

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.ANTECEDENTES

Una de las manifestaciones más evidentes de la evolución y del grado de desarrollo de una ciudad 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 un futuro.

La carpeta de rodadura en condiciones buenas debe ofrecer al usuario una buena adherencia entre neumático y pavimento, siendo una de estas funciones que debe cumplir el pavimento cuando es construido.

Las cualidades de fricción en el pavimento juegan un papel muy importante dentro de la seguridad vial de calles, avenidas y carreteras. La superficie de rodamiento debe proporcionar un adecuado nivel de fricción en la 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 en el resto del mundo.

El tema de la presente investigación es realizar una propuesta sobre el análisis de los parámetros entre el IFI y la distancia de frenado en Pavimentos Rígido Seco y Húmedo. Esto consiste en evaluar la textura superficial del pavimento para ver si cumple con las características de una buena adherencia entre el neumático y el pavimento. Como antecedentes se debe mencionar que en diferentes países, incluso en países de Sudamérica se ha investigado mucho acerca de este tema, sin embargo, en Bolivia no se cuenta con Investigaciones anteriores. El principal interés que motivó esta Investigación es la importancia de que los ingenieros civiles en Bolivia tengamos conciencia de cómo debe ser la textura superficial en Pavimentos Rígidos terminados para ayudar con la seguridad de los usuarios de una calle o avenida de la ciudad de Tarija.

Para poder medir la resistencia al deslizamiento se requieren de dos tipos de evaluación sobre el pavimento terminado: La evaluación de la macro textura y la micro textura. Por tanto se pretende medir el Índice de Fricción Internacional (IFI), a través de métodos directos los cuales son el Péndulo Británico y la Mancha de Arena, de tal manera que a

través de este indicador de estado se evalúe y catalogue la superficie de rodado de las Avenidas y calles de la Ciudad de Tarija.

1.2.SITUACIÓN PROBLÉMICA

La ciudad de Tarija en los últimos años ha tenido un crecimiento acelerado del parque automotor. Habiendo verificado que existe un elevado crecimiento de los vehículos en nuestra ciudad creemos que este crecimiento acelerado está trayendo consigo ciertos daños a nuestros pavimento urbanos y ocasionando accidentes, debido al elevado número de veces que circula un motorizado esto provoca fricción entre el neumático y el pavimento, ocasionando desgaste del árido y pulimiento, ocasionando que no exista una buena adherencia entre el neumático con el pavimento.

Realizando un trabajo de investigación utilizando el parámetro de estado que es el IFI, para hacer una valoración de la carpeta de rodadura de los pavimentos rígidos urbanos, con un ensayo de distancia de frenado con vehiculó (liviano) sobre superficies de diferentes edades de uso y neumáticos (nuevos y lisos) a una presión de inflado optimo observaremos la huella o distancia de frenado que dejara sobre la carpeta asfáltica de esta manera se verá en qué estado se encuentra después de años de servicio al usuario, y si los neumáticos (nuevos y lisos) influyen en un accidente a estas velocidades otorgándonos información para analizar y definir responsabilidades en caso de accidentes de tránsito culpabilidades y responsabilidades de personas involucradas. Este trabajo nos otorgara información de las distintas variables que intervienen al realizar la maniobra de frenado y si la carpeta asfáltica de pavimento rígido nos otorga una adherencia adecuada y segura podremos catalogarlo y calificarlo según la escala IFI propuesta por el estudio PIARC.

De esta manera cuando se quiera hacer un mantenimiento oportuno se cuente con información técnica para la misma en la ciudad de Tarija y no esperar que el pavimento esté gravemente deteriorado para recién aplicarle el mantenimiento que muchas veces es más costoso que un mantenimiento preventivo de la superficie de rodado.

1.2.1. Problema

¿Si determinado el IFI (Índice de Fricción Internacional) podrá representar los valores para el cálculo de la distancia de frenado teórica y compararlos con la distancia de frenado real?

1.3.JUSTIFICACIÓN

La adecuada adherencia entre neumático y pavimento es una funcionalidad del pavimento, lo que se pretende medir es este parámetro de fricción para verificar el estado en el que se encuentra, asiéndonos una hipótesis de que mientras más tiempo estuvo al servicio del usuario menos fricción tendrá este pavimento como así también que mientras menos tiempo estuvo al servicio del usuario tendrá una mayor fricción.

Lo que se pretende con este trabajo de investigación es valorar y medir el índice de fricción internacional (IFI) actual de la vía y la distancia de frenado que ofrecerá está con un vehículo liviano demostraremos si las vías de pavimento rígido se encuentran dentro de los rangos de las normas internacionales.

Con este análisis del comportamiento del pavimento según el índice de fricción internacional, encontraremos si entre las variables de velocidades diferentes, presión de inflado de neumáticos optima, neumáticos (nuevos y lisos), versus superficies de pavimento rígido (de diferentes edades de uso) secas y húmedas comparamos resultados reales empíricos, versus resultados teóricos.

1.4.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Comparar la distancia de frenado real versus la distancia de frenado teórica en los pavimentos rígidos de diferentes superficies o capaz de rodadura a través del indicador de estado IFI, aplicado en diferentes tramos de las vías urbanas de la ciudad de Tarija.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar los ensayos del péndulo británico para obtener el coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) de los pavimentos rígidos y los ensayos de la

mancha de arena para determinar el (PT) y a su vez (IFI) y la textura de los pavimentos rígidos.

- Medir la distancia de frenado con un vehículo liviano, neumáticos nuevos a presión de inflado (optima) sobre las superficies (seca y húmeda) de pavimento rígido de la ciudad de Tarija.
- Medir la distancia de frenado con un vehículo liviano, neumáticos lisos a presión de inflado (optima) sobre las superficies (seca y húmeda) de pavimento rígido de la ciudad de Tarija.
- Realizar un análisis estadístico.

1.5.HIPÓTESIS

Con la aplicación del IFI (Índice de Fricción Internacional) se analizará el comportamiento del pavimento rígido con el cual comparamos los resultados entre la distancia de frenado teórica (por formula) con la distancia de frenado real (experimental).

1.6.OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

1.6.1. Variable independiente

Son:

- Vehículo liviano
- Pavimentos Rígidos
- Neumáticos nuevos y lisos.

1.6.2. Variable dependiente

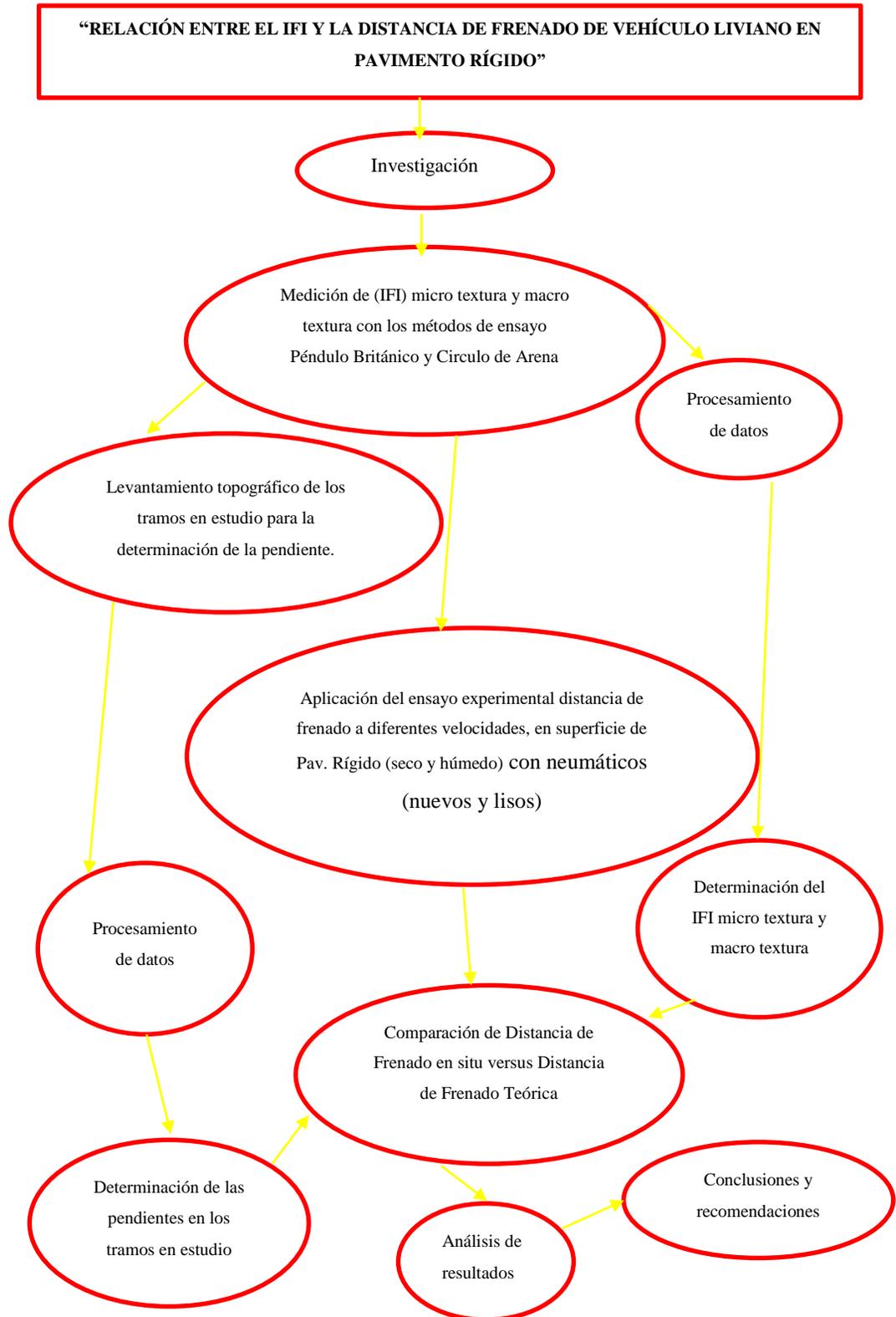
Son:

- Índice de Fricción Internacional como indicador de estado IFI.
- Velocidades diferentes (50, 60, 70, km/hr)
- Presión de inflado de neumáticos.
- Pendiente de calles o avenidas.

1.7.ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

En una investigación de 5 tramos entre estas calles y avenidas urbanas de la ciudad de Tarija se efectuara una comparación entre la distancia de frenado teórica con la distancia de frenado real aplicando los ensayos de laboratorio como ser el péndulo británico y la mancha de arena para la obtención del IFI así como los experimentales del derrapado del vehículo a diferentes velocidades entre 50, 60,70(km/h) para la obtención de la distancia de frenado real.

Se procederá a la comparación de los datos obtenidos y las mediciones realizadas para verificar si estos podrían ser similares entre la teoría y la realidad de nuestras vías urbanas y si en realidad están aptas para el tránsito y seguridad de la población de la ciudad.



CAPÍTULO II
FUNDAMENTO TEÓRICO

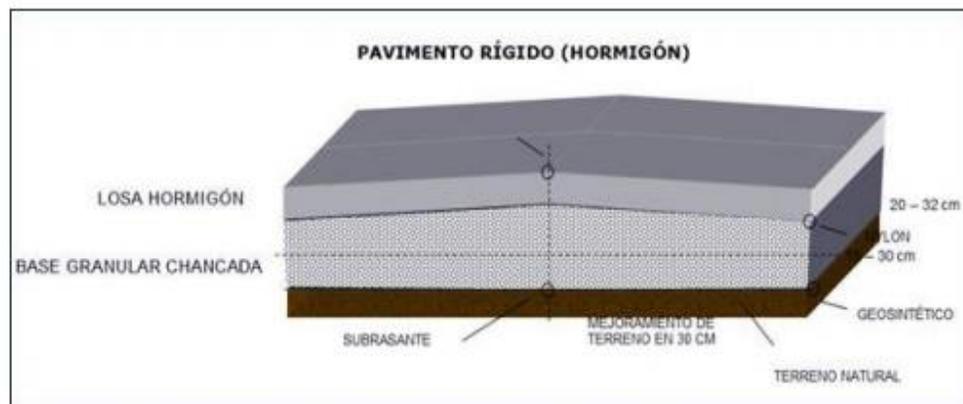
CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. DEFINICIÓN

La palabra pavimento proviene del latín (pavimentum), el pavimento está constituido por capas superpuestas, relativamente horizontales que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados, y adecuadamente compactados. Estas estructuras de estratos se apoyan sobre una sub rasante obtenida mediante el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito que le transmiten durante el periodo de la vida útil para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

Figura 1. Estructura de pavimento rígido.



Fuente: Universidad Técnica de Santiago (UTESA).

2.2. PAVIMENTO RÍGIDO

Son aquellos formados por una losa de concreto Portland sobre una base, o directamente sobre la sub-rasante. Transmite directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada, es auto-resistente, y la cantidad de concreto debe ser controlada, se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

2.2.1. Materiales que lo componen

Los pavimentos rígidos varían de acuerdo al material empleado, y por tanto, también varían las técnicas constructivas según el caso, encontrándose:

- Base estabilizada con cemento (suelo-cemento).
- Hormigón pobre.
- Hormigón simple normal.
- Hormigón armado.
- Hormigón potenciado.

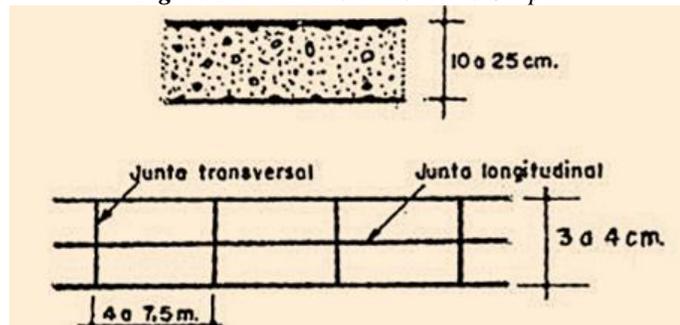
2.2.2. Clasificación

2.2.2.1. Pavimento rígido simple

Son pavimentos que no representan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas. En ellos, el concreto asume y resiste tensiones producidas por el tránsito y el entorno, como las variaciones de temperatura y humedad. Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoyan sobre la sub-rasante.

En condiciones más severas requiere de subbases tratadas con cemento, colocadas entre la sub-rasante y la losa, para aumentar la capacidad de soporte y mejorar la transmisión de carga. Están constituidos por losas de dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 6 m de largo y 3.50m de ancho. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto. En calles de urbanizaciones residenciales de 10 y 15 cm, en las denominadas colectores entre y 17 cm .En carreteras se obtienen espesores de 16 cm. En aeropistas y autopistas más solicitadas de 20 cm o más.

Figura 2. Pavimento de concreto Simple.

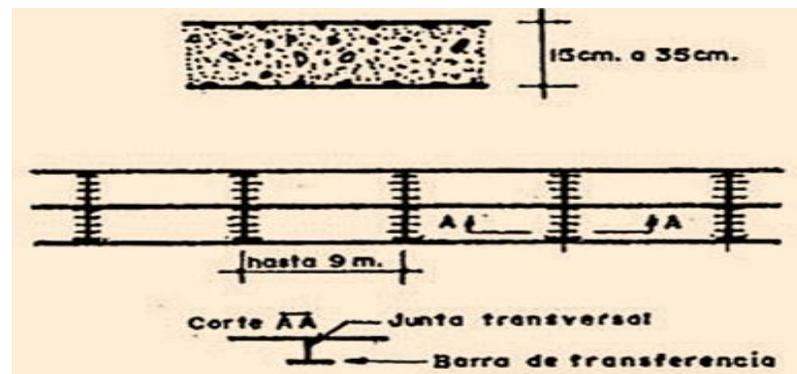


Fuente: Universidad Técnica de Santiago (UTESA).

2.2.2.2. Pavimento rígido simple con pasadores

Los pasadores son pequeñas barras de acero, que se colocan en la selección transversal del pavimento, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de deformación en las juntas. De esta manera se evitan los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamiento). Un método para decidir el empleo de elementos de traspaso de cargas es evaluar las dos alternativas, comparando en un caso el costo de incluir una subbase tratada y también los costos de las juntas con y sin pasadores.

Figura 3. Pavimento rígido con pasadores



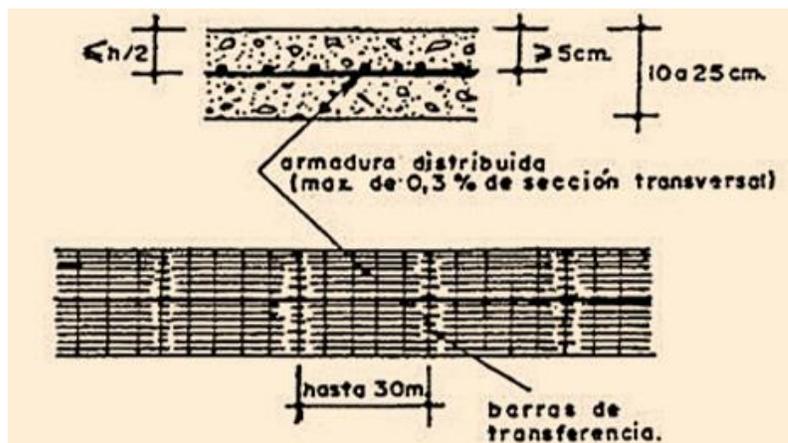
Fuente: Instituto tecnológico de aeronáutica, Brasil.

2.2.2.3. Pavimento rígido con refuerzo de acero no estructural

Pavimentos que tienen el refuerzo de acero en el tercio superior de la sección transversal, generalmente a no menos de 5cm bajo la superficie. El refuerzo no cumple función estructural y su finalidad es resistir las tensiones de contracción del concreto en estado joven y controlar los agrietamientos.

Reduciendo la cantidad de juntas que constituyen un factor de debilitamiento de la calzada de concreto, es posible diseñar losas de mayor longitud que en los pavimentos sin refuerzo con el uso de pasadores. Con este diseño se han logrado losas de 9 y 12 m de largo entre juntas transversales de contracción. La sección máxima de acero es de 0.3% de la sección transversal del pavimento. El uso de este tipo de pavimentos es restringido.

Figura 4. Pavimento rígido con refuerzo de acero no estructural.



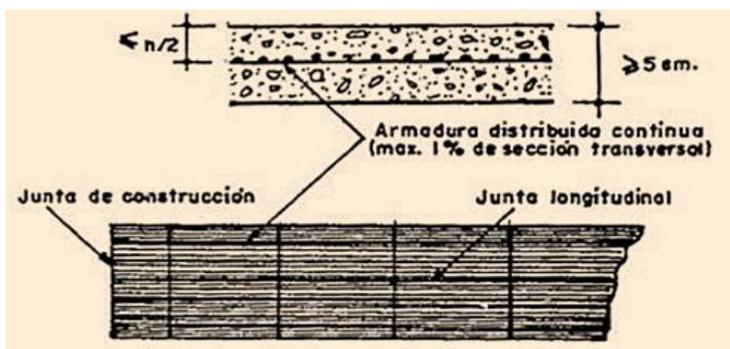
Fuente: Instituto tecnológico de aeronáutica, Brasil.

2.2.2.4. Pavimento rígido con refuerzo de acero continuo

En este tipo de pavimento el refuerzo asume todas las deformaciones y específicamente las de temperatura, por lo cual se eliminan las juntas de contracción, quedando únicamente las juntas de construcción y de dilatación en la vecindad de alguna obra de arte. La figuración es controlada por una armadura continua en el medio de la calzada, diseñada para admitir una fina red de fisuras que no comprometan el buen comportamiento del pavimento.

Este requiere una apropiada tecnología constructiva, no requiere de mayor conservación, manifestando poca sensibilidad a las fallas de la base. La cantidad máxima de acero es 1.5% de la sección transversal. Se utiliza generalmente en zonas de clima frío. También en los recubrimientos sobre pavimentos deteriorados de concreto y asfalto.

Figura 5. Pavimento rígido con refuerzo de acero continuo.



Fuente: Universidad Técnica de Santiago (UTESA).

