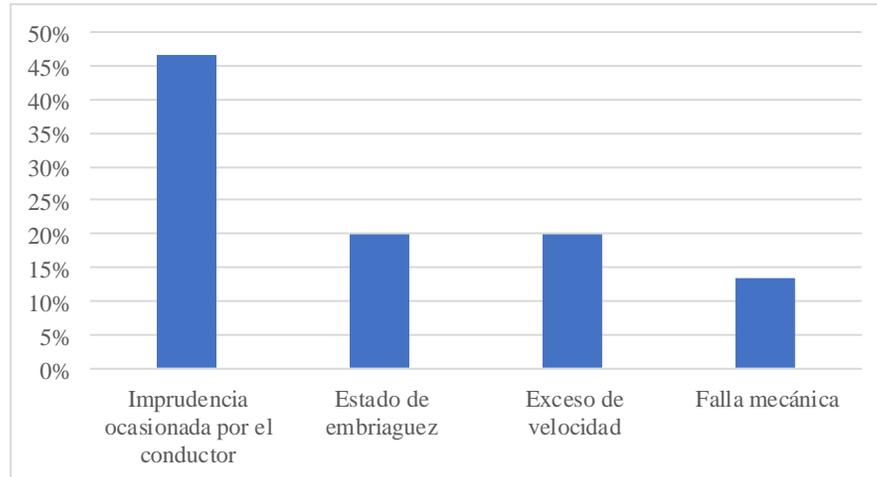
En el puente Phayo se obtuvo los siguientes datos de accidentabilidad entre las gestiones 2013 a 2020:

Gráfica 10 Descripción del hecho puente Phayo.



Fuente: Elaboración propia.

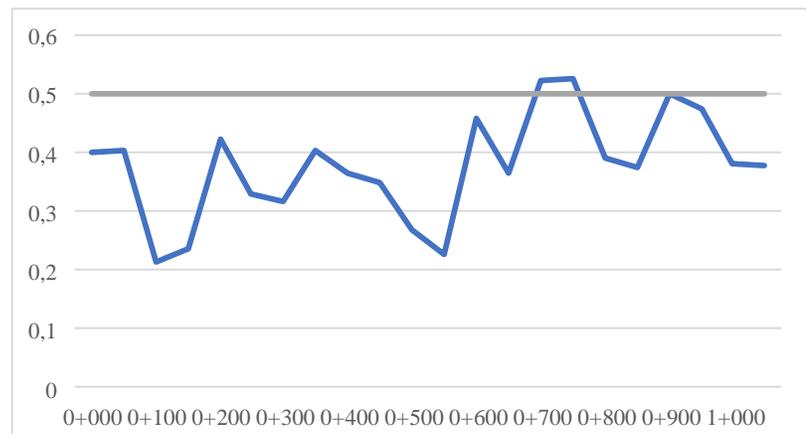
Gráfica 11 Causas de los accidentes puente Phayo.



Fuente: Elaboración propia.

Los datos de accidentabilidad mostrados en las gráficas 10 y 11 pueden constatar que más del 80% de los accidentes suscitados están relacionados estrechamente al factor humano e incidencia directa del usuario del vehículo, ya sea por imprudencia ocasionada por el conductor, estado de embriaguez o exceso de velocidad, ocasionando con ello en un 80% de los hechos vuelco de costado izquierdo y choque a objeto fijo. Esto está estrechamente relacionado a dos factores fundamentales como ser el factor humano y el mal estado de la vía, este último se puede corroborar en la siguiente gráfica:

Gráfica 12 Resultados del IFI puente Phayo.