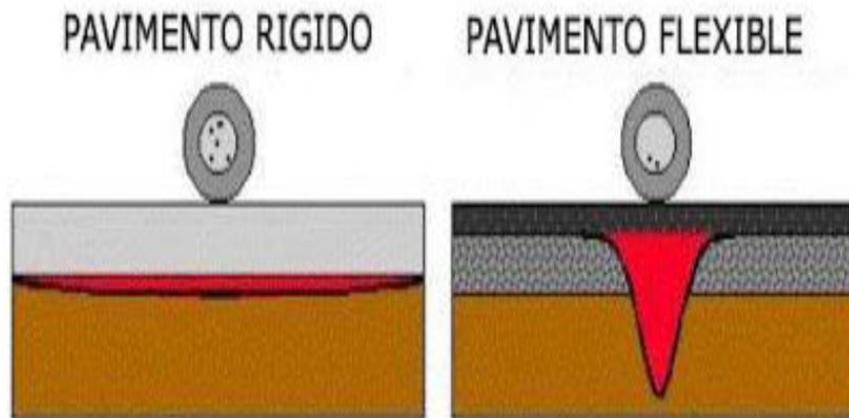
2.2.3. Propiedades

- Resistencia al agrietamiento de losas.
- Resistencia a la flexión del hormigón.
- Capacidad de soporte.
- Resistencia a la abrasión de tráfico.
- Seguridad por fricción.
- Regularidad de la superficie para el contacto pavimento-vehículo.

2.2.4. Forma de distribución de cargas

A causa de su rigidez distribuyen las cargas transmitidas por el tráfico sobre un área relativamente amplia de la base o de la explanada. En el pavimento rígido, el hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores.

Figura 6. Distribución de cargas en pavimento rígido y flexible.



Fuente: Universidad Técnica de Santiago (UTESA).

2.2.4.1. Cuadro comparativo

Figura 7. Cuadro comparativo entre pavimento flexible y rígido.

Pavimento flexible	Pavimento rígido
Se puede añadir capas en cualquier momento.	Poner capas encima de otra produce grietas de reflejo
Más suave y no produce sonidos graves	Por su material es rígida y más ruidosa
Costo final mayor que el pavimento rígido	Costo inicial igual o menor que el pavimento flexible
Menor durabilidad	Mayor durabilidad
Mayores costos de iluminación por su color oscuro	Menores costos de iluminación
Menor factibilidad de construcción	Mayor factibilidad de construcción
Distribución directa a los suelos que lo componen	Menor distribución de esfuerzos a los suelos
Menor durabilidad de la carpeta de rodadura	Mantiene su carpeta de rodadura casi integra
Menor resistencia al deslizamiento	Mayor resistencia al deslizamiento
Niveles mayores de mantenimiento	Requiere poco mantenimiento
Estructuras mayores de pavimentación	Estructuras menores de pavimentación

Fuente: Pavement Condition Índice (PCI) - Para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

2.2.5. Características

Este tipo de pavimentos está formado por capas de mezclas. En los pisos o pavimentos rígidos existen una losa, que está apoyada a las capas que en algunas de ellas se encuentran estabilizadas, y en estas el tipo de pavimento empleado se pueden distinguir varias clases de pavimentos. En este último la calidad de los materiales a usar es de vital importancia, dado la función que tienen. En los pavimentos rígidos la calidad de la superficie es muy importante, así que los procesos constructivos.

2.2.6. Capas que lo componen

2.2.6.1.Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub-rasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia.

2.2.6.2.Subbase

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de sub-rasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub-base. La sub-base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares.

2.2.6.3.Superficie de rodadura

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la sub-rasante, dado que no usan capa de base.

2.2.7. Juntas

Debido a los cambios volumétricos que por su naturaleza experimenta el concreto y a los sistemas constructivos de los pavimentos rígidos, se hace necesaria la construcción de juntas y/o uniones entre paños o losas de un pavimento.

La función de las juntas consiste en mantener las tensiones que se desarrollan en la estructura de un pavimento dentro de los valores admisibles del concreto o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas juntas.

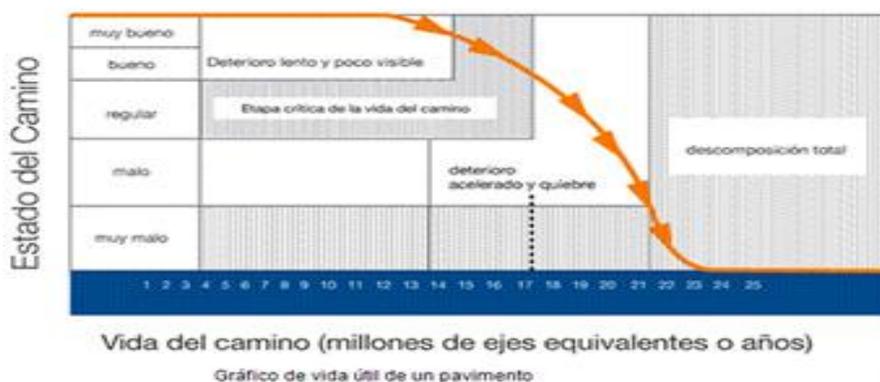
De acuerdo a su ubicación respecto de la dirección principal o eje del pavimento, se denominan como longitudinales y transversales. Según la función que cumplen se les denomina de contracción, articulación, construcción, expansión y aislamiento.

- Juntas de Contracción son aquellas juntas que se disponen para aliviar los esfuerzos de tensión causados por las contracciones del concreto.
- Juntas de expansión son aquellas que se disponen para permitir que las losas de concreto se expandan una con otra sin destruirse.
- Juntas de construcción estas corresponden a las interrupciones de las operaciones de colado y deben de garantizar la continuidad estructural.
- Juntas de articulación: tienen por misión evitar los agrietamientos a lo largo del eje central de los pavimentos.

2.2.8. Ciclo de vida de los pavimentos

El pavimento luego de su construcción presenta un muy buen estado y satisface con plenitud a los usuarios. Con el paso del tiempo, y de la acción conjunta del tránsito y el clima, empieza un desgaste, lento y poco visible pero constante, donde el pavimento va debilitándose. En esta etapa, que se mantiene por varios años, el pavimento presenta un buen estado hasta que aparecen los primeros indicadores de deterioro.

Figura 8. Ciclo de vida de los pavimentos.

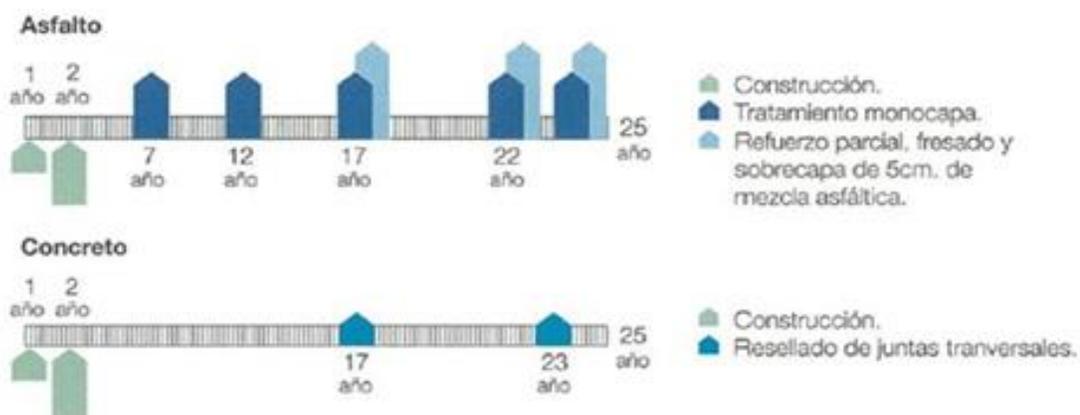


Fuente: Duravida.com.

Si durante el período en el que el pavimento presenta un estado entre bueno y regular no se realiza ningún tipo de mantenimiento, preventivo o correctivo, se corre el riesgo de que

aparezca, en un plazo relativamente breve, una pronunciada aceleración del deterioro y un rápido descenso del nivel de servicio. Esto se debe a que se pasa de fallas de tipo funcional a problemas de tipo estructural, más difíciles y costosas de corregir como la aplicación de refuerzos o rehabilitaciones importantes. Por esta razón es importante contar con herramientas que permitan predecir la evolución del deterioro del pavimento.

Figura 9. Esquema del ciclo de vida del pavimento de concreto vs asfalto.



Fuente: Duravida.com.

En el esquema se puede observar el ciclo de vida para veinticinco años de un pavimento de asfalto y un pavimento de concreto. Mientras que en el asfalto se tiene que realizar mantenimiento periódico mono capa cada cinco o siete años y un refuerzo parcial de cinco centímetros de mezcla asfáltica a los dieciocho y veintitrés años, para el concreto el mantenimiento es mínimo, El concreto marca la diferencia ya que solo se debe realizar un resellado de juntas entre los quince y veinte años, por lo que se favorece en la evaluación.

2.2.9. Fallas y deterioros de los pavimentos rígidos

Se define como el conjunto de daños que disminuyen la serviciabilidad y funcionalidad del pavimento y son de distinto origen y naturaleza; entre las que cabe destacar las siguientes:

Incremento de las cargas y su frecuencia con respecto a las diseño inicial.

Deficiencias durante la construcción, referente a la calidad de los materiales, espesores de capas y operaciones de construcción.

Diseños deficientes, métodos de diseño que resultan inadecuados en la actualidad (Incorrecta valoración de las características de los materiales, incorrecta evaluación del tránsito existente y previsto durante el periodo de diseño del pavimento).

Factores climáticos regionales desfavorables por ejemplo elevación del nivel freático, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencia de drenaje superficial.

2.2.9.1. Fallas funcionales

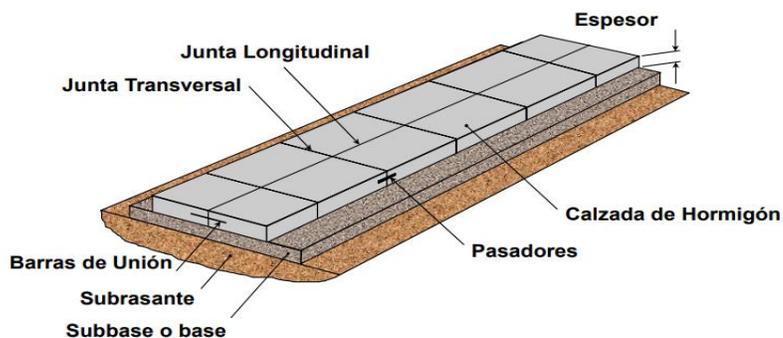
Se produce una falla en la capacidad funcional del pavimento, es decir, se pierde la función inicial de diseño. Están estrechamente ligadas a la carpeta asfáltica, se pierde la calidad de la superficie de rodadura y no se tiene una adecuada fricción superficial.

2.2.9.2. Fallas estructurales

Son fallas graves e involucran al paquete estructural, se originan cuando se produce la falla estructural en una o varias capas del pavimento, lo que ocasiona el rompimiento del mismo. Estos deterioros afectan significativamente la capacidad de soportar las solicitaciones para las cuales fue diseñado el pavimento.

Figura 10. Componentes del pavimento rígido.

Componentes Principales del Sistema



Fuente: Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA)

2.2.9.3. Fallas principales fisuración longitudinal / transversal

Descripción: Fisuras con orientación longitudinal o transversal al eje del pavimento.

Causas posibles:

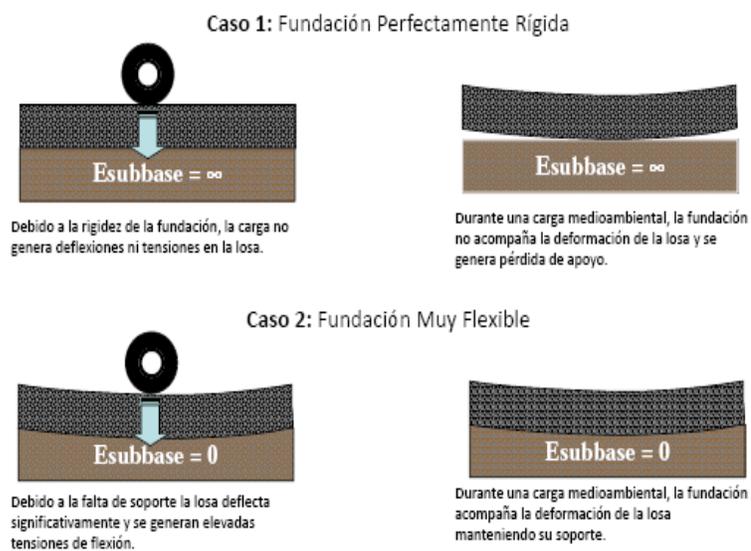
- Fisuración por fatiga: espesor de calzada insuficiente y/o separación de juntas excesiva.
- Reflexión de juntas o fisuras de capas inferiores o losas contiguas.
- Pérdida de soporte por erosión (T)
- Asentamientos diferenciales (L).

Figura 11. Fisura longitudinal / transversal.



Fuente: Inst. Del cemento Portland Argentino.

Figura 12. Influencia de la rigidez de apoyo en las tensiones generadas.



Fuente: Inst. Del Cemento Portland Argentino.

2.2.9.4. Roturas de esquina

Figura 13. Roturas de esquina en pavimento rígido.



Fuente: (ARGOS).

Descripción: Fisura que intersecta una junta transversal con una junta longitudinal o borde de calzada orientada en general a 45° del eje del pavimento.

Causas posibles:

- Pobre transferencia de carga.
- Losas con ángulos agudos.
- Pérdida de soporte por erosión.

Como evitarlas:

- Transferencia de carga adecuada en tránsito pesado.
- Diseño adecuado de juntas en superficies de geometría irregular.
- Provisión de una sub base resistente a la erosión bajo tránsito pesado.

2.2.9.5. Levantamiento de losas

Figura 14. Levantamiento de losas en pavimento rígido.



Fuente: (ARGOS).

Descripción: movimiento localizado hacia arriba de la superficie del pavimento en zona de juntas o fisuras, por lo general acompañado de una desfragmentación.

Causas posibles:

- Entrada de materiales incomprensibles en la zona de junta. Expansiones térmicas excesivas.
- Inadecuado diseño de juntas en intersecciones y contra estructuras fijas.
- Expansiones por reacción álcali – sílice.

Como evitarlas:

- Diseño adecuado de juntas en intersecciones.
- Especificar materiales de sellos adecuados que prevengan la filtración de agua y materiales incomprensibles.

2.2.9.6.Hundimiento

Figura 15.Hundimiento.



Fuente: ARGOS.

Descripción: Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo; puede estar acompañado de un fisuramiento significativo, debido al asentamiento del pavimento.

Causas:

- Asentamiento o consolidación de la subrasante.
- Zonas contiguas a estructuras de drenaje o retención.

- Deficiente compactación inicial.
- Asentamientos diferenciales.
- Deficiencias durante el proceso de construcción de las losas.

Como evitarla:

- Buena compactación a los materiales de soporte.
- Abatimiento del nivel freático cercano a la estructura.
- Correcto proceso constructivo Empleo de drenajes.

2.2.9.7. Descascaramiento y fisuras capilares

Figura 16. Descascaramiento y fisuras capilares.



Fuente: ARGOS.

Descripción: Descascaramiento es la rotura de la superficie de la losa hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de concreto. Por fisuras capilares se refiere a una malla o red de fisuras superficiales muy finas, que se extiende solo a la superficie del concreto. Las mismas que tienden a intersectarse en ángulos de 120°.

Causas:

- Exceso de acabado del concreto fresco.
- Exudación de mortero y agua debilitando el concreto frente a la retracción.
- Armaduras de acero muy próximas a la superficie.

Como evitarla:

- Buenos procesos constructivos.
- Espesores de recubrimientos en losas reforzadas acordes a las especificaciones.

2.2.9.8. Pulimiento de la superficie

Figura 17. Pulimiento de la superficie.



Fuente: ARGOS.

Descripción: Superficie de rodamiento excesivamente lisa por efecto del pulimiento de los agregados que la componen.

Causas:

- Exposición de placas de concreto a tránsito prematuro.
- Calidad pobre del concreto.
- Agregados de naturaleza degradable.

Como evitarla:

- Apertura al tránsito de acuerdo a las especificaciones técnicas de los concretos utilizados según su resistencia de diseño.

2.3. DISTANCIA DE FRENADO

La distancia de frenado es un parámetro importante y se define como el camino que requiere el vehículo para llegar de la velocidad actual a la deseada. La distancia de frenado

se infravalora a menudo lo que provoca que muchos conductores descuidan la distancia de seguridad a altas velocidades. Saber calcular la distancia de frenado y conocer los factores que la afectan, puede salvar vidas. Por tanto, queremos tratar hoy los aspectos más importantes.

La distancia de frenado sobre una alineación recta de pendiente uniforme, se calcula mediante la expresión:

$$Df = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (f \pm i)}$$

Donde:

Df = Distancia de Frenado (m)

V = Velocidad (km/h)

t= Tiempo de Percepción +Reacción (2seg)

f= Coeficiente de fricción

i= Pendiente longitudinal (m/m)

+ i Subidas respecto sentido de circulación

- i Bajadas respecto sentido de circulación.

Esta fórmula extraída del manual de diseño geométrico (ABC) será utilizada para el cálculo de la distancia de frenado teórico en las vías urbanas en estudio, remplazaremos el coeficiente de fricción (IFI) así también la pendiente longitudinal y velocidades de (50-60-70 hm/hr) que serán justificados más adelante.

Esta fórmula es empleada para el diseño geométrico de carreteras y vías urbanas de Bolivia. Es por este motivo que trabajaremos con la fórmula de distancia de frenado para el cálculo y posterior comparación de distancia de frenado teórico con la real o experimental en nuestra investigación. Los cálculos a realizar así también los datos y parámetros con los cuales trabajaremos se encuentran para su mayor comprensión en la parte de Anexos.

2.3.1. Factores que afectan a la adherencia del neumático al pavimento

Cuando uno se pregunta cuáles deben ser las propiedades principales para que un pavimento sea considerado seguro, una de las primeras ideas es que posea una buena adherencia con los neumáticos.

Esto es importante a lo largo de toda la superficie del pavimento, sobre todo en zonas de frenado, curvas o donde exista presencia de agua. Sin embargo esta adherencia no depende únicamente del pavimento, sino también de las características del tránsito y del clima.

Los factores más importantes que afectan la adherencia entre el neumático y el pavimento son los siguientes:

- Textura superficial.
- Pendiente longitudinal.
- Resistencia al deslizamiento y fricción.
- Presencia de agua en el pavimento.
- Velocidad del vehículo.
- Clasificación de la vía.
- Tipo de vehículo.
- Neumáticos.

En el presente capítulo se hará una breve descripción de la influencia de cada uno de estos factores en la adherencia, sin embargo lo que se evaluará a lo largo del trabajo será únicamente la textura superficial (macro textura y micro textura) y la distancia de frenado.

2.3.1.1. Textura superficial

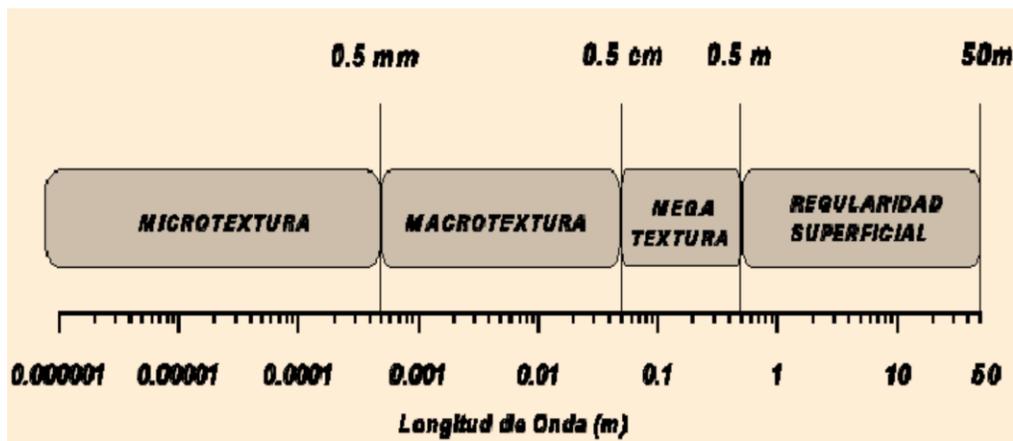
La textura del pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y la seguridad de los usuarios, necesario para la conservación de las carreteras.

La textura influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interface neumático-pavimento y, de forma indirecta en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, que tiene gran importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento. Además, la textura es la característica determinante en el nivel de ruido del tráfico, tanto del que perciben los ocupantes de los vehículos como el ruido de entorno que condiciona la calidad de vida de las zonas colindantes. En el aspecto

económico, la textura del pavimento influye en el consumo de gasolina, en el deterioro de los vehículos y sobre todo en el desgaste de los neumáticos.

Al evaluar la textura superficial hay que saber diferenciar entre la “macro textura”, la “micro textura”.

Figura 18. Clasificación de la textura superficial de los pavimentos.



Fuente: AIPCR (1995).

A pesar de esta clasificación, diferentes estudios han llegado a la conclusión que los factores que dependen de un pavimento para lograr niveles de fricción adecuados en contacto con un neumático son únicamente la macro textura y micro textura.

Tabla 1.

Clasificación de la textura superficial según (AIPCR).

Textura	Longitud de onda (mm)
Mega textura	50-500
Macro textura	0.50-50
Micro textura	0.0-0.5

Fuente: AIPCR (1995).

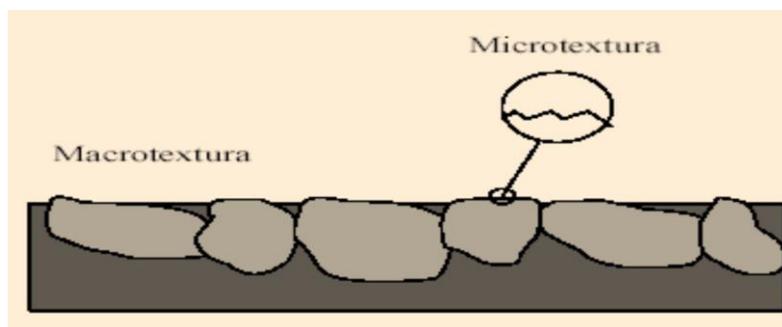
2.3.1.2. Micro textura

La micro textura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0,5 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio

de octava con ondas de no más de 0,4 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0,001 y 0,5 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, pero normalmente es tan pequeña que no puede observarse a simple vista.

Es la que genera la mayor adherencia neumático-pavimento y es la responsable de la resistencia al deslizamiento. Genera el mayor desgaste de los neumáticos y ruido de rodadura en las altas frecuencias del espectro acústico, este tipo de irregularidad es siempre necesario y es tan pequeña que no se puede apreciar a simple vista.

Figura 19. Definición de macro textura y micro textura.



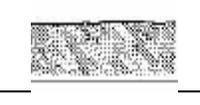
Fuente: AIPCR (1995).

La micro textura influye en la fricción y la macro textura en la capacidad de evacuar el agua, lo que a su vez ayuda a mejorar la fricción.

2.3.1.3. Macro textura

La macro textura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,5 y 50 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava entre 0,5 y 50 mm). La amplitud entre picos de la macro textura varía normalmente entre 0,01 y 20 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que los dibujos del neumático.

Figura 20. Clases de textura

TIPO	Superficie	Clases de textura	
		Marco	Micro
A		Gruesa	Áspera
B		Gruesa	Pulida
C		Fina	Áspera
D		Fina	Pulida

Fuente: AIPCR (1995).

- Presenta longitudes de onda del mismo orden que los elementos de labrado del neumático en la zona de contacto con el pavimento.
- Es necesaria para una adecuada resistencia al deslizamiento a altas velocidades en condición de superficie húmeda.

Esta característica es necesaria para una adecuada resistencia al deslizamiento a velocidad media y elevada con pavimento mojado. Además de fricción por deformación relacionada con histéresis del hule, la rugosidad permite reestablecer el contacto con adherencia a la alta velocidad. De este modo y mientras en zona urbana (velocidades moderadas) es adecuada una macro textura moderna y micro textura áspera, en carreteras será conveniente que exista además una macro textura rugosa.

2.3.1.4.Limitantes en la macro textura y la micro textura

Cuanto mayor sea el valor de la macro textura, mejor será la capacidad de evacuación de agua en la interface neumático pavimento, sin embargo esta elevada capacidad de drenaje hace que exista un mayor nivel de ruido.

También, cuanto mayor sea el valor de micro textura habrá mejor adherencia entre el neumático y el pavimento; sin embargo, esto produce un mayor desgaste de los neumáticos, es importante entonces, encontrar un punto en que ambas se compensen.

Por otro lado, como se ha podido apreciar, la textura superficial de un pavimento está directamente relacionada con la resistencia al deslizamiento y la fricción.

2.3.2. Pendiente longitudinal

La fricción de un pavimento está distribuida en sentido longitudinal y transversal. Por tal motivo se debe tener cuidado con la adherencia en muchos puntos de la superficie del pavimento. Al momento del diseño geométrico de la vía se toma en cuenta este problema, asumiendo un factor de fricción admisible que representa a la fuerza de fricción con respecto a la velocidad.

2.3.2.1. Levantamiento topográfico

Se denomina **Levantamiento topográfico** a la aplicación de una serie de técnicas y procedimientos de Ingeniería empleados en la toma de datos referidos a un terreno, edificación, parcela, finca o en general, a aquello que es el objeto del trabajo, con el objetivo de realizar una representación gráfico o plano del mismo.

Se pueden clasificarse, en función de los datos a representar.

Este levantamiento solo realizo para obtener las pendientes de los tramos a realizar la investigación.

Se realizó el levantamiento topográfico de pendiente longitudinal con la estación total SOKKIA, estos datos y el procesamiento del mismo se encuentra en Capítulo III.

2.3.3. Resistencia al deslizamiento y fricción

Una parte importante para la resistencia al deslizamiento son las características que debe cumplir el pavimento, se refiere a disponer de una superficie que asegure la adherencia con los neumáticos en todo instante y sobre todo en zonas de frenado curvas y cuando el pavimento este mojado ya que es fundamental para la seguridad de los usuarios.

La adherencia entre el pavimento y neumático va decreciendo debido al pulimiento de la superficie a causa del tránsito, un parámetro importante en la adherencia es el coeficiente

de fricción. Este coeficiente puede cuantificar físicamente mediante un factor que resulta de la relación entre la fuerza de fricción desarrollada en la interfaz de un neumático impidiendo a rodar sobre el pavimento y el peso sobre el neumático.

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

2.3.3.1. Coeficiente de fricción

El movimiento de un vehículo es posible mientras las fuerzas resistentes sean iguales o superiores a las fuerzas de arrastre. La resistencia al deslizamiento que presenta una superficie de pavimento está determinada por el valor efectivo de roce expresado mediante el coeficiente de fricción μ .

El vehículo se considera como cuerpo rígido y se asume que las fuerzas resultantes actúan en el centro de gravedad. La fuerza de fricción es dependiente del coeficiente de fricción y de la carga normal sobre la trayectoria de contacto entre neumático y pavimento. Para la distribución de las fuerzas en la conducción dinámica relativa el vehículo se considera como una masa puntual. Se representa la siguiente relación:

$$F = \mu * Q$$

Donde:

F= Fuerza de fricción.

Q= Peso del vehículo.

μ = Coeficiente de fricción.

El coeficiente de fricción varia por la influencia de elementos físicos como presión de aire de los neumáticos, composición de los neumáticos, tipo y condición de la superficie del pavimento, presencia o ausencia de humedad, fango, nieve o hielo.

Durante el movimiento del vehículo, diferentes fuerzas son transmitidas entre los neumáticos y el pavimento, las cuales actúan normal a la superficie (fuerza vertical) como también paralelas a ella (fuerza horizontal).

Cada neumático contribuye a la transición de fuerzas cuando el vehículo está en movimiento. Para el modelo de masa puntual se debe considerar que:

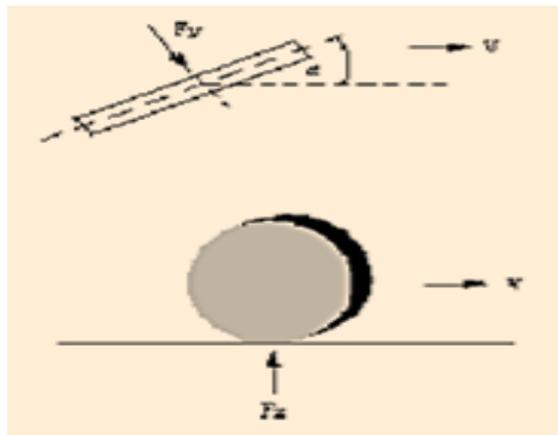
- La masa del vehículo está concentrada en el centro de gravedad.
- Todas las fuerzas actúan en el centro de gravedad.
- El centro de gravedad hipotético del vehículo se proyecta sobre la superficie.
- El área de contacto entre el neumático y superficie está generalizada y simplificada.
- El movimiento tridimensional es reducido al movimiento en dos dimensiones, las cuales son analizadas en forma separada.

2.3.3.2. Tipos de Coeficiente de Fricción

Coeficiente de fricción Transversal.

Es la relación entre la reacción (F_Y) transversal a la rueda situada en un plano perpendicular al plano de la misma y el peso que actúa sobre ella.

Figura 21. coeficiente de fricción transversal.

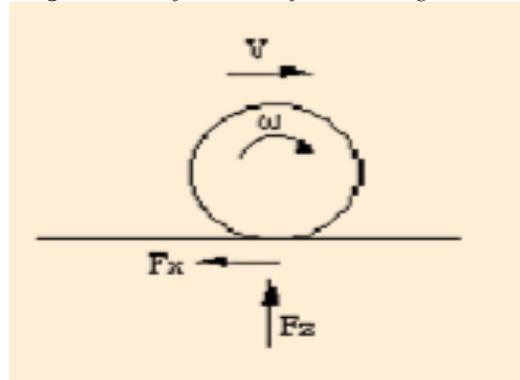


Fuente: Inst. Politécnico Nacional (IPN).

Coeficiente de fricción longitudinal

Es la relación entre (F_X) tangencial a la rueda situada en un plano vertical al plano de la misma y el peso que actúa sobre ella (F_Z), como se observa en la figura.

Figura 22. coeficiente de fricción longitudinal.



Fuente: Inst. Politécnico Nacional.

2.3.3.3. Componentes del coeficiente de fricción

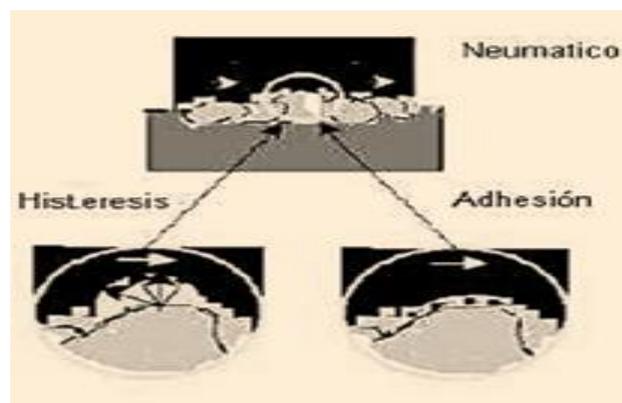
Adhesión

La adhesión es el resultado de la resistencia al corte provisto por la interacción molecular de la goma del neumático y de los áridos. Su magnitud es determinada por la naturaleza de los materiales en contacto.

Deformación por Histéresis

La deformación o Histéresis de origen visco-elástico son causadas por pérdida de amortiguamiento en la goma, cuando esta es desgastada sobre y alrededor de las partículas minerales.

Figura 23. componentes de la fricción adhesión e histéresis.

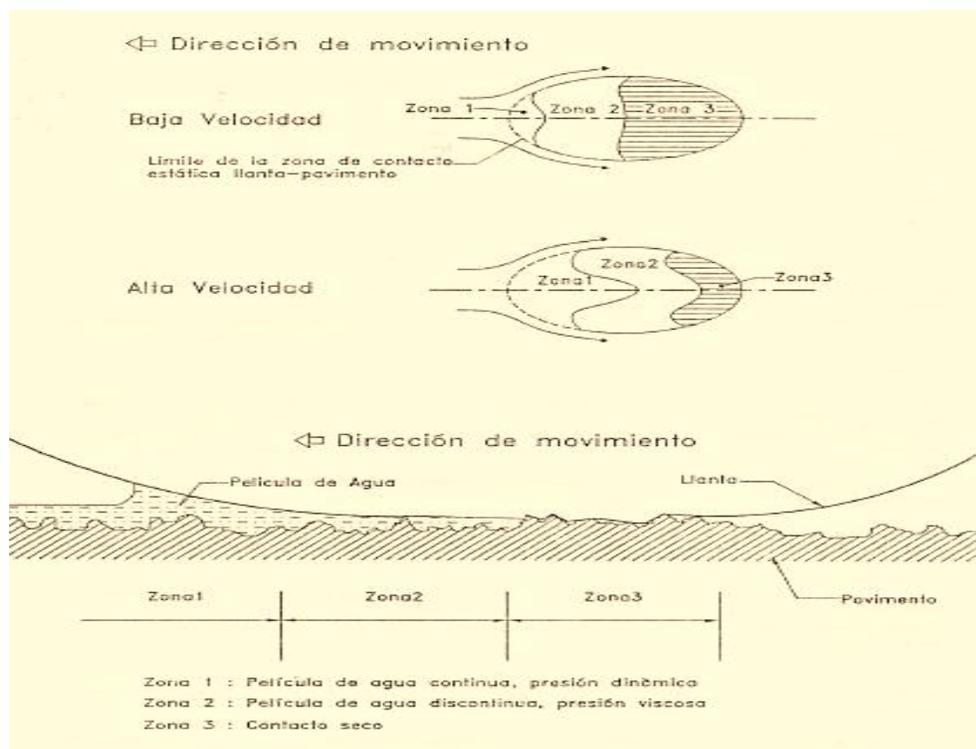


Fuente: Inst. Politécnico Nacional (IPN).

2.3.4. Presencia de agua en el pavimento

Cuando el pavimento se encuentra seco, la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento es mucho mayor que cuando una superficie tiene presencia de agua. Las condiciones existentes en la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento mojado es la siguiente:

Figura 24. Zonas de contacto neumático pavimento en condiciones de piso mojado.



Fuente: Cfr. De Solmuniac, Echaveguren 2003.

Como se aprecia en la figura la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento se divide en tres zonas:

- Zona 1: El agua es evacuada progresivamente por los dibujos de la goma y por la Macro textura del pavimento, la fricción es prácticamente nula.
- Zona 2: Es esta parte queda una cantidad de agua a evacuar y el neumático empieza a tener contacto con las irregularidades del pavimento.
- Zona 3: El neumático está en contacto seco, la adherencia está desarrollada en esta verdadera zona de contacto.

Al aumentar el espesor de la película de agua, la zona 3 se vería disminuida, aumenta la zona 1 y por tanto se reduce la adherencia.

Para que el agua se pueda eliminar con una mayor rapidez que la que podría evacuar el dibujo del neumático se requiere de una macro textura gruesa.

En la zona 3 y parte de la zona 2 se requiere de micro textura áspera de tal manera que logre atravesar la película delgada de agua y produzca puntos secos de contacto.

2.3.4.1.El efecto de hidropneumático

Es conocido como la pérdida de control de un conductor debido al espesor de la película de agua que se encuentra sobre la calzada debido a que los neumáticos pierden contacto con la superficie del pavimento. Esto se debe principalmente a la presencia de texturas muy finas que no dan tiempo de evacuar el pavimento. El hidropneumático es una de las características que más pueden afectar a los usuarios, esta depende principalmente de:

Figura 25.Efecto de hidropneumático.



Fuente: Cfr. Díaz 1999.

- La velocidad y el peso del vehículo
- Las características y estado de los neumáticos.
- La macro textura del pavimento y de espesor del agua sobre el pavimento.

2.3.5. Velocidad del vehículo

Al aumentar la velocidad, disminuye la fricción. Esta disminución es tanto menor cuanto mejor es la capacidad de evacuación del agua que proporciona la macro textura” En este

trabajo se presenta una descripción de la obtención del Índice de Fricción Internacional a partir de mediciones de textura y resistencia al deslizamiento, y finalmente, su interpretación y aplicación para evaluar las condiciones superficiales del pavimento, en aras de la seguridad vial.

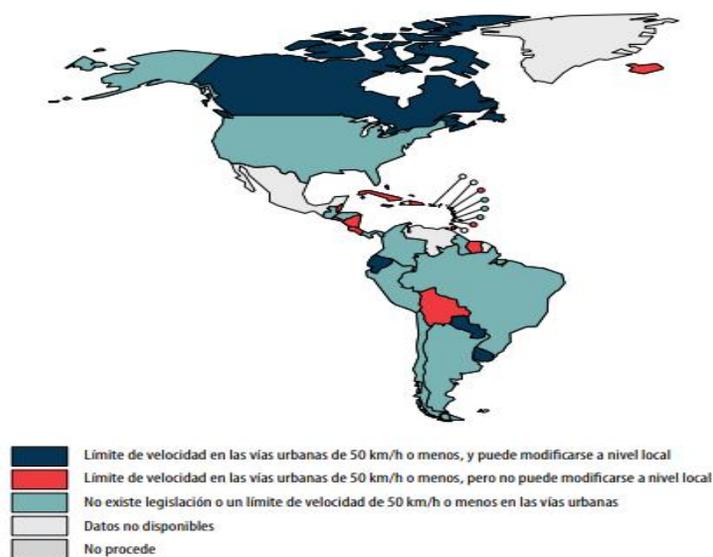
Se evaluará la capacidad de resistencia al deslizamiento de dos formas distintas:

La primera mediante la fórmula de distancia de frenado con el cálculo de IFI, velocidades y pendientes la segunda por método experimental o distancia de frenado real en superficies secas, húmedas.

2.3.5.1. Límites de velocidad en zonas urbanas

En las zonas urbanas, los usuarios más vulnerables comparten el mismo espacio con vehículos potentes y pesados, por lo que los límites de velocidad en esas zonas no deben superar los 50 km/h, tal y como reconocen los consensos internacionales de buenas prácticas. En las Américas, ya son diecisiete países los que han fijado estos límites máximos en las zonas urbanas. Las leyes sobre los límites de velocidad deben ir acompañados de un cumplimiento estricto para que sean eficaces y permitan salvar vidas.

Figura 26. Leyes sobre la velocidad en las zonas urbanas de las Américas, por país (2013).



Fuente: La seguridad vial en las Américas (OPS, 2016).

2.3.5.2. Velocidad de recorrido

En estos casos se determinan tiempos de viaje (t) para un cierto tramo de longitud (d) de la vía. Normalmente se trabaja con muestra (subconjunto de vehículos observados). Los métodos de medición más usuales son:

- **Medición directa:** Un observador con cronómetro determina la diferencia de tiempo de viaje ΔT entre dos marcas separadas a una distancia ΔL . La velocidad individual (V_i) de cada vehículo será el cociente entre ΔL y ΔT . Es un método simple, pero sólo aplicable a tramos cortos ya que un error en la obtención de ΔT implica velocidades diferentes. Existen problemas de paralelismo y el proceso es lento, lo que implica considerar tamaños muestrales pequeños.
- **Método de las patentes:** Este método consiste básicamente en ubicar observadores a la orilla de la vía, a fin de que anoten el número de la patente y el tiempo de pasada entre dos puntos de cada vehículo motorizado, identificando su categoría (vehículo liviano, bus, camión de dos ejes, etc.). La gran desventaja de esta técnica es el requerimiento computacional posterior para el análisis y procesamiento de la información. Para situaciones de alto flujo vehicular, normalmente se anotan las patentes de algunos dígitos en particular; por ejemplo, los dígitos pares. Este método permite obtener tiempos de viaje o velocidades, conocida la distancia recorrida, para cada vehículo registrado. Se requiere que los cronómetros estén sincronizados. Su limitación radica en la dificultad de lectura de la patente al oscurecer.
- **Método del vehículo flotante:** Este método consiste en utilizar un vehículo que circule dentro de un pelotón de vehículos, en períodos sin congestión, registrando el tiempo empleado en recorrer un tramo de vía de longitud determinada. Los inconvenientes principales consisten en que los resultados obtenidos estarán estrechamente ligados a la forma de conducción del vehículo y el número de observaciones normalmente es pequeño en comparación con otros métodos.
- **Método del seguimiento:** Este método consiste en utilizar un vehículo que, a diferencia del caso anterior, está equipado con un registrador de eventos, de modo que registre, cada cierto intervalo de tiempo predefinido, la distancia recorrida y el tiempo empleado. Con esto, la información posible de obtener es el tiempo de

viaje del pelotón para cada tramo recorrido. Las limitaciones del método son similares a las del vehículo flotante.