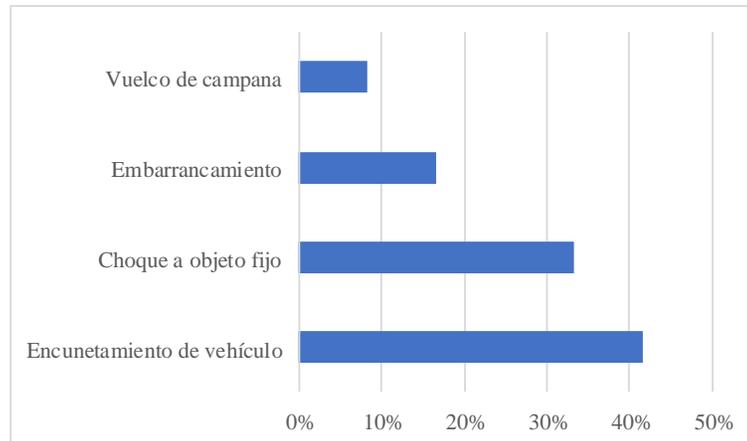
Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica podemos observar como el IFI es catalogado como malo en prácticamente todo el segmento de estudio a excepción de la progresiva 0+700.

3.8.2. Puente Orozas

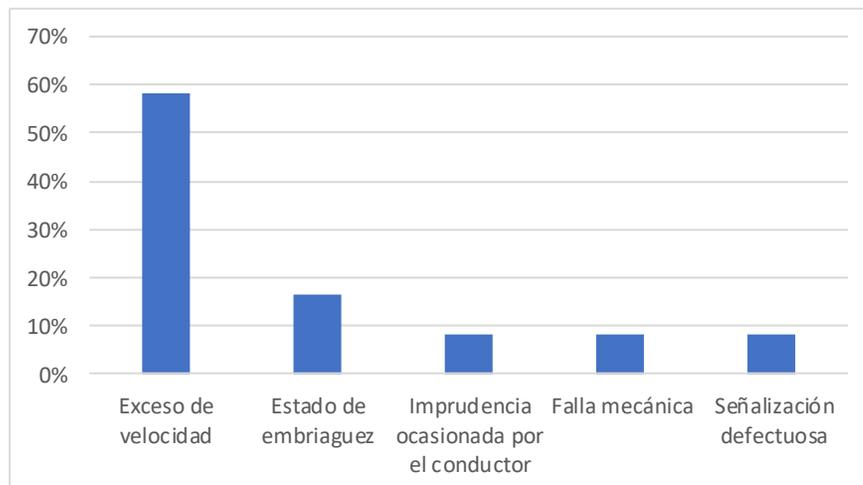
Los datos de accidentabilidad en este punto de estudio son los siguientes:

Gráfica 13 Descripción del hecho puente Orozas.



Fuente: Elaboración propia.

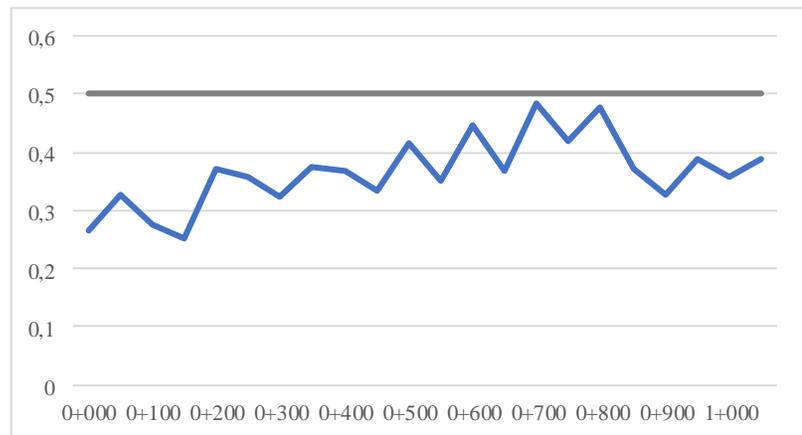
Gráfica 14 Causas de los accidentes puente Orozas.



Fuente: Elaboración propia.

Las gráficas mostradas anteriormente dan cuenta que al igual que en el anterior punto de estudio, más del 80% de los accidentes suscitados son ocasionados por falencias del conductor ya sea por una irresponsabilidad como el exceso de velocidad o estado de embriaguez o por una imprudencia ocasionada por el conductor, esto da como resultado que más del 70% de los accidentes puedan estar relacionados al mal estado de la vía ya que el conductor no tuvo el tiempo necesario para poder realizar el frenado correspondiente o la maniobra requerida para evitar el siniestro. A continuación, se muestra la gráfica con los resultados del IFI en el puente Orozas:

Gráfica 15 Resultados del IFI puente Orozas.