Se determinó la velocidad de circulación con el método de las patentes y con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{d}{t}$$

Donde:

V= Velocidad (km/hr)

d = Distancia (km)

t = Tiempo (hr)

2.3.5.3. Velocidad y siniestros excediendo los 70 km/hr

Entre todos los factores de riesgo relacionados con los siniestros viales, el exceso de velocidad está considerado casi de forma unánime como el más importante.

Cuando se conduce a velocidad excesiva aumenta la probabilidad de que el conductor pierda el control del vehículo, ya que tiene menos capacidad para anticipar los peligros. También impide que otros usuarios de la vía pública puedan prever adecuadamente el comportamiento del auto.

En esta relación entre velocidad y riesgo, como ya se ha apuntado, intervienen tanto las leyes de la física como las capacidades de un conductor para enfrentar situaciones inesperadas. Como se muestra en la figura 27, el campo de visión de un conductor se ve reducido a medida que la velocidad aumenta. Las velocidades elevadas también implican que los usuarios de la vía pública tienen menos posibilidades de tomar medidas preventivas en relación con los vehículos.

Figura 27. Campo de visión del conductor a diferentes velocidades



Fuente: Control de la velocidad: Un manual de seguridad vial para los responsables de tomar decisiones y profesionales (GRSF, 2008).

2.3.5.4. Accidentes por exceso de velocidad

Despiste: Es la acción u efecto de perder la pista y se aplica al caso en que el vehículo abandona la calzada por la que transita contra o sin la voluntad de su conductor. El despiste es simple cuando no ocurre nada más que lo señalado pero el despiste puede ser el origen de otro accidente de mayor entidad.

Tonel: Es la vuelta de costado que se produce cuando el vehículo se apoya sobre las ruedas de un lado para girar en el sentido transversal al de marcha. Esto también se conoce como volcamiento o volcadura transversal. La posición final del tonel o volcadura transversal se indica en cuartos a la derecha o izquierda según sea el giro y se dice que ha quedado en 1/4 se queda sobre el costado inmediato a la posición normal de rodaje; 2/4 si ha quedado sobre el techo; 3/4 si es sobre el costado contrario al del inicio del giro; 4/4 si dada la vuelta completa, queda otra vez en la posición normal de rodaje. Sucesivamente se puede seguir indicando cuartos, según sean las vueltas y posiciones.

Vuelta de campana: Que es la volcadura en sentido longitudinal del vehículo, en que la posición final se manifiesta también de la manera descrita anteriormente. Estos son los accidentes ocasionados al exceder la velocidad pudiendo llegar a ser fatales.

2.3.6. Clasificación de la vía

Esto está relacionado con la categoría de la vía. El tipo y volumen de tráfico que circule por la vía influirá en el desgaste del pavimento. Mientras mayor sea la carga, mayor será el desgaste del pavimento y por ende, las características adecuadas para una textura superficial correcta, disminuirán.

Las vías urbanas de la ciudad de Tarija serán calles y avenidas de (Tarija - Cercado) también diferenciadas por los años que están estas en funcionamiento al servicio de los usuarios.

2.3.7. Tipo de Vehículo

Clasificación de vehículos según Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.) los vehículos del país se clasifican en 4 grandes grupos detallados en la tabla:

Tabla 2.
Clasificación de vehículos según (A.B.C.)

Grupo de clasificación	Características del vehículo	Ancho total (m)	Largo total (m)	Radio minio de la rueda externa delantera (m)	Radio minio de la rueda interna trasera (m)	Detalles
VP	Automóviles	2.10	5.8	7.30	4.70	Vehículos livianos como automóviles, camionetas vagonetas, minibuses, etc.
CO	Autobuses y Camiones	2.60	9.10	12.80	8.70	Vehículos comerciales de dos ejes, camiones autobuses comerciales normalmente de dos ejes y 6 ruedas.
O	Autobuses interurbanos	2.60	12.20	12.80	7.10	Automóviles y camiones de mayores dimensiones autobuses empleados para viajes de larga distancia y turismo cuentan con 3 ejes
SR	Camiones semi-remolque	2.60	16.80	13.70	6.00	Vehículo comercial articulado, compuesto normalmente de un remolque o semirremolque de 2 ejes

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

Los vehículos livianos: automóviles y similares, determinan las velocidades máximas a considerar en el diseño, así como las dimensiones mínimas, ellas participan en la determinación de las distancias de visibilidad de frenado y adelantamiento.

Las dimensiones de los vehículos y su movilidad son factores de incidencia relevante en el diseño. Largo, ancho y alto de los vehículos condicionan en gran medida diversos elementos de la sección transversal, los radios de giro, los ensanches de calzada en curvas y los gálibos verticales bajo estructura. Su peso es uno de los factores determinantes del cálculo estructural de pavimentos y estructuras.

Vehículos livianos: Automóviles, Camionetas hasta 1.500 Kg.

Locomoción Colectiva: Buses rurales e interurbanos.

Camiones: Unidad simple para transporte de carga.

Camión con Semirremolque o Remolque: Unidad compuesta para transporte de carga.

El vehículo utilizado en esta investigación es un vehículo liviano de marca Toyota las características de este vehículo las presentare a continuación:

Figura 28. Vehículo Toyota sedan serie 110 octava generación 1998.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.
Características del vehículo Toyota corolla 1998

Dimensión	Corolla
Largo	4.19 m
Ancho	1.58 m
Alto	1.38 m
Distancia entre ejes	2.37 m
Peso (sin carga)	1002.43Kg

Fuente: Carecar .com

2.3.8. Neumáticos

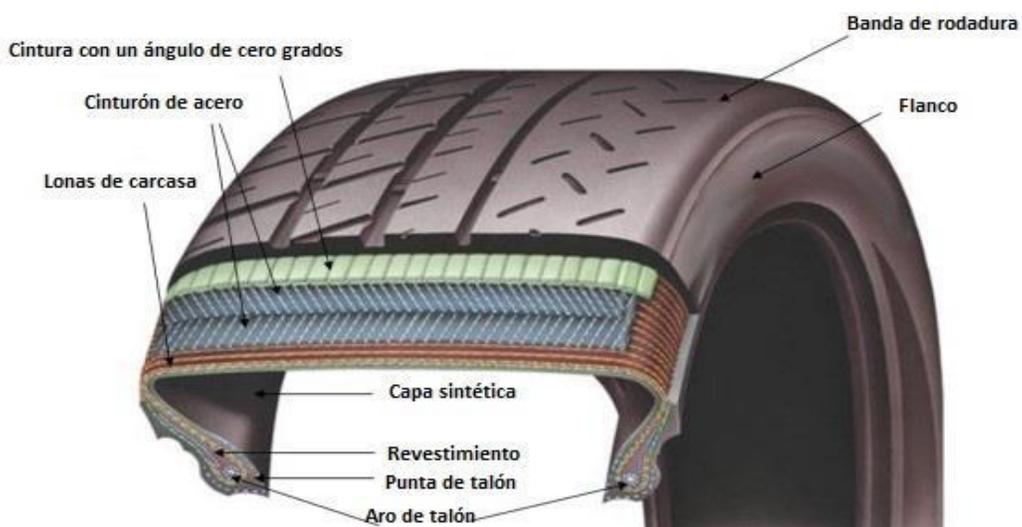
Los neumáticos, son los elementos del vehículo que toman contacto con la vía, es, por lo tanto, el órgano vital más influyente en la génesis del accidente. Consiste en una cubierta, principalmente de caucho, que contiene aire, el cual soporta al vehículo y su carga.

En la actualidad, la mayoría de los neumáticos de vehículos de pasajeros, como los de camión, son radiales, por lo que están compuestos de una banda de rodamiento elástica, una cintura prácticamente inextensible y una estructura de aros radialmente orientada, sobre una membrana inflada y sobre unos aros también inextensibles que sirven de enganche a otro elemento rígido, que es la llanta. También existen otro tipo de neumáticos llamados diagonales, utilizados principalmente en camiones.

La banda de rodamiento es la encargada de asegurar la adherencia del vehículo a la carretera, independientemente del estado del suelo, además de permitir la transmisión de los esfuerzos de tracción y frenado. Su compuesto de caucho debe resistir la abrasión y el desgaste. Dicha banda de rodamiento presenta un dibujo o escultura.

El principal componente del neumático es el caucho, casi la mitad de su peso. En la fabricación de un neumático se utilizan cauchos naturales y sintéticos, cuya combinación se realiza de modo que los primeros proporcionen elasticidad y los segundos estabilidad térmica. Además de caucho, los neumáticos están compuestos por: rellenos reforzantes, fibras reforzantes, plastificantes, agentes vulcanizantes, acelerantes, retardantes, antioxidantes o antiozonizantes y adhesivos.

Figura 29. Composición del Neumático.



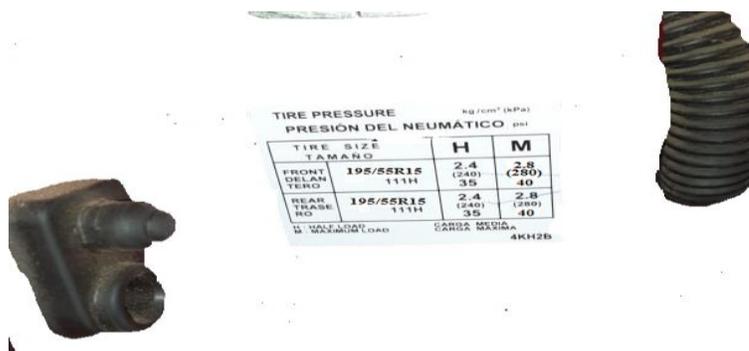
Fuente: Licenciatura en criminalística prov. Mendoza.

2.3.9. Presión de inflado

La presión de inflado de los neumáticos depende de las especificaciones dadas en cada automóvil. En el Tarija- Bolivia son muy pocos los usuarios que utilizan correctamente la presión de inflado y siempre tienden a inflar más la llanta de lo especificado. Este es un problema muy grave ya que la fricción entre la superficie del neumático y la superficie del pavimento disminuirá si el neumático posee una gran presión de inflado debido a que habrá menor área de contacto.

Por este motivo, para que haya una adecuada adherencia neumático – pavimento, es de vital importancia que las autoridades creen conciencia de ello y regulen el tema.

Figura 30: Referencia de presión de inflado óptimo de los neumáticos en el vehículo.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.
Presión de inflado de neumáticos.

Tamaño	H	M
Llanta original delantera: 195/55R15	2.4Kg/cm ² 240KPa 35psi	2.8Kg/cm ² 240KPa 40psi
Llanta original trasera: 195/55R15	2.4Kg/cm ² 240KPa 35psi	2.8Kg/cm ² 240KPa 40psi

Fuente: Manual del Conductor Toyota corolla.

H= Carga media.

M= Carga máxima.

2.3.9.1. Adherencia del neumático

Un punto muy importante de la seguridad del vehículo es su "conexión" con el suelo. Los neumáticos son los encargados de asegurar en todo momento el agarre del vehículo al suelo. Este agarre se consigue con el rozamiento entre la superficie del suelo y la banda de rodadura del neumático. El coeficiente de rozamiento está en función del estado del suelo, del tipo de compuesto de los neumáticos, de la profundidad del dibujo, y de la presión de inflado.

Pero el rozamiento del neumático con el suelo depende del coeficiente de rozamiento multiplicado por el peso del vehículo que soporta. En una curva, la carrocería del vehículo se desplaza hacia el exterior, aumentando el peso sobre las ruedas del exterior y reduciendo el peso sobre las ruedas del interior. El rozamiento de las ruedas exteriores con el suelo aumenta, mientras que el rozamiento de las ruedas interiores disminuye.

Pero una consideración muy importante es la dirección de la fuerza de rozamiento. Cuando se acelera en línea recta, la fuerza de rozamiento tiene la misma dirección y sentido que el vehículo. Cuando se frena en línea recta, la fuerza de rozamiento sigue manteniendo la dirección pero su sentido es contrario al desplazamiento del vehículo. El rozamiento se utiliza para transmitir fuerza al suelo, ya sea para acelerar o para detener el vehículo.

Siempre que existe una transmisión de fuerza entre el neumático y el suelo se produce un deslizamiento entre ambos. En aceleraciones o frenadas normales, el deslizamiento suele quedar por debajo de un 10 o un 15%. Si se frena con mayor intensidad, el deslizamiento aumenta y puede llegar al 100% cuando la rueda está completamente bloqueada. En este caso, el neumático solamente es capaz de transmitir al suelo una fuerza de rozamiento con la misma dirección que tiene el vehículo. El conductor no puede en este caso controlar el vehículo, ya que el neumático carece de guiado lateral.

Influencia del desgaste en la accidentabilidad

Los desgastes en la banda de rodamiento influyen en la adherencia y, por ello, en la eficacia de frenada y en la estabilidad en curvas. Por tanto, según se manifiesta, la escultura de la banda de rodamiento debe mantenerse en línea de uso hasta tanto la profundidad del dibujo alcance el mínimo de 1,6 mm, considerado esencial para un nivel de seguridad aceptable, con menos de un milímetro de profundidad, el comportamiento del vehículo durante una frenada disminuye de un 60 a 70 % a partir de los 80 km/h.

2.3.9.2. Tipo de neumático

Los neumáticos lisos tendrán menor adherencia con el pavimento que los neumáticos con dibujos ya que los neumáticos con dibujos hacen que el agua evacúe más rápido sobre la superficie de contacto. Es por eso que en esta investigación utilizaremos neumáticos (Nuevos y Lisos) y determinar la capacidad de adherencia que presentan cada neumático, el tipo de neumático es importante ya que son los encargados de asegurar la adherencia y la amortización de las imperfecciones del pavimento, siendo fundamentales para la seguridad. Todos los neumáticos vienen con unas inscripciones grabadas. Estas definen gran parte de sus características, las cuales generalmente son:

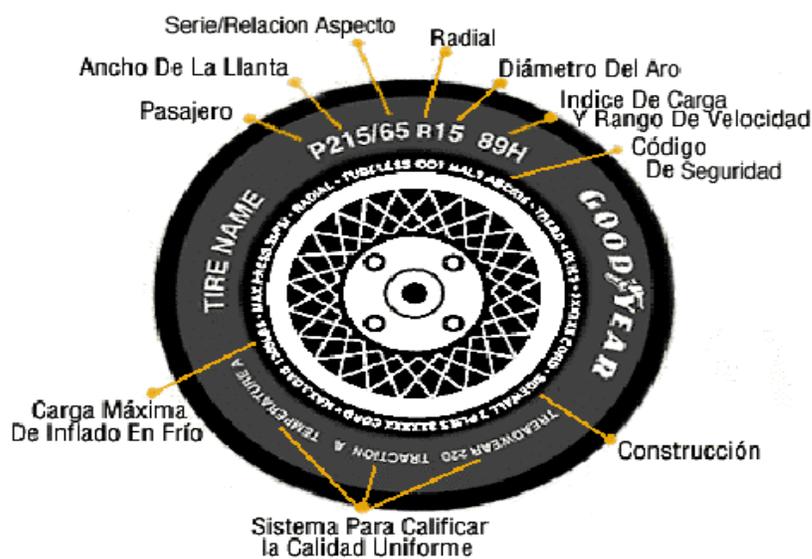
- P: Pasajero (automóvil de turismo). Si aparece LT se trata de un vehículo de carga ligero (light truck).
- 215: Ancho del neumático (mm). Se mide con la presión máxima de inflado y sin carga alguna.
- 65: Neumático radial. Si aparece B significa que está construido con capas circulares. Si aparece D está construido en forma diagonal.

- 15: Diámetro de la llanta.

El neumático utilizado en la investigación fueron los de la marca TRIANGLE son neumáticos de procedencia china nuevos los cuales fueron elegidos por que son accesibles en nuestro medio y la mayoría de las personas de la ciudad optan por comprar esta marca debido a su buena durabilidad y fácil acceso para adquirirlos.

Desde ese punto de vista y conociendo que gran parte del parque automotor utiliza estas marcas chinas vi conveniente el uso de las mismas tanto en neumáticos nuevos como lisos.

Figura 31. Incripciones y características de los tipos de neumáticos.



Fuente: GOODYEAR.com.

2.3.9.3. Triangle

Los Neumáticos TRIANGLE destacan por ser de alta calidad. En la actualidad esta marca se encuentra en expansión en el mercado europeo una vez que arrancó en el mercado Chino con una enorme aceptación por parte del público chino. Los **neumáticos triangle** cuentan con todas las homologaciones del mercado y además tienen todos los requisitos para poder circular en cualquier carretera del mundo.

Figura 32. Neumático Triangle 195/55R15.



Fuente: Página oficial Triangle.

Triangle expresa su espíritu de esta manera: desarrollo a una mayor velocidad, proseguir con gran eficiencia, y presentarse con una alta calidad de productos. Habiendo crecido en un 50% desde 1976, los neumáticos de la marca Triangle están ahora entre los tres fabricantes más fuertes de la China, así como la decimocuarta entre los 50 fabricantes de neumáticos más grandes del mundo.

Triangle: Sinónimo de bajo consumo

El catálogo de **neumáticos Triangle** cuenta con un sistema de neumáticos de bajo consumo. Esto se consigue por medio de una rodadura inferior que hace que cualquier tipo de neumático de la gama te ayude a ahorrar gasolina. Además de eso, en la gama de neumáticos se puede disfrutar de un sistema de diseño simétrico que consigue que las ruedas se desgasten en ambos lados al mismo tiempo para que el conductor nunca pierda la estabilidad en ello.

Neumáticos Triangle es una de las empresas que lleva años en el mercado de los neumáticos y aporta a todos sus clientes la máxima durabilidad en todas sus ruedas. Dentro de los materiales de este tipo de neumáticos, encontramos los de primera calidad en las gomas, lo que ha podido hacer que se hayan abierto mercado en muchas partes del mundo.

2.4. ENSAYO PARA EVALUAR LA MICRO Y MACRO TEXTURA

Mediciones en vías urbanas calles y avenidas del departamento de Tarija.

Los tramos evaluados en Tarija- Cercado fueron de una longitud de 300 a 500 metros y se evaluaron puntos a cada 50 m. Estos tramos fueron seleccionados debido a que se cuenta con un historial y monitoreo de los mismos. Se seleccionaron tomando en cuenta los puntos negros (zonas con alto índice de accidentes), debido al alto volumen de tránsito y peligrosidad en condiciones húmedas.

- Los tramos en estudio se consideraron de 150 a 600 m de longitud
- Cada tramo se dividió en segmentos de 50 y 100 m.
- Cada segmento se dividió tratando, en lo posible, de tomar las lecturas en las roderas y la parte central del carril.
- Los tramos de ensayo se señalaron convenientemente para poder realizar las mediciones. (fig. 33).

Se realizaron las pruebas de textura (círculo de arena), y las pruebas de fricción (péndulo británico) y la tercera para seguridad.

Las medidas de la textura se llevaron a cabo antes de realizar las mediciones de fricción, es decir antes de mojar el pavimento.

Figura 33. Trancado de calles sobre la Av. Circunvalación tramo en estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

Tipo de Indicadores.

Entre los principales indicadores del estado superficial del pavimento tenemos:

- Índice de serviciabilidad presente (PSI).
- Índice de rugosidad internacional (IRI).

- Índice de condición del pavimento (PCI).
- Índice de estado (IE).
- Índice de fricción internacional (IFI).