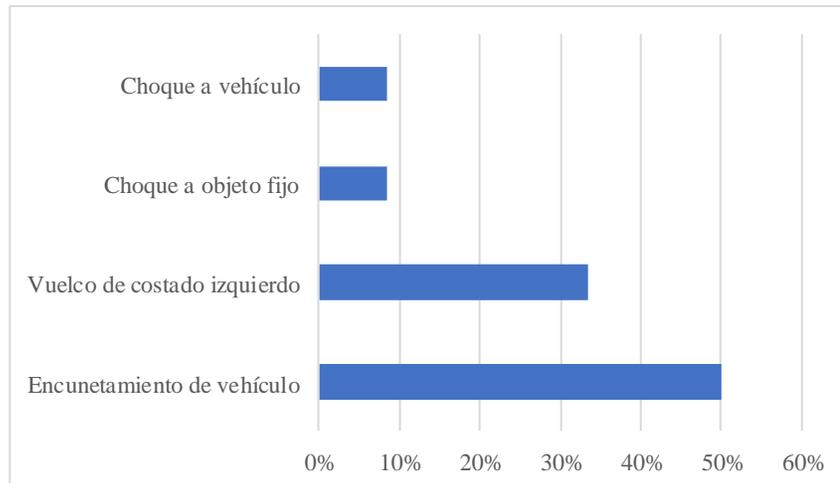
Fuente: Elaboración propia.

En la misma podemos observar como en el 100% de las progresivas donde se efectuó el estudio, se clasifica con un IFI malo, dando como resultado el mal estado de la vía.

3.8.3. Puente Campanario

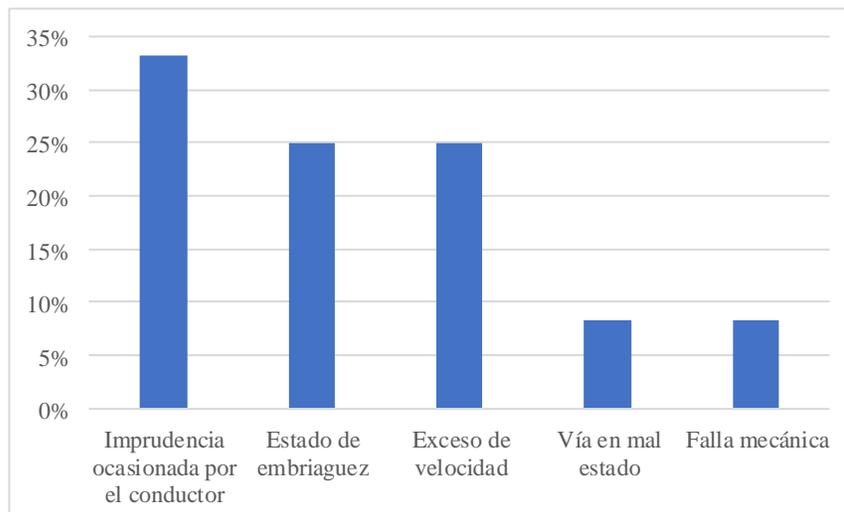
A continuación, se presentan los datos de accidentabilidad en el punto de estudio:

Gráfica 16 Descripción del hecho puente Campanario.



Fuente: Elaboración propia.

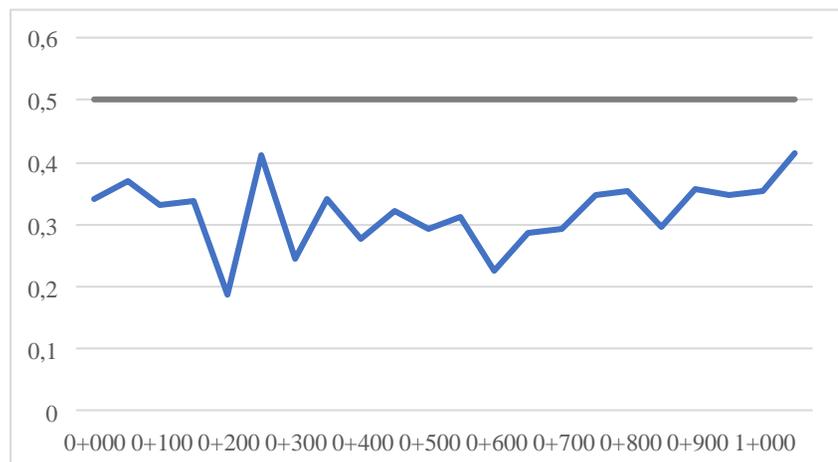
Gráfica 17 Causas de los accidentes puente Campanario.



Fuente: Elaboración propia.

En la misma podemos observar como se mantiene la constante de que los hechos suscitados son en más del 80% ocasionados directamente por los usuarios de la vía, lo cual da como resultado que de igual manera más del 80% de los accidentes sean encunetamiento de vehículo o bien vuelco de costado izquierdo, esto está estrechamente relacionado a los resultados del IFI en el segmento de estudio, los cuales se presentan a continuación:

Gráfica 18 Resultados del IFI puente Campanario.



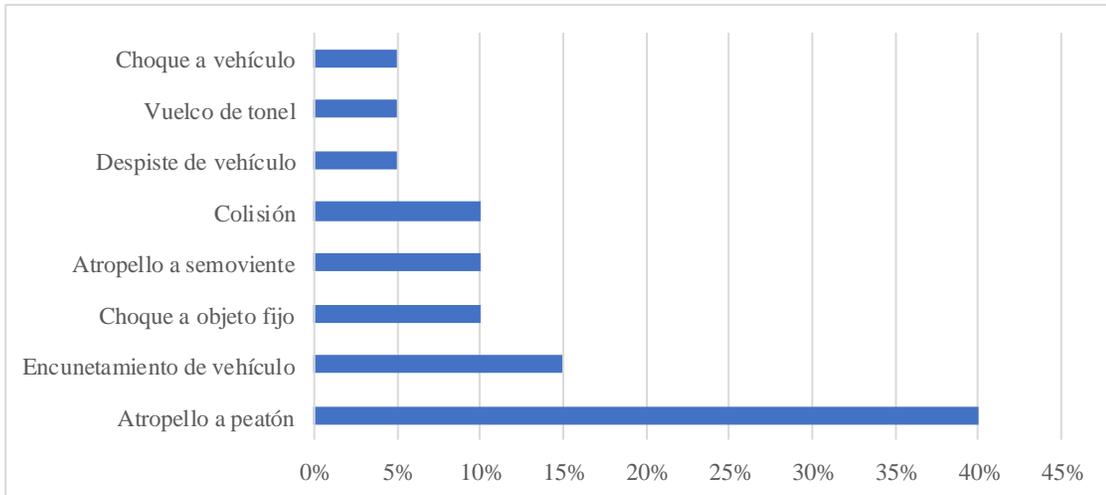
Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 18, se puede evidenciar que existe un mal estado de la vía, tal cual lo cataloga el IFI dando una clasificación mala, por lo cual este parámetro resulta concluyente para afirmar que el mal estado de la carretera influye directamente en el número elevado de accidentes esto sumado a la irresponsabilidad de los conductores hace que la problemática en el puente Campanario sea de suma preocupación.