Cada uno de estos indicadores establece rangos para evaluar el pavimento. Su finalidad principal es definir en qué estado se encuentra superficialmente el pavimento, pero también puede ser un indicador de la necesidad de realizar una evaluación estructural. En este caso evaluaremos nuestra carpeta asfáltica de Pavimento Rígido con el Índice de Fricción Internacional (IFI).

2.5.DEFINICIÓN DEL (IFI) ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL

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 macro textura.

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. No es posible, por el momento, describir con una relación sencilla el segundo número que compone el IFI.

Determinación del Parámetro (Sp)

Durante la elaboración del modelo, y a partir de los datos del experimento PIARC, se ha comprobado que la constante de velocidad Sp puede ser determinada mediante una regresión lineal en función de la medida en campo de la macro textura (Tx) tal que:

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

Donde los valores de las constantes a y b para cada uno de los equipos que participaron en el experimento se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5.
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: Secretaría de comunicaciones y transportes Inst. Mexicano del transporte ISSN.

Tabla 6.
Clasificación de la textura del pavimento

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

Fuente: Documento (PIARC).

2.6.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.

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 a partir de la ecuación 3, de donde despejando FR60 se obtiene:

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

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

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

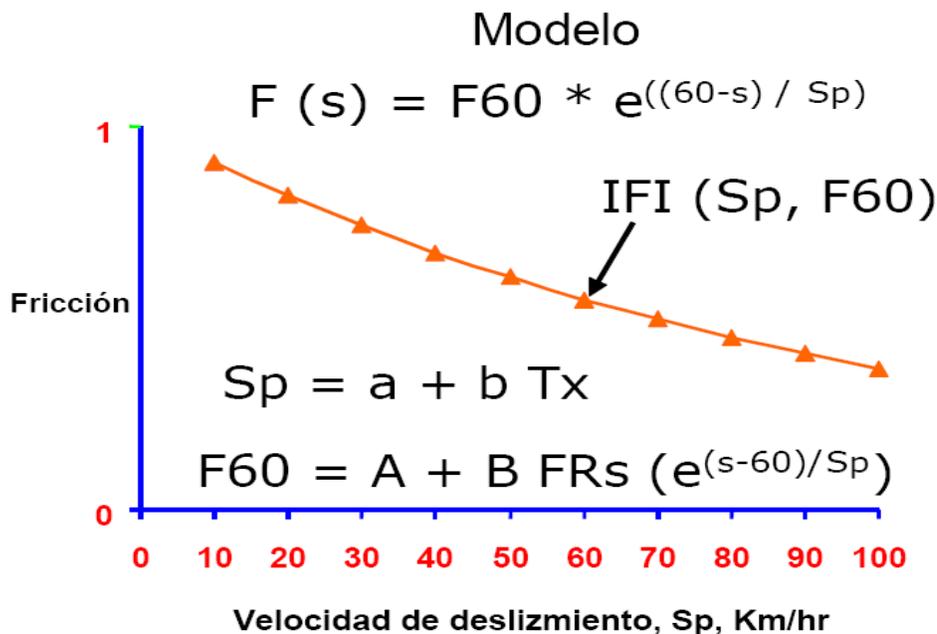
2.6.1. Implementación del IFI.

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 ($F60$, S_p). El conocimiento de esos parámetros permite además conocer la curva de referencia estimada de fricción en función de la velocidad de deslizamiento (tabla. 6) con una ecuación análoga a la 3 que se expresa como:

$$FRS = F60 * e^{\frac{60-s}{S_p}}$$

En el capítulo siguiente se presentan, a manera de ejemplo, algunas mediciones de IFI realizadas en carreteras representativas de la red nacional.

Figura 34. Modelo del Índice de Fricción Internacional, según documento (PIARC)



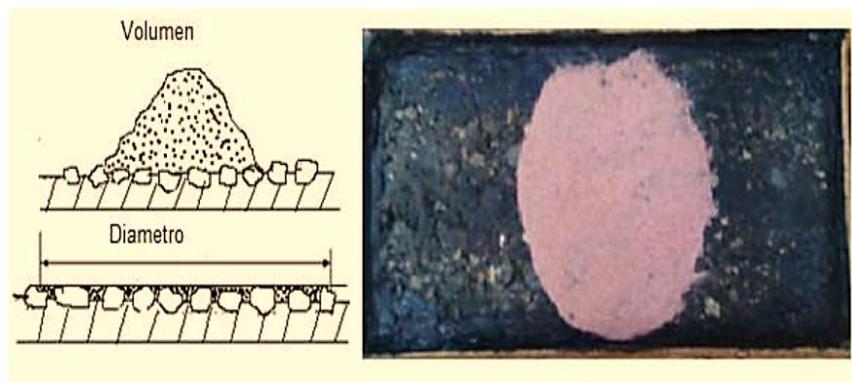
2.6.2. Medición de la macro textura método mancha de arena

2.6.2.1. Descripción de la prueba de la mancha de arena

Este método de prueba (fig. 35) es adecuado para pruebas de campo el cual determina el promedio del espesor de la macro textura de la superficie del pavimento. El conocimiento del espesor de la macro textura sirve como una herramienta en la caracterización de las texturas superficiales de los pavimentos.

Cuando se utiliza en conjunción con otras pruebas físicas, el espesor de la macro textura derivada de este método de prueba puede ser utilizado para determinar la capacidad de resistencia al deslizamiento de los materiales en pavimentos o la sugerencia de un mejor acabado. Cuando se utiliza con otras pruebas, se debe tener cuidado de que todas ellas se apliquen al mismo lugar. Se pueden obtener mejoras en la evaluación del acabado de pavimentos y planes de mantenimiento del uso de este método.

Figura 35. Mancha de Arena.



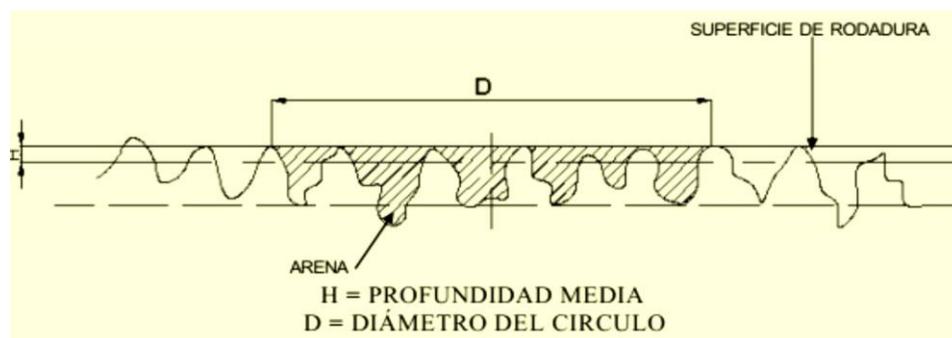
Fuente: (ASTM E 965).

Las mediciones del espesor de la textura producida utilizando este método de prueba se ve influenciada por las características de la macro textura de la superficie. La forma de la partícula del agregado, tamaño y distribución son características de la textura superficial no tomada en cuenta en este procedimiento. Este método de prueba no intenta proporcionar una calificación completa de las características de la textura superficial.

Los valores del espesor de la macro textura superficial en el pavimento determinado por este método, con el material y procedimientos establecidos aquí, no necesariamente concuerdan o se correlaciona directamente con otras técnicas de medición de textura superficial. Este método también es adecuado para propósitos de investigación y desarrollo, en donde se realizan comparaciones entre superficies de pavimento en la misma evaluación.

La superficie del pavimento a ser muestreado utilizando este método de prueba debe estar seca y libre de cualquier residuo de construcción, escombros superficiales, y partículas agregados sueltos que se pudieran remover o desplazar durante condiciones ambientales y de servicio normales.

Figura 36. Ensayo mancha de arena.



Fuente: (ASTM E 965).

Procedimiento:

Los materiales y método de prueba estándar constan de una cantidad de material uniforme, un recipiente de volumen conocido, una pantalla adecuada para protección contra el viento, brochas para limpiar la superficie, un disco plano para dispersar al material sobre la superficie y una regla o cualquier otro dispositivo para determinar el área cubierta por el material. Se recomienda también una balanza de laboratorio para asegurarse de la consistencia de las mediciones de cada ensaye.

El procedimiento de prueba involucra la dispersión de un volumen conocido de material sobre una superficie de pavimento limpia y seca, la medición de dicha área cubierta, y subsecuentemente se calcula el promedio del espesor entre la parte inferior de los vacíos y la parte superior de los agregados. Esta medición del espesor de la textura superficial refleja las características de la macro textura.

En la dispersión del material especificado en este método, la superficie de los vacíos está completamente llena hasta los picos de las partículas circundantes. Este método de prueba no se considera conveniente para utilizarse en superficies estriados o pavimentos con vacíos grandes (\geq (25mm)).

Superficie de prueba.- Inspeccione la superficie del pavimento por ser evaluada y seleccione un área seca y homogénea que no contenga características únicas o localizadas tales como grietas y juntas. Debe estar completamente limpia utilizando primeramente la brocha de alambre y posteriormente la brocha de cerdas suaves para remover cualquier residuo, escombros o partículas de agregado sueltas de la superficie. Colocar la pantalla contra viento alrededor de la superficie por ensayar.

Material de prueba.- Llene el volumen de material conocido con material seco, golpee suavemente la base del cilindro varias veces sobre una superficie rígida. Llene con material hasta la parte superior del cilindro y nivele con una regleta. Si se dispone de una balanza, determine la masa del material en el cilindro y utilice esta misma masa de material de prueba en cada determinación.

Medición del ensayo.- Vierta el volumen del material en la superficie limpia dentro del área protegida por la pantalla contra viento. Disperse cuidadosamente el material en el parche circular con la herramienta de disco, con la parte cubierta con hule hacia abajo, llenando los vacíos superficiales hasta los picos de las partículas de agregados, también puede realizarse con una regleta.

Mida y registre el diámetro del área cubierta por el material como mínimo de cuatro localizaciones igualmente espaciadas alrededor de la circunferencia de la muestra. Calcule y registre el diámetro promedio.

Número de mediciones de prueba.- El mismo operador deberá desarrollar al menos cuatro mediciones del espesor de la macro textura, espaciadas aleatoriamente sobre un tipo de superficie de pavimento ensayado. El promedio aritmético de los valores de espesor de la macro textura se deben considerar como el promedio del espesor de la macro textura de la superficie del pavimento bajo estudio.

Equipo para la realización de ensayo.

Material Esferas de vidrio sólido con 90% de redondez de acuerdo con el método de prueba ASTM D 1155 o podría utilizarse arena graduada de tal manera que tengan un mínimo de 90% en peso que pase la malla No. 60 y se retenga en una No. 80.

Recipiente de prueba.- Se puede utilizar un recipiente cilíndrico metálico o de vidrio, con volumen interno predeterminado de al menos (25,000 mm³), el cual se utilizará para determinar el volumen de arena dispersa.

Herramienta de dispersión.- Se deberá utilizar un disco plano duro de aproximadamente 1 pulgada (25 mm) de espesor y (60 a 75 mm) de diámetro para dispersar la arena. La parte inferior del disco deberá estar cubierta con un material de hule duro y se puede acoplar un asa conveniente a la parte superior del disco. O si no se cuenta con esta herramienta, puede ser remplazada por una regleta, lo suficientemente larga para abarcar el diámetro formado por la arena dispersa.

Brochas.- Se deberán utilizar una brocha de alambre y una de cerdas suaves se deberá utilizar para limpiar completamente a la superficie del pavimento antes de la aplicación del material de prueba.

Pantalla contra viento.- Se utiliza para proteger al material del viento y la turbulencia creada por el tráfico.

Escala.- Se deberá utilizar una escala estándar (regla o cinta métrica), (305 mm) o de longitud mayor que contenga divisiones (2.5mm) o 1mm.

Figura 37. Mancha de arena del tramo en estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del espesor de la macro textura

Volumen del cilindro – Calcule el volumen interno del cilindro de prueba como sigue:

$$V = \frac{\pi d^2 * H}{4}$$

V = Volumen interno del cilindro (mm³).

d = Diámetro del cilindro de prueba (mm).

H = Altura del cilindro (mm)

Espesor promedio de la macro textura del pavimento.

Calcule el promedio de la macro textura de la superficie utilizando la siguiente ecuación:

$$H = \frac{4V}{\pi d^2}$$

En donde:

H = Promedio del espesor de la macro textura de la superficie (mm).

V = Volumen de la muestra (mm³).

d = Diámetro promedio del área cubierta por el material (mm)

Tabla 7.
Clasificación de la seguridad vial.

Condición	Clasificación	Evaluación
< 0.2	Muy fina	requiere mantenimiento
0.2 ≤ PT ≤ 0.4	Fina	solo para tramos donde raramente se superan los 80 kph áreas urbanas
0.4 ≤ PT ≤ 0.8	Media	para tramos normales con velocidades de 80 a 120kph
0.8 ≤ PT ≤ 1.2	Gruesa	para tramos normales con velocidades superiores a 120kph
> 1.2	Muy gruesa	para casos especiales con peligro de deslizamiento

Fuente : Documento (PIARC).

2.6.3. Medición del micro textura por medio de la prueba del péndulo Británico

El péndulo de fricción (TRRL) se utiliza para medidas puntuales, es decir, no mide de forma continua. Esto trae como consecuencia que se tenga que obstaculizar el tránsito para su medida.

Este equipo mide el coeficiente de fricción para velocidades menores a 50 km/h. Se usa tanto para medir el CFL como el CFT, dependiendo de la ubicación del equipo.

Se utiliza sobre una superficie húmeda, dejando desplazarse un péndulo, que tiene debajo una zapata. Este recorre una distancia normalizada en la superficie a medir, hasta el reposo. Esta pérdida de energía por la fricción que tiene el pavimento se registra en una escala graduada que tiene incorporado.

2.6.3.1. Péndulo Británico (TRRL) (ASTM E 303 AASHTO T278-90)

Se emplea el aparato representado en la Figura N° 41, desarrollado y diseñado por el (Transport and Road Research Laboratory), cuyas características son:

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 (F) 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 (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo y manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

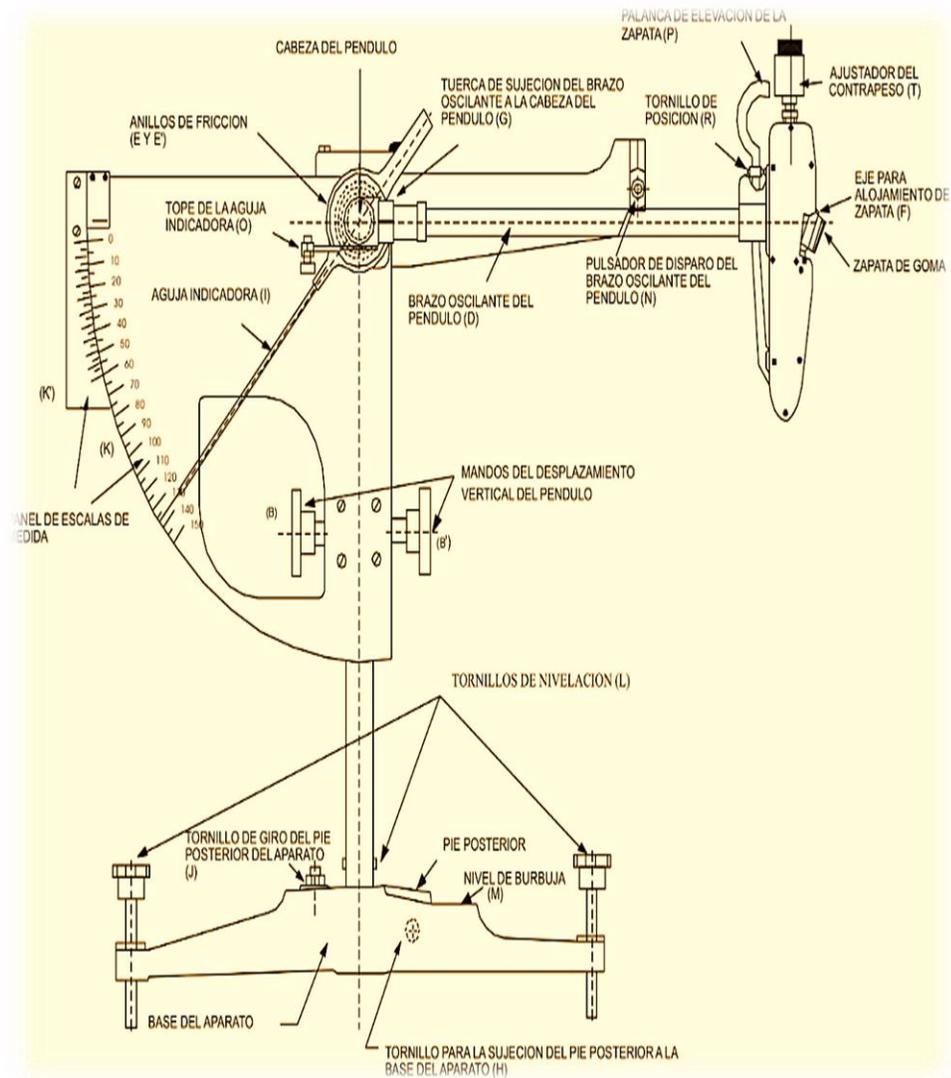
Características de la zapata de goma

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.

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

Figura38. Detalle del Péndulo Británico.



Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

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 (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N), se efectuará por medio de una cremallera (C), fijada en la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por uno cualquiera de los mandos (B y B'),. La cabeza quedará fijada por medio del tornillo de presión (A).

Dispositivo de disparo del brazo del péndulo

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

Dispositivo de medida

Un dispositivo consistente 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 (K) grabada sobre un panel. Un sistema de fricción del mecanismo de suspensión de la aguja que será regulable mediante los anillos de fricción roscados (E y E'), 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.

Procedimiento de Ensayo

Nivelación. Nivelar el instrumento exactamente (con precisión) girando los tornillos niveladores hasta que la burbuja esté centrada en el ojo la burbuja niveladora.

Ajuste a ceros. Se eleva la cabeza del aparato, de tal forma 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 lleva 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 del péndulo. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre la aguja y el brazo. Seguidamente, por presión sobre el pulsador se dispara el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en

su oscilación hacia delante. Se denota la lectura señalada por la aguja de la escala del panel y se vuelve el brazo a su posición inicial de disparo. La correlación de la lectura del cero se realiza mediante el ajuste de los anillos de fricción. Si la aguja sobrepasa el cero de la escala, la corrección exigirá apretar los anillos de fricción. Si la aguja no alcanza el cero de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción. Ajuste de la longitud de deslizamiento. Con el péndulo colgando libre colocar el espaciador abajo del tornillo de ajuste o regulación del brazo del péndulo. Bajar el brazo del péndulo de manera que la superficie de la goma apenas toque la superficie. Bloquear la cabeza del péndulo firmemente, levantar el brazo del péndulo, y remover el espaciador. Colocar el calibrador al lado y paralelo a la dirección del balanceo para verificar la longitud de la trayectoria de contacto. Elevar el brazo del péndulo, entonces suavemente bajar hasta la superficie de deslizamiento otra vez se apoye o descansa en la superficie. Si la longitud de la trayectoria de contacto no está entre 124 y 127 mm en superficies de prueba planas o entre 75 y 78 mm en superficies curvas del ensaye medidos con la zapata de goma, se puede corregir ajustando la elevación del péndulo o bajar el instrumento con los tornillos niveladores frontales.

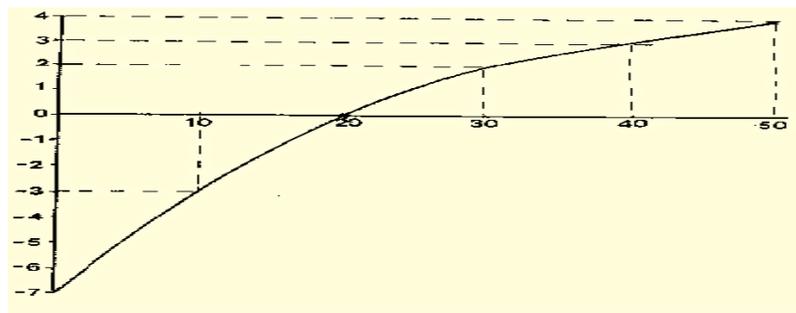
Cálculo del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento

El coeficiente de resistencia al deslizamiento es obtenido de la siguiente manera:

$$CRD = \frac{\textit{Lectura Efectiva}}{100}$$

Las medidas efectuadas sobre el pavimento están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada; es por esto, que al valor obtenido del péndulo se le adiciona un factor a la lectura efectiva. Por ejemplo, si obtenemos una lectura de promedio de 78 y tenemos una temperatura de 30°C, le adicionaremos a 78 el factor de 2 y tendremos 80.

Figura 39.Factor de corrección por temperatura.



Fuente: Secretaria de comunicaciones y transportes inst. Mexicano ISSN 0188-7297.

Los resultados de las medidas efectuadas en cada zona de ensayo de un tramo de calzada serán expresados por, al menos, tres valores, correspondientes cada uno, a roderas y centro de la calzada. Cada uno de los tres valores o más valores obtenidos será la media aritmética de todas las lecturas efectuadas sobre los puntos de ensayo situados en las superficies consideradas y en todas las secciones transversales de cada tramo.

En pavimentos distintos de calzadas, si no se hubiese hecho distribución de franjas, el resultado de las medidas efectuadas será el valor de la media aritmética de las lecturas efectuadas en cada zona.

Rangos del coeficiente de resistencia al deslizamiento

Después de diversas mediciones realizadas en distintos tipos de superficies, nace la siguiente sugerencia, la cual puede estar sujeta a cambios, según se incremente la experiencia. Para valores de fricción con péndulo británico en pavimento mojado (condición crítica) es propuesto lo siguiente:

Tabla 8.
Criterio para evaluar los valores de fricción en la superficie de pavimento

Fricción, valor de CRD adimensional	Clasificación
< 0.5	Malo (derrapamiento del vehículo)
0.51 - 0.6	De Regular a Bueno
0.61 - 0.8	Bueno
0.81 - 0.9	De Bueno a Regular
> 0.91	Malo (Desgaste de Neumáticos)

Fuente: Documentos de (PIARC).

CAPÍTULO III

**CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE EL IFI Y LA
DISTANCIA DE FRENADO DE VEHICULO LIVIANO
EN PAVIMENTO
RÍGIDO**

CAPÍTULO III

CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE EL IFI Y LA DISTANCIA DE FRENADO DE VEHÍCULO LIVIANO EN PAVIMENTO RÍGIDO

3.1.IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS EN INVESTIGACIÓN

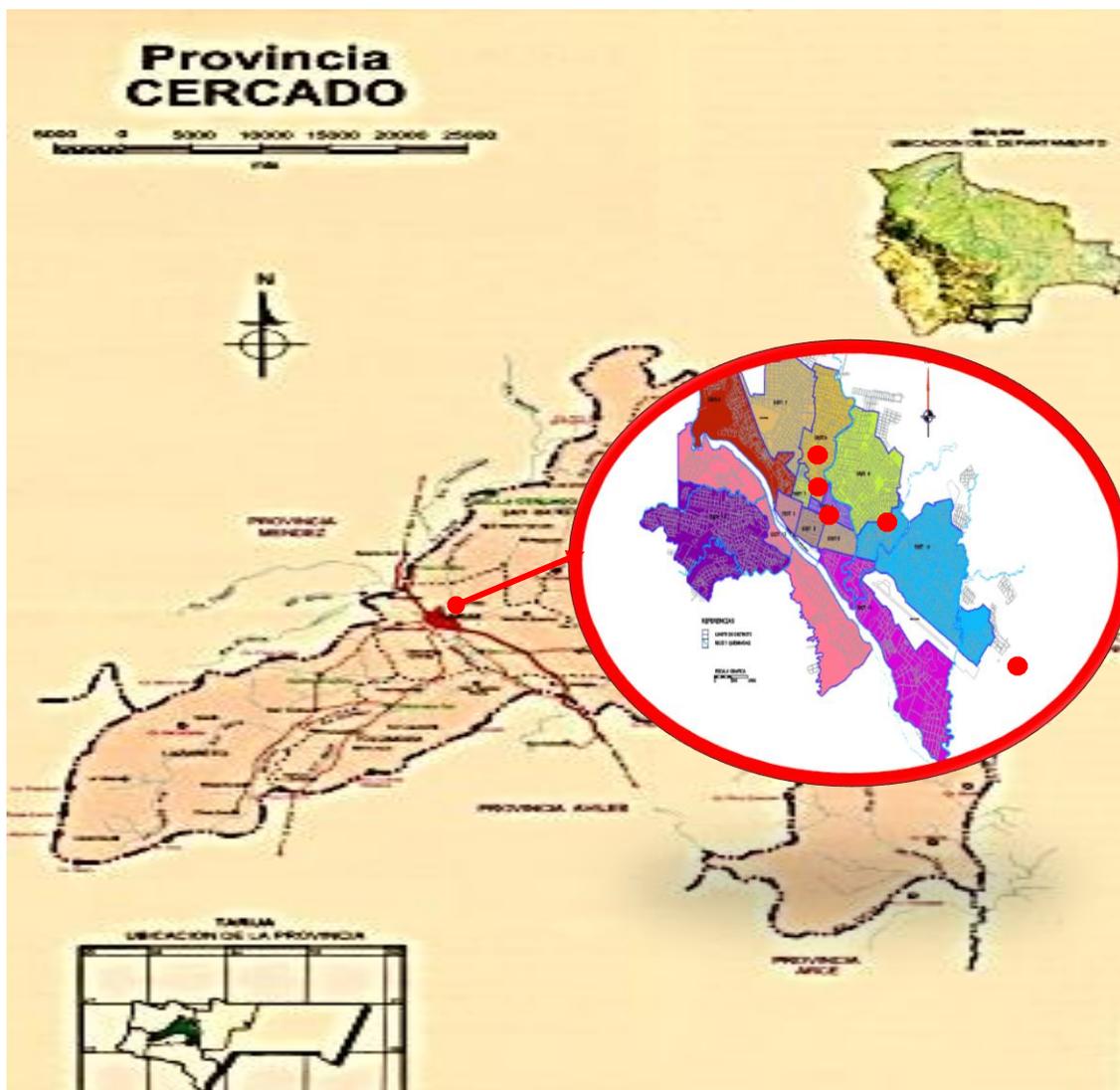
Para la aplicación de la práctica se seleccionó 5 tramos entre ellos tenemos calles y avenidas ubicadas dentro del radio urbano de la ciudad de Tarija, los mismo fueron seleccionadas por el alto tráfico y el desgaste que presentan estos pavimentos.

Para realizar las mediciones del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) y mancha de arena, se subdividió en partes iguales según la longitud del tramos separados por sus progresivas correspondientes, en el caso de las calles se prosiguió de la misma manera con la diferencia que las distancias entre intervalos será mucho menor que en el caso de las avenidas.

3.2.CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAMOS EN INVESTIGACIÓN

Para realizar el cálculo del IFI (macro textura y la micro textura), así también la Distancia de frenado y el levantamiento topográfico para obtener la pendiente, se consideró en condiciones de tramos rectos y pendientes y no así en curva, porque el objetivo es de tener una muestra variable de los pavimentos, para poder tener datos en las distintas condiciones de fricción longitudinal, para poder analizar los tramos en este estudio.

Figura 40. Plano de la ciudad de Tarija ubicación de las zonas de estudio.



Fuente: Educa.com.bo.

3.3.DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE INVESTIGACIÓN

Para la toma de muestra se consideró la longitud del tramo total y así poder determinar el número de mediciones que podríamos realizar en cada sub tramo, y en las avenidas del mismo modo realizó la medición en los respectivos carriles.

Para la ubicación de los puntos a medir se utilizó imágenes del Google Earth para ubicar el primer punto y luego con la ayuda de una cinta métrica se dividió el segmento sometidos a estudio.

Son 5 tramos en estudio de Pavimento Rígido los cuales son:

Tabla 9.
Longitud de tramos en estudio

Calles y Av. en estudio	Longitud del tramo en estudio (m)	Número de puntos de estudio
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	164	5 puntos a 41 m
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	547	6 puntos a 109 m
Av. Jaime Paz Zamora entre C/España y Av. La Paz	285	6 puntos a 57 m
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	162	5 puntos a 40 m
Calle Nueva Terminal de Buses	263	5 puntos a 66 m

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1. Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font

La Av. Circunvalación es bastante amplia es una vía que bordea la zona Nor-Este de la ciudad de Tarija esta Av. está construida para descongestionar el tráfico liviano y a su vez tráfico pesado contando en su vía vehículos de todo tipo de tonelaje lo cual la convierte en una avenida muy concurrida y esencial en la zona es por eso que en esta investigación se tomó este tramo en estudio por el desgaste visual demostrado y la peligrosidad de la vía.

Dicha avenida consta de cuatro carriles y una jardinera dos en dirección Sur-Oeste nos comunica hacia la Zona Sur del departamento de Tarija.

Y los dos carriles que son el tramo en estudio están ubicados en dirección Nor-Este estos carriles comunican hacia la Zona Norte del departamento de Tarija.

El tramo en estudio está ubicado entre los Barrios Juan XIII y Barrio San Pedro en dirección Nor-Este entre la Av. Romero y Av. Monseñor Font en el tramo se realizará el levantamiento topográfico así también las pruebas tanto de macro textura y micro textura y la pruebas de distancia de frenado en superficie (seca y húmeda) tiene una longitud de 164 metros, de los cuales se dividieron en 5 puntos para realizar las respectivas lecturas de macro textura y micro textura estos datos podemos obsérvalos con mayor detalle en la Tabla 9.

Figura 41. Av. Circunvalación dirección Nor-Este carril derecho.



Fuente: Elaboración Propia.

3.3.2. Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf

La Av. Circunvalación es bastante amplia es una vía que bordea la zona Nor-Este de la ciudad de Tarija esta Av. Está construida para descongestionar el tráfico liviano y a su vez tráfico pesado contando en su vía vehículos de todo tipo de tonelaje lo cual la convierte en una avenida muy concurrida y esencial en la zona es por eso que en esta investigación se tomó este tramo en estudio por el desgaste visual demostrado y la peligrosidad de la vía.

Dicha avenida consta de cuatro carriles y una jardinera dos en dirección Nor-Este nos comunica hacia la Zona Norte del departamento de Tarija.

Y los dos carriles que son el tramo en estudio están ubicados en dirección Sur-Oeste estos carriles comunican hacia la Zona Sur del departamento de Tarija.

El tramo en estudio está ubicado entre los Barrios Los Chapacos y Parque los Chiquis en dirección Sur-Oeste entre la Av. RN1 y Av. Jorge Majluf en el tramo se realizara el levantamiento Topográfico así también las pruebas tanto de macro textura y micro textura y la pruebas de Distancia de Frenado en superficie (seca y húmeda) tiene una longitud de 547 metros, de los cuales se dividieron en 6 puntos para realizar las respectivas lecturas de macro textura y micro textura estos datos podemos obsérvalos con mayor detalle en la Tabla 9.

Figura 42. Av. Circunvalación dirección Sur-Oeste carril izquierdo.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Av. Jaime Paz Zamora entre c/ España y Av. La Paz

La Av. Jaime Paz Zamora es una vía que atraviesa por el centro de la ciudad dividiendo a la ciudad en dos partes Este y Oeste consta de tres vías y dos jardineras esta Av. Está construida para descongestionar el tráfico liviano y semipesado contando en su vía vehículos lo cual la convierte en una avenida muy concurrida y esencial en la zona es por

eso que en esta investigación se tomó este tramo en estudio por el desgaste visual demostrado y la peligrosidad de la vía.

El tramo en estudio está ubicado entre los barrios La Terminal y barrio Virgen de Fátima en dirección Nor-Este entre la calle España y Av. La Paz en el tramo se realizara el Levantamiento Topográfico así también las pruebas tanto de macro textura y micro textura y la pruebas de Distancia de Frenado en superficie (seca y húmeda) tiene una longitud de 285 metros, de los cuales se dividieron en 6 puntos para realizar las respectivas lecturas de macro textura y micro textura estos datos podemos obsérvalos con mayor detalle en la Tabla 9.

Figura 43. Av. Jaime Paz Zamora dirección Sur-Oeste carril derecho.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Calle Padilla entre C/ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro

La calle Padilla es una doble vía conectando a la ciudad de Norte a Sur y a la misma vez de Sur a Norte de la ciudad de Tarija esta calle está construida para descongestionar el tráfico liviano y pero con el paso de los años y el aumento del parque automotor transitan por esta vía tráfico pesado contando en su vía vehículos de todo tipo de tonelaje lo cual la

Calle muy concurrida y esencial en la zona es por eso que en esta investigación se tomó este tramo en estudio por la peligrosidad de la vía.

El tramo en estudio está ubicado bordeando el lado derecho de la Nueva Terminal de la ciudad en el tramo se realizará el levantamiento topográfico así también las pruebas tanto de macro textura y micro textura y la pruebas de distancia de frenado en superficie (seca y húmeda) tiene una longitud de 263 metros, de los cuales se dividieron en 5 puntos para realizar las respectivas lecturas de macro textura y micro textura estos datos podemos observarlos con mayor detalle en la Tabla 9.

Figura 45. Calle nueva terminal de buses entre Av. RN1 dirección Nor-Oeste.



Fuente: Elaboración propia.

3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Selección de elementos

- Lugar.

La experimentación exploratoria se realizó en las calles y avenidas de pavimento rígido de la ciudad de Tarija los cuales son:

Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font

Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf

Av. Jaime Paz Zamora entre c/ España y Av. La Paz
C/ Padilla entre C/ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz
C/ Nueva Terminal de Buses

Estos tramos fueron elegidos por la gran demanda y tráfico que circulan por estas vías ya que la misma reunía los requisitos necesarios por estar constituida por una carpeta asfáltica rígida.

- Condiciones ambientales

Se seleccionó una temperatura promedio de 17° C, por lo que las pruebas se realizaron en los meses de Octubre, entre las 5:00 y las 7:00 am.

- Vehículo

Se utilizó un vehículo Toyota sedan serie 110 octava generación 1998. El mismo pesa 1002.43Kg, está dotado con un sistema de frenos delanteros a disco y posteriores a tambor.

- Neumáticos

Se utilizaron cuatro neumáticos nuevos y cuatro neumáticos lisos por el uso, marca Triangle, 195/55 R15.

- Velocidad

Las pruebas se realizaron a una velocidad de (50- 60-70) km/h por razones de seguridad.

- Elemento de medición

Cinta métrica de tela marca Freemans, de 30 metros.

- Dispositivo

Se implementó en el vehículo un dispositivo que despida un reguero líquido sobre la calzada al momento de presionar el pedal de freno y finalice en el sitio de detención del vehículo. La longitud de dicho reguero se consideró como distancia de frenado.

Para ello se conectó el extremo de un cable al bulbo de la luz de stop y el extremo restante a una bomba eléctrica ubicada en el recipiente que almacena y envía agua al parabrisas. Luego se colocó el extremo de una manguera en el interior del recipiente y el extremo restante se sujetó al sector interno del guardabarros delantero derecho, en su sector inferior para evitar errores debidos a la altura.

3.4.2. Muestra

La muestra de esta investigación está constituida por 45 experiencias de frenado con rueda bloqueada (panic stop) utilizando los neumáticos nuevos y otras 45 experiencias del mismo tipo utilizando los neumáticos lisos.

3.4.3. Explicación de la metodología

3.4.3.1. Procedimiento de la distancia de frenado real

1.- En primer lugar se realizaron 45 ensayos de frenado con neumáticos nuevos 3 ensayos por cada tramo elegido tanto en superficie (seca y húmeda).

2.- Finalizadas las 45 experiencias, se realizó el cambio de neumáticos nuevos por los cuatro neumáticos lisos con los cuales se efectuaron las siguientes 45 experiencias de frenado en superficie (seca y húmeda). Cada una de las experiencias se realizó con un intervalo de 10 minutos para cada tramo de vía elegida en esta investigación.

3.- Se procede a medir la distancia de frenado utilizando la cinta métrica, luego de cada frenado, se procedió a medir los regueros líquidos observados sobre la calzada seca obteniendo de esta manera lo que en adelante llamaremos “distancias de frenado real” estas distancias tienen un rango menor de error debido al dispositivo instalado.

4.- Para obtener el efecto de superficie húmeda procedimos a humedecer la superficie con agua la cual fue arrojada desde una camioneta la cual en su carrocería porta tanques de agua la cual fue arrojada manualmente con baldes de agua y así lograr el efecto deseado.

5.- Con los datos obtenidos en campo se procedió efectuar el cálculo promedio de cada una de las distancias de frenado a diferentes velocidades y con diferentes superficies húmeda y seca así también con neumáticos nuevos y lisos.

3.4.3.2.Procedimiento de la distancia de frenado teórica

1.- Se procede a realizar el ensayo del péndulo británico en los tramos en estudio y así también el ensayo del círculo de arena para de esta manera poder obtener la micro y macro textura y a su vez realizar el cálculo del IFI índice de fricción internacional.

2.-Se determina las velocidades de circulación en cada tramo por el método de las patentes conociendo la distancia de recorrido medida con una cinta métrica y los tiempos de recorridos obtenidos con un cronometro con estos datos y utilizando la ecuación $V=d/t$ podemos obtener la velocidades de circulación.

3.- Se realiza un levantamiento topográfico para conocer las pendientes longitudinales de las zonas en estudio con la estación total SOKKIA.

4.-Con todos los datos obtenidos procedemos a reemplazarlos en la fórmula de la A.B.C. Para determinar “la distancia de frenado teórica” Cabe destacar que los IFI obtenidos. Y las pendientes de los tramos obtenidas son de utilidad a los fines prácticos de ingresarlos en la ecuación y de esta manera determinar la distancia de frenado teórica. Finalmente se realizó la comparación y análisis de datos producida entre la distancia teórica y la distancia real.

3.5.(IFI) ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL

Ya antes mencionado se procedió de la toma de datos para el cálculo del (IFI) de los tramos en Estudio estos serán representados en la tabla 10 a mayor detalle se encuentran los datos de campo y la metodología de cálculo en las planillas que las encontramos en la parte de Anexos.

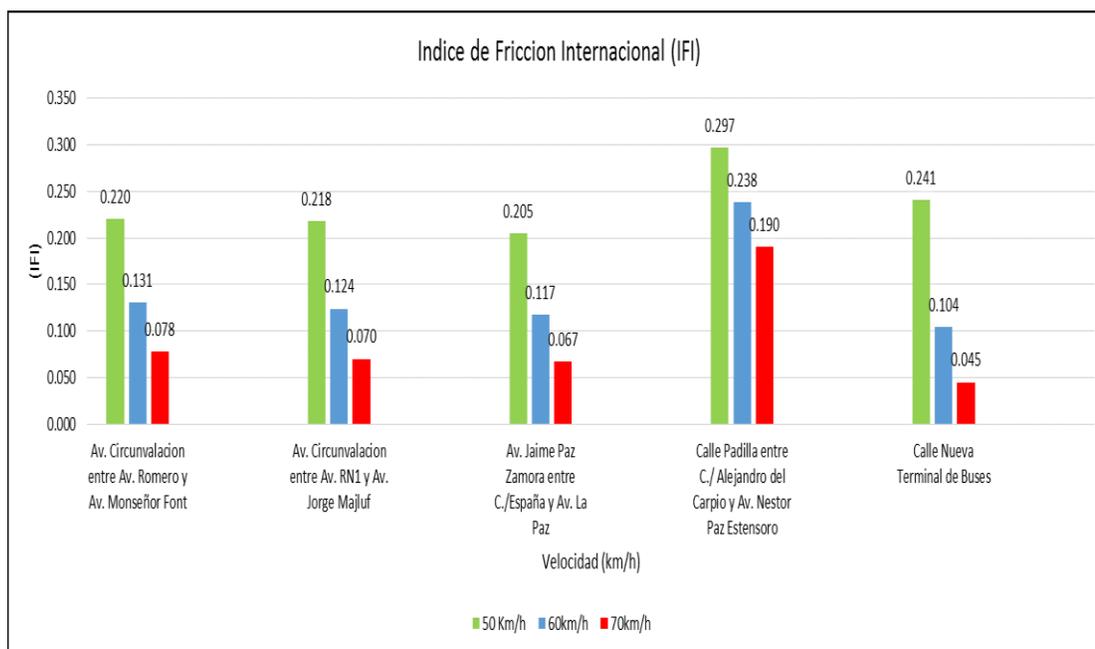
A continuación mostraremos el IFI para cada tramo en Estudio.