3.8.3. Comunidad de Río Negro

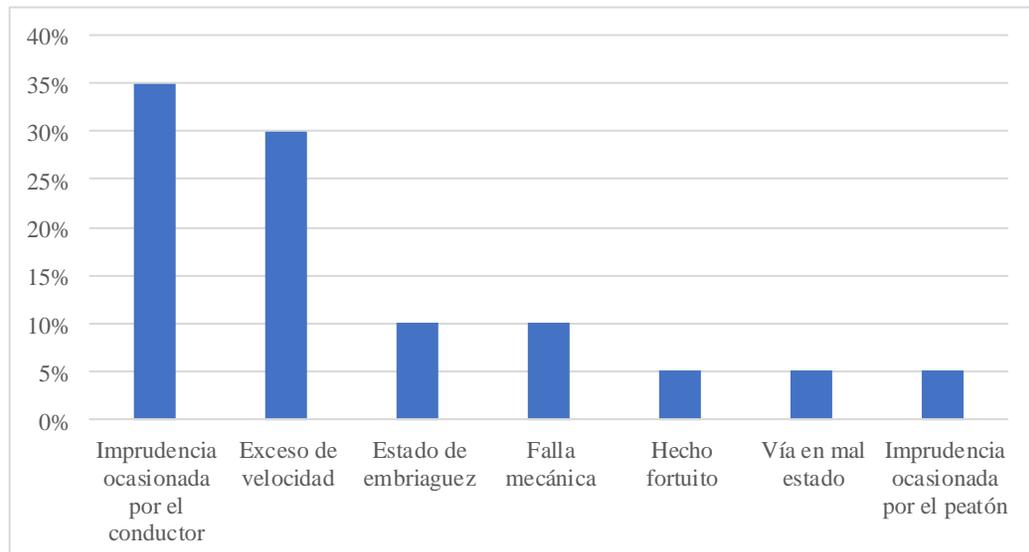
En las siguientes gráficas se puede observar los registros de accidentabilidad que se tienen en el segmento de estudio:

Gráfica 19 Descripción del hecho comunidad de Río Negro.



Fuente: Elaboración propia.

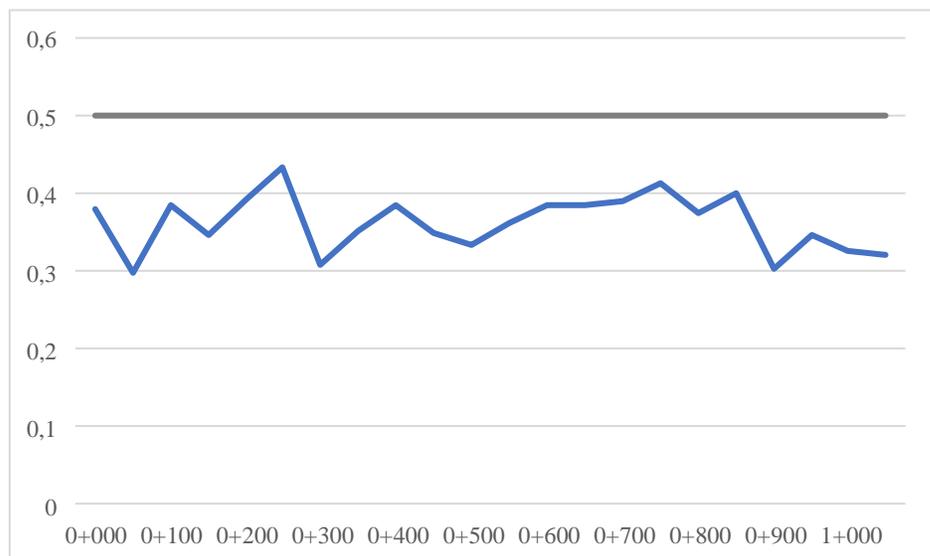
Gráfica 20 Causas de los accidentes comunidad de Río Negro.



Fuente: Elaboración propia.

La comunidad de Río Negro es el punto de estudio donde más accidentes se registraron en las gestiones 2013 a 2020, de las cuales más del 70% están estrechamente relacionadas al usuario de la vía ya sea por imprudencia ocasionada por el conductor, exceso de velocidad o bien por estado de embriaguez. Esto da como resultado que el 85% de los accidentes estén relacionados a la invasión parcial del carril o bien el despiste del vehículo. Es preocupante que el 55% de los accidentes estén relacionados a atropello a peatón o atropello a semoviente, esto debido a la presencia constante de comunarios por la zona y el 45% restante está relacionado al despiste o poco tiempo de reacción de los usuarios, esto puede ser debido al mal estado de la vía, la cual se puede evidenciar en la siguiente gráfica:

Gráfica 21 Resultados del IFI comunidad de Río Negro.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del IFI muestran el mal estado de la vía en el 100% de los puntos estudiados, ello ocasiona que dicho segmento sea más propenso a registrar mayor cantidad de accidentes y al haber tanta presencia de comunarios y semovientes, hace de esta vía de mucho riesgo para todos los que la transitan.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

4.1. Conclusiones

- Una vez finalizado el presente estudio y realizado el análisis correspondiente en el tramo, se concluye que en base a los resultados obtenidos existe un mal estado del pavimento en casi un 100%, lo cual sumado a la irresponsabilidad de los conductores coloca a este tramo en alto riesgo en accidentes para los usuarios.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el tramo de estudio se concluye que más del 60% de los accidentes son por causa de los conductores, quienes actúan con imprudencia en las acciones o maniobras dentro de la circulación en el tramo de estudio.
- Basados en la hipótesis planteada se pudo constatar que evaluando el coeficiente de resistencia al deslizamiento y con los datos de accidentabilidad en los puntos de estudio, se puede determinar la relación que existe entre el índice de accidentabilidad en los puntos críticos y el estado actual de la vía a fin de poder plantear posibles soluciones que permitan reducir el alto grado de accidentabilidad en la zona.
- De acuerdo a los resultados del ensayo de la mancha de arena en el tramo de estudio, se concluye que los valores están entre 0,60 y 0,80, considerando que se encuentran en un rango medio y aceptable, aunque existen valores debajo del límite como las progresivas 0+500, 0+100 del puente Phayo; 0+000, 0+100, 0+200, 0+500 del puente Orozas y 0+300 de la comunidad de Río Negro, que muestran un desgaste en el pavimento, lo cual implica que dicho segmento se puede considerar de alto riesgo por ser liso.
- A partir de los valores obtenidos del IFI medidos en el tramo de estudio tenemos valores dentro del rango 0,1867 en el puente Campanario y 0,5239 en puente Phayo, siendo los valores coherentes para plantear la necesidad de un mantenimiento periódico.
- De acuerdo a la información obtenida de accidentabilidad y morbilidad en el tramo Tarija-Bermejo existen alrededor de 20,19 accidentes anuales por cada

100.000 personas y 3,32 muertes por cada 100.000 habitantes por accidentes. Dichos resultados concluyen que es un tramo de mediana accidentabilidad y con regular mortalidad en accidentes.

- Finalmente, podemos concluir que evidentemente los tramos estudiados presentan un índice de accidentabilidad y mortalidad representativos en nuestro medio, pero que resulta muy llamativo el alto grado de responsabilidad de los usuarios de la vía en los accidentes suscitados.
- Una medida de mitigación para prevenir mayor número de accidentes en la zona es concientizar a los conductores y realizar controles periódicos, de tal manera que se pueda tener un control respecto a los usuarios de la vía.
- También cabe mencionar que es fundamental realizar un mantenimiento periódico en la carretera y en muchos casos un recapamiento de la capa de rodadura ya que se encuentra muy deteriorada por distintos factores principalmente climáticos.

4.2. Recomendaciones

- Es recomendable para la realización de los ensayos de la mancha de arena y del péndulo británico, impedir la circulación del viento ya que al ser ensayos al aire libre cualquier imprecisión puede hacer variar significativamente los resultados.
- Las condiciones extremas del clima también son un factor importante a la hora de realizar las mediciones, ya que no es recomendable realizar el estudio cuando existe lluvia o nieve en la zona.
- Los datos de accidentes son sumamente complejos de recabar, por lo cual es importante que la U.A.J.M.S como ente matriz realice convenios con el organismo de tránsito esto a fin de poder obtener dicha información y que sea más factible realizar este tipo de investigaciones que permiten conocer el estado actual de las carreteras.
- Es fundamental realizar una buena señalización al momento de cortar el carril para realizar los ensayos en los puntos de estudio, ya que cualquier imprecisión o equivocación puede ocasionar inconvenientes a los usuarios de la vía como a los que realizan los ensayos.