Tabla 10.
Índice de Fricción Internacional (IFI) a diferentes velocidades.

Calles y Av. en estudio	(IFI)		
	50 Km/h	60km/h	70km/h
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	0.220	0.131	0.078
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	0.218	0.124	0.070
Av. Jaime Paz Zamora entre C/España y Av. La Paz	0.205	0.117	0.067
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	0.297	0.238	0.190
Calle Nueva Terminal de Buses	0.241	0.104	0.045

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica 1. Índice de Fricción Internacional (IFI).



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla y el gráfico se puede observar que:

- El (IFI) para los tramos en estudio decrece según la velocidad con la cual es calculada aumenta este efecto se debe a que a mayor velocidad existe menor contacto y menor fricción.

Tabla 11.
Clasificación de la textura de los tramos macro textura y micro textura.

Calles y av. En estudio	Clasificación de los tramos en estudio					
	PT	Clasificación	CRD	Evaluación según tabla de PIARC	SP	Clasificación de textura
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	0.27	Fina	0.63	Bueno	19.17	Textura Cerrada
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	0.26	Fina	0.6	De Regular a Bueno	17.34	Textura Cerrada
Av. Jaime Paz Zamora entre C /España y Av. La Paz	0.26	Fina	0.59	De Regular a Bueno	17.92	Textura Cerrada
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	0.5	Media	0.46	Malo(derrapamiento del vehículo)	44.923	Textura Cerrada
Calle Nueva Terminal de Buses	0.21	Fina	0.71	Bueno	11.878	Textura Cerrada

Fuente: Elaboracion propia.

Según cálculos Anexados todos basados en el modelo del experimento realizado por PIARC se presenta los resultados para cada tramo, como así también su respectiva clasificación del estado actual de cada superficie de rodado para cada tramo en estudio como podemos observar presentado en la tabla 11.

3.6.LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Las pendientes de los tramos en estudio son necesarias para el cálculo de la distancia de frenado teórica la cual obtendremos por fórmula.

El procesamiento para obtener las pendientes de los 5 tramos se encuentran en Anexos como así también los planos.

La tabla 12 muestra a detalle las pendientes de las los tramos en estudio.

Tabla 12.
Pendiente longitudinal.

Calles y Av. en estudio	Pendiente longitudinal (m/m)
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	-0.99
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	-3.52
Av. Jaime Paz Zamora entre C/España y Av. La Paz	0.38
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	1.07
Calle Nueva Terminal de Buses	-3.45

Fuente: Elaboración propia.

3.7.CONDICIONES AMBIENTALES

Se trabajó con una temperatura promedio entre 10 y 18°C, las pruebas se realizaron en el mes de Octubre, la investigación se lo realizo en horas dela madrugada todos estos Datos y el Permiso que nos otorgó el Gobierno Autónomo Municipal de Tarija de la Provincia Cercado y la Policía Boliviana están adjuntados en Anexos.

3.8.VELOCIDAD DE RECORRIDO

Se determinó la velocidad de circulación con el método de las patentes.

Tabla 13.
Velocidades de recorrido calculado por método de patentes.

Calles Y Av. En Estudio	Velocidad (km/hr)
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	54.54
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	69.55
Av. Jaime Paz Zamora entre C. /España y Av. La Paz	53.35
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	53.20
Calle Nueva Terminal de Buses	69.48

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 13 podemos observar las velocidades con las que transitan los vehículos por las vías en estudio pudiendo justificar las velocidades asumidas para la obtención de la velocidad teórica por la fórmula de la ABC el procedimiento de cálculo se encuentran adjunto en Anexos.

3.9.DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA DE FRENADO TEÓRICA

Para el cálculo de la distancia de frenado se la realizo con la ecuación de distancia de frenado está ubicada en el Capítulo II con todos sus parámetros y rangos a asumir.

El procedimiento de cálculo se encuentra en la parte de Anexos detallado de cada tramo con todos los parámetros y coeficientes a tomar en cuenta como la pendiente, fricción y velocidad.

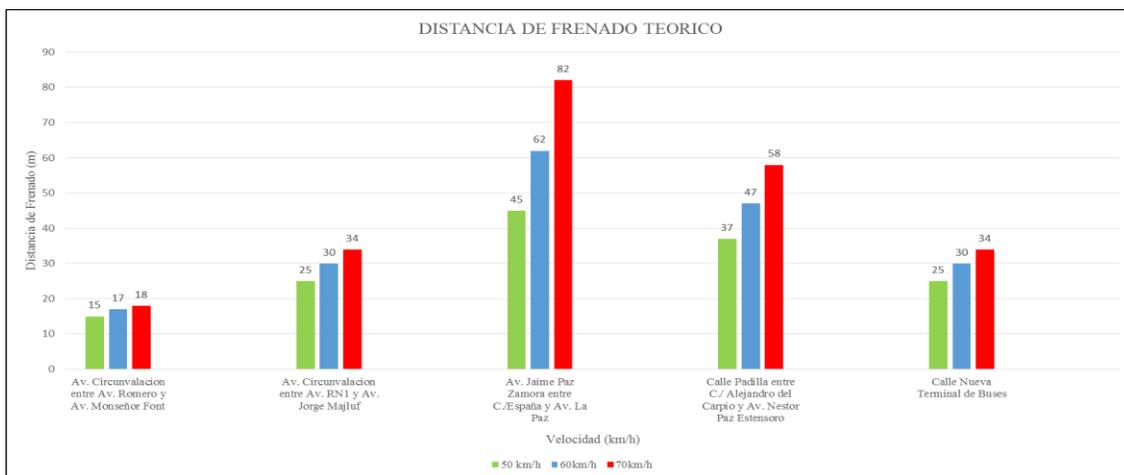
En la tabla 14 presentaremos las distancias de frenado real para luego Analizar con la distancia de frenado (real o experimental).

Tabla 14.
Distancia de frenado teórico con Ec. del manual de diseño geométrico (ABC).

Distancia de frenado teórico (m)			
	50 km/h	60km/h	70km/h
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Font	15	17	18
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	25	30	34
Av. Jaime Paz Zamora entre c/ España y Av. La Paz	45	62	82
C/ Padilla entre C/ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz	37	47	58
C/ Nueva Terminal de Buses	25	30	34

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. *Distancia de frenado teórico.*



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla y el gráfico se puede observar que:

- Las distancias de frenado efectuadas con la fórmula de distancia de frenado del manual de diseño geométrico de la ABC aumentan con la velocidad con la cual se calcula.
- La distancia máxima alcanzada en cada tramo y mínima se pueden observar claramente en la gráfica.

3.10. DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA DE FRENADO REAL

Se efectúa la obtención de datos que obtuvo realizando en tres fases a diferentes velocidades y una superficie (seca y húmeda) así también con neumáticos nuevos y lisos se realiza el promedio de estos datos los cuales están representados en las siguientes tablas. Con el propósito de alcanzar el objetivo de esta investigación, fue necesario implementar, en el vehículo, un dispositivo que derramara líquido al suelo al momento de accionar el pedal de freno. De esta manera se conocería la distancia de frenado, descartando así cualquier error en la medición de la longitud de la huella de frenado.

Pero este sistema solo funciona para la superficie de pavimento seco.

Cabe mencionar que nos fue de gran ayuda puesto que al tener marcado la zona donde la velocidad alcanzaba lo requerido eso nos sirvió para ubicar y posteriormente humedecer la zona por donde practicaríamos la distancia de frenado con una superficie húmeda.

Los datos de campo se encuentran adjuntados en Anexos.

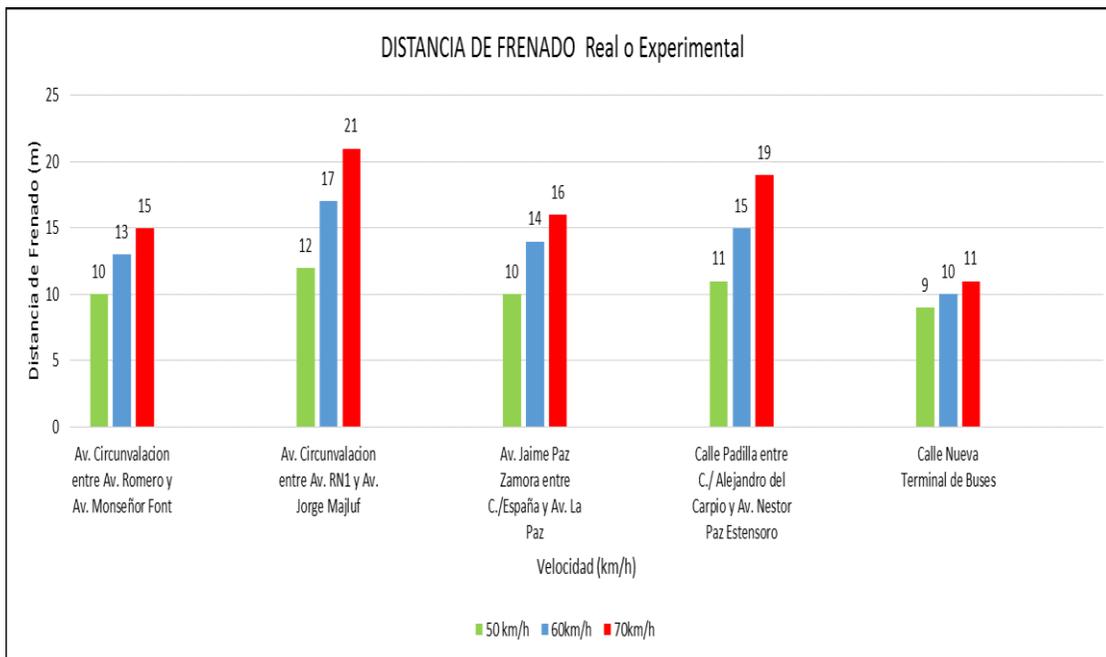
3.10.1. Distancia de frenado en pavimento rígido seco con neumáticos nuevos.

Tabla 15.
Distancia de frenado real sobre una superficie seca, neumáticos nuevos.

Distancia de frenado real o experimental (m)			
	50 km/h	60km/h	70km/h
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Font	10	13	15
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	12	17	21
Av. Jaime Paz Zamora entre c/ España y Av. La Paz	10	14	16
C/ Padilla entre C/ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz	11	15	19
C/ Nueva Terminal de Buses	9	10	11

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3. Distancia de frenado real en superficie seca, neumáticos nuevos



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla y el gráfico se puede observar que:

- Las distancias de frenado efectuadas con neumáticos nuevos sobre superficie seca aumentan según la velocidad con la cual realizamos la investigación.
- Así también podemos observar que con la misma velocidad pero en superficies diferentes estas varían ya sea por su pendiente o por su capa de rodadura la cual presentaría menor fricción.

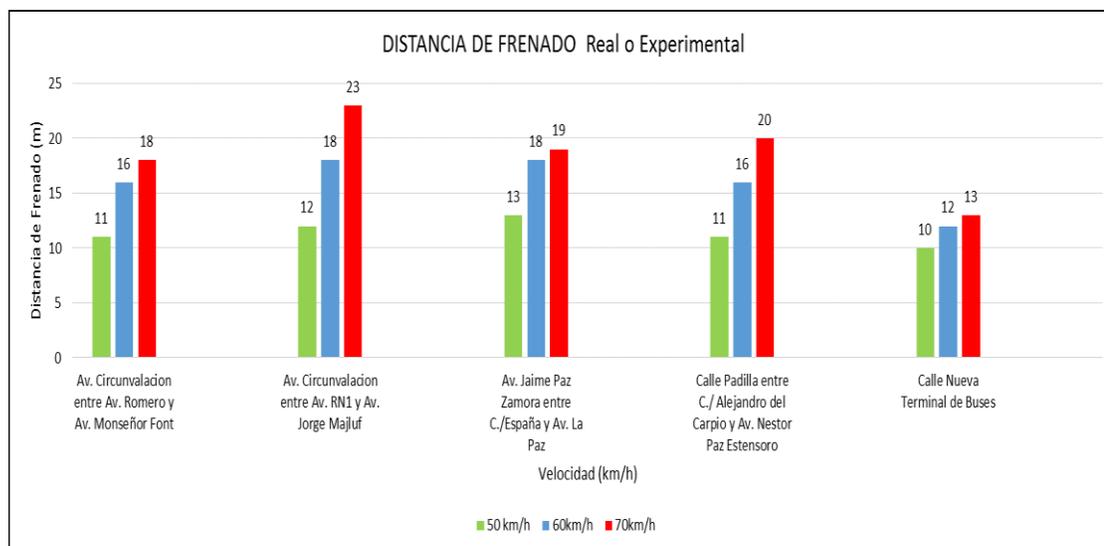
3.10.2. Distancia de frenado en pavimento rígido húmedo con neumáticos nuevos

Tabla 16.
Distancia de frenado real sobre una superficie húmeda, neumáticos nuevos

Distancia de frenado real o experimental (m)			
	50 km/h	60km/h	70km/h
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Font	11	16	18
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	12	18	23
Av. Jaime Paz Zamora entre c/ España y Av. La Paz	13	18	19
C/ Padilla entre C/ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz	11	16	20
C/ Nueva Terminal de Buses	10	12	13

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. *Distancia de frenado real sobre una superficie húmeda, neumáticos nuevos*



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla y el gráfico se puede observar que:

- Las distancias de frenado efectuadas con neumáticos nuevos sobre superficie húmeda aumenta según la velocidad con la cual realizamos la investigación.
- La observación es que la distancia de frenado con neumáticos nuevos sobre superficie húmeda es mayor que la distancia de frenado con neumáticos nuevos en superficie seca esto se debe al efecto de hidropneumático, espesor de la película de agua que se encuentra sobre la calzada.

3.10.3. Distancia de frenado en pavimento rígido P.H. con neumáticos nuevos

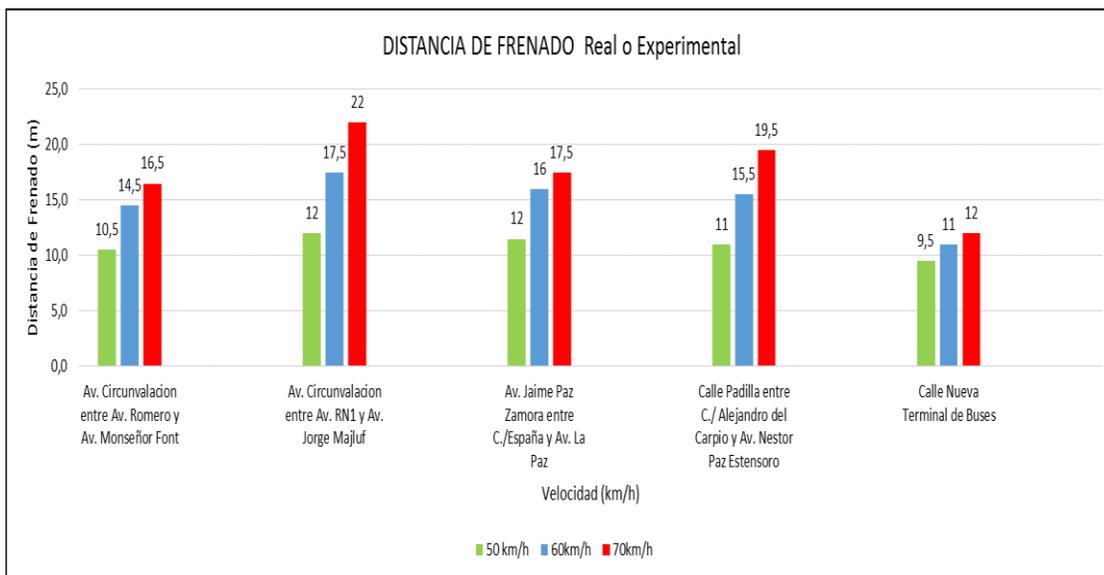
Tabla 17.

Distancia de frenado real sobre una superficie parcialmente húmeda, neumáticos nuevos

Distancia de Frenado Real o Experimental (m)			
	50 km/h	60km/h	70km/h
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Font	10.5	14.5	16.5
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	12	17.5	22
Av. Jaime Paz Zamora entre c/ España y Av. La Paz	12	16	17.5
C/ Padilla entre C/ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz	11	15.5	19.5
C/ Nueva Terminal de Buses	9.5	11	12

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5. Distancia de frenado real sobre una superficie parcialmente húmeda, neumáticos nuevos



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla y el gráfico se puede observar que:

- Las distancias de frenado efectuadas con neumáticos nuevos sobre superficie Parcialmente húmeda aumenta según la velocidad con la cual realizamos la investigación.
- La observación es que la distancia de frenado con neumáticos nuevos sobre superficie parcialmente húmeda es mayor que la distancia de frenado con neumáticos nuevos en superficie seca esto se debe al efecto de hidropneumático, espesor de la película de agua que se encuentra sobre la calzada.

3.10.4. Distancia de frenado en pavimento rígido seco con neumáticos lisos

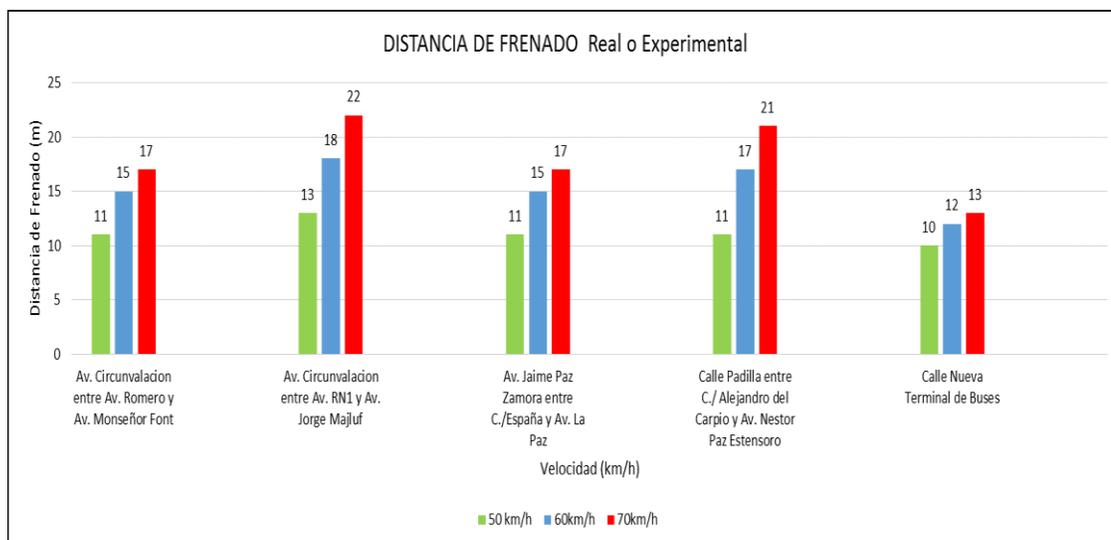
Tabla 18.

Distancia de frenado real sobre una superficie seca, neumáticos lisos

Distancia de frenado real o experimental (m)			
	50 km/h	60km/h	70km/h
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Font	11	15	17
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	13	18	22
Av. Jaime Paz Zamora entre c/ España y Av. La Paz	11	15	17
C/ Padilla entre C/ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz	11	17	21
C/ Nueva Terminal de Buses	10	12	13

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6. *Distancia de frenado real sobre una superficie seca, neumáticos lisos*



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla y el gráfico se puede observar que:

- Las distancias de frenado efectuadas con neumáticos lisos sobre superficie seca aumentan según la velocidad con la cual realizamos la investigación.
- Así también podemos observar que con la misma velocidad pero en superficies diferentes estas varían ya sea por su pendiente o por su capa de rodadura la cual presentaría menor fricción.

3.10.5. Distancia de frenado en pavimento rígido húmedo con neumáticos lisos

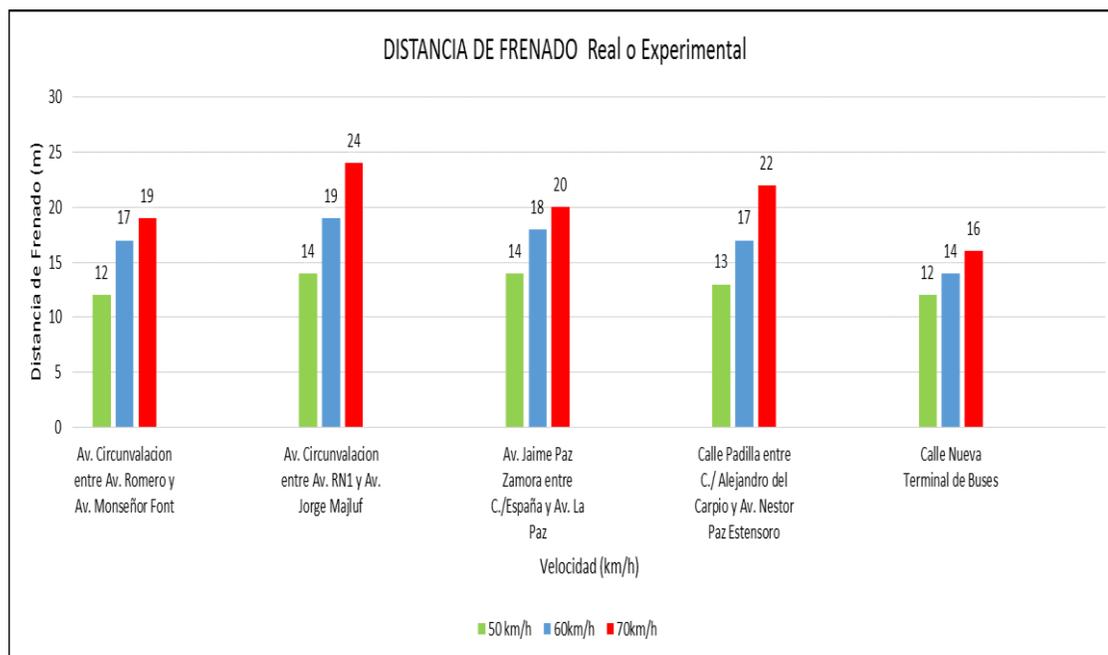
Tabla 19.

Distancia de frenado real sobre una superficie húmeda con neumáticos lisos

Distancia de Frenado Real o Experimental (m)			
	50 km/h	60km/h	70km/h
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Font	12	17	19
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	14	19	24
Av. Jaime Paz Zamora entre c/ España y Av. La Paz	14	18	20
C/ Padilla entre C/ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz	13	17	22
C/ Nueva Terminal de Buses	12	14	16

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 7. Distancia de frenado real sobre una superficie húmeda, neumáticos lisos



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla y el gráfico se puede observar que:

- Las distancias de frenado efectuadas con neumáticos lisos sobre superficie húmeda aumenta según la velocidad con la cual realizamos la investigación es mayor.
- Logramos apreciar que la distancia de frenado con neumáticos lisos sobre superficie húmeda es mayor que la distancia de frenado con neumáticos nuevos en superficie seca esto se debe al efecto de hidropneumático, espesor de la película de agua que se encuentra sobre la calzada.

3.10.6. Distancia de frenado en pavimento rígido P.H. con neumáticos lisos

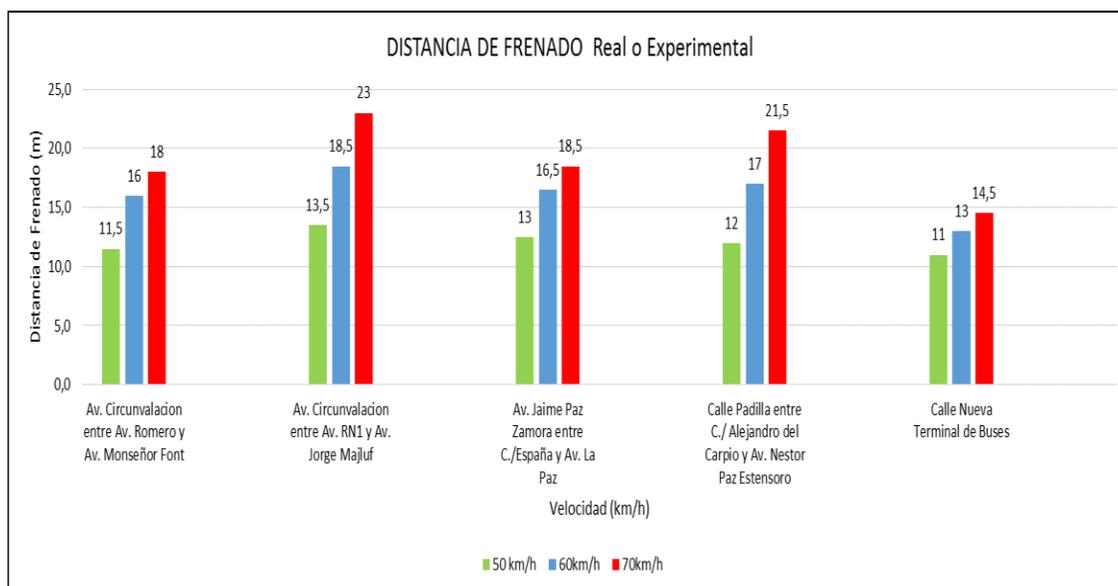
Tabla 20.

Distancia de frenado real sobre una superficie parcialmente húmeda con neumáticos lisos

Distancia de Frenado Real o Experimental (m)			
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Font	50 km/h	60km/h	70km/h
		11.5	16
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	50 km/h	60km/h	70km/h
		13.5	18.5
Av. Jaime Paz Zamora entre c/ España y Av. La Paz	50 km/h	60km/h	70km/h
		13	16.5
C/ Padilla entre C/ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz	50 km/h	60km/h	70km/h
		12	17
C/ Nueva Terminal de Buses	50 km/h	60km/h	70km/h
		11	13

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 8. *Distancia de frenado real sobre una superficie parcialmente húmeda, neumáticos lisos*



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla y el gráfico se puede observar que:

- Las distancias de frenado efectuadas con neumáticos lisos sobre superficie parcialmente húmeda aumenta según la velocidad con la cual realizamos la investigación es mayor.
- Logramos apreciar que la distancia de frenado con neumáticos lisos sobre superficie parcialmente húmeda es mayor que la distancia de frenado con neumáticos nuevos en superficie seca esto se debe al efecto de hidropneumático, espesor de la película de agua que se encuentra sobre la calzada.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LOS DATOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de realizar las experiencias de frenado utilizando 2 tipos de neumáticos (con banda de rodamiento en excelente estado y con banda de rodamiento lisa por el desgaste), y la determinación de la distancia de frenado teórica se procederá a realizar el análisis de los datos, con el fin de obtener información concluyente.

4.1.1. Análisis de las distancias de frenado teórica y real

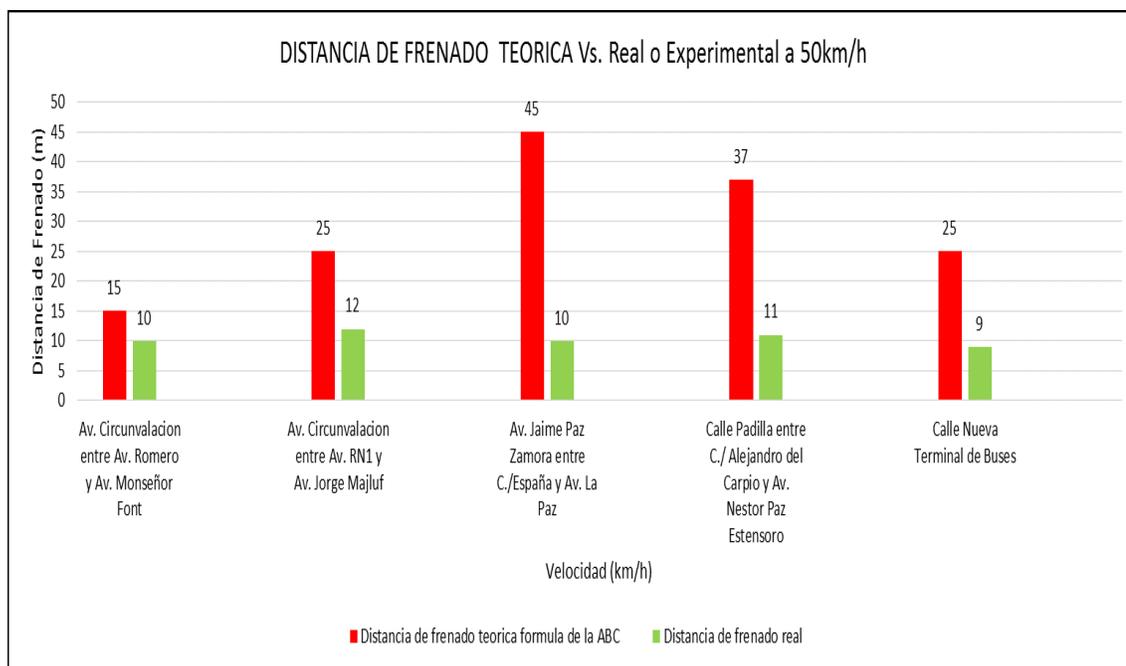
En este segmento se realizó un análisis comparativo entre las distancias de frenado obtenidas con la fórmula de distancia de frenado del manual de diseño geométrico de la (ABC) y las obtenidas con los neumáticos nuevos y lisos sobre una superficie (seca y húmeda) y se determinaron las diferencias producidas entre unas y otras.

Tabla 21.
Distancia de frenado teórica-real neumáticos nuevos, superficie seca

Distancia de frenado teórica - real con neumáticos nuevos sobre superficie seca a 50km/h			
CALLES Y AV.	Distancia de frenado teórica fórmula de la ABC	Distancia de frenado real	Diferencia
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	15	10	5
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	25	12	13
Av. Jaime Paz Zamora entre C. /España y Av. La Paz	45	10	35
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	37	11	26
Calle Nueva Terminal de Buses	25	9	16

Fuente: Elaboración propia.

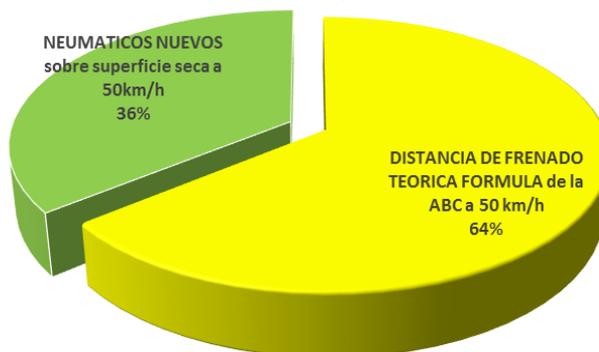
Gráfica 9. Distancias de frenado teórica - real neumáticos nuevos, superficie seca.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 10. Porcentajes de las distancias de frenado teórico y real a 50 km/h

Porcentaje de Distancia de Frenado Teorico v.s. distancia de frenado real a 50 km/h



Fuente; Elaboración propia.

Con estos gráficos se puede observar que, las distancias de frenado calculadas por fórmula con datos reales como el IFI y la pendiente de los tramos superan a las efectuadas con neumáticos nuevos sobre superficie seca para una velocidad de 50km/h, los neumáticos nuevos emplearon menor distancia que los calculados por fórmula.

- Con un porcentaje 64% obtenido de forma teórica supera a un 36% obtenido de forma experimental a 50 km/h.

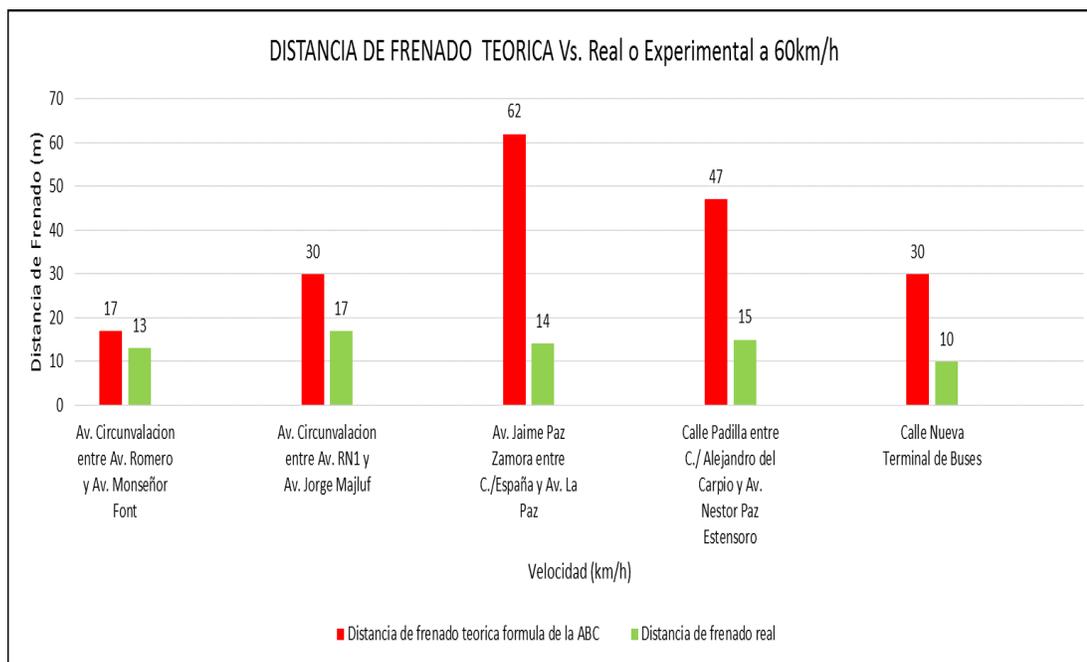
Tabla 22.

Distancia de frenado teórica-real neumáticos nuevos, superficie seca.

Distancia de frenado teórica - real con neumáticos nuevos sobre superficie seca a 60km/h			
CALLES Y AV.	Distancia de frenado teórica formula de la ABC	Distancia de frenado real	Diferencia
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	17	13	4
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	30	17	13
Av. Jaime Paz Zamora entre C. /España y Av. La Paz	62	14	48
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	47	15	32
Calle Nueva Terminal de Buses	30	10	20

Fuente: Elaboración Propia.

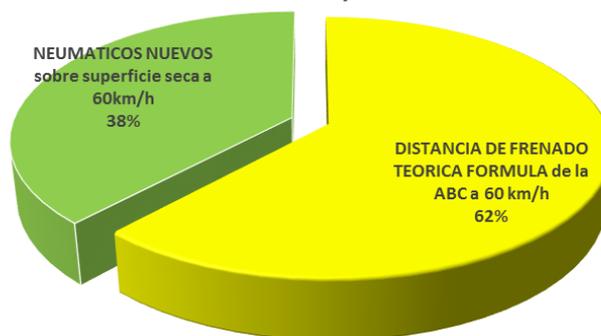
Gráfica 11. Distancias de frenado teórica - real neumáticos nuevos, superficie seca.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 12. Porcentajes de las distancias de frenado teórico y real a 60 km/h

Porcentaje de Distancia de Frenado Teorico v.s. distancia de frenado real a 60 km/h



Fuente: Elaboración propia.

Con estos gráficos se puede observar que, las distancias de frenado calculadas por fórmula con datos reales como el IFI y la pendiente de los tramos superan a las efectuadas con neumáticos nuevos sobre superficie seca para una velocidad de 60km/h, los neumáticos nuevos emplearon menor distancia que los calculados por fórmula.

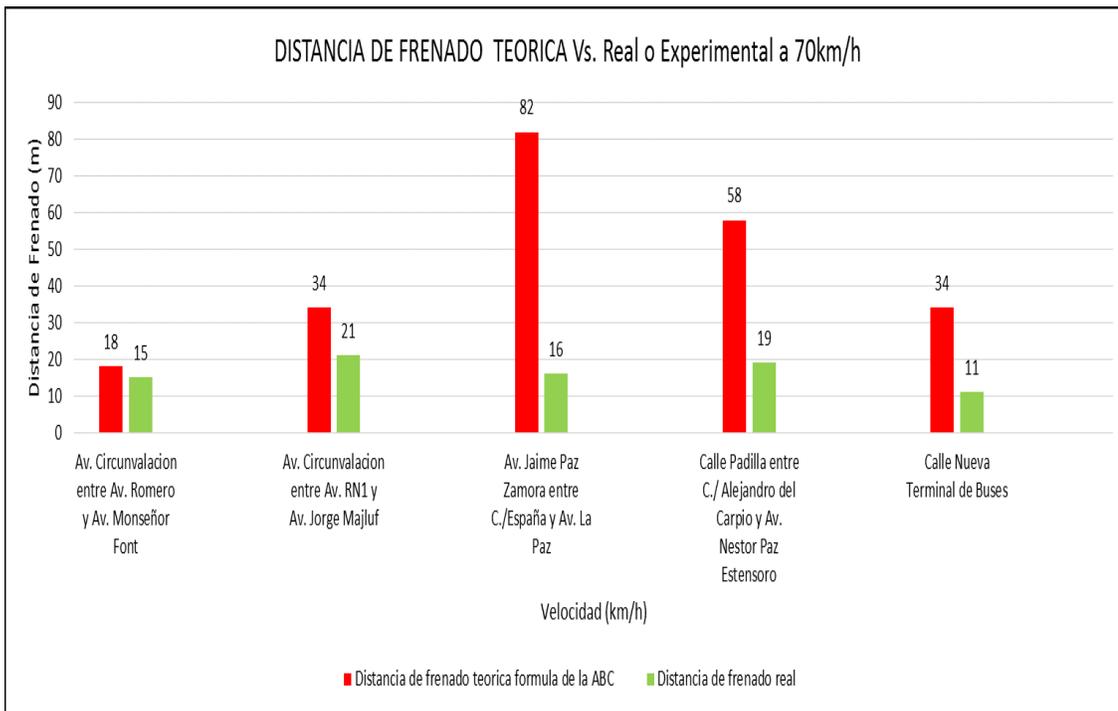
- Con un porcentaje 62% obtenido de forma teórica supera a un 38% obtenido de forma experimental a 60 km/h.

Tabla 23.
Distancia de frenado teórica- real neumáticos nuevos, superficie seca.

Distancia de frenado teórica - real con neumáticos nuevos sobre superficie seca a 70km/h			
CALLES Y AV.	Distancia de frenado teórica fórmula de la ABC	Distancia de frenado real	Diferencia
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	18	15	3
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	34	21	13
Av. Jaime Paz Zamora entre C. /España y Av. La Paz	82	16	66
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	58	19	39
Calle Nueva Terminal de Buses	34	11	23

Fuente: Elaboración propia.

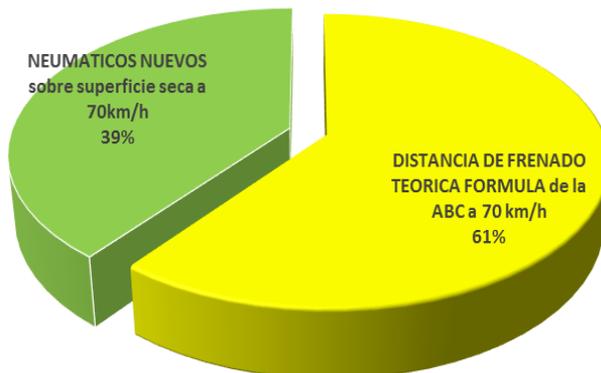
Gráfica 13. Distancia de frenado teórica- real neumáticos nuevos, superficie seca.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica 14. Porcentajes de las distancias de frenado teórico y real a 60 km/h

Porcentaje de Distancia de Frenado Teorico v.s. distancia de frenado real a 70 km/h



Fuente: Elaboración propia.

Con estos gráficos se puede observar que, las distancias de frenado calculadas por fórmula con datos reales como el IFI y la pendiente de los tramos superan a las efectuadas con neumáticos nuevos sobre superficie seca para una velocidad de 70km/h, los neumáticos nuevos emplearon menor distancia que los calculados por fórmula.

- Con un porcentaje 61% obtenido de forma teórica y un 39% obtenido de forma experimental a 70 km/h.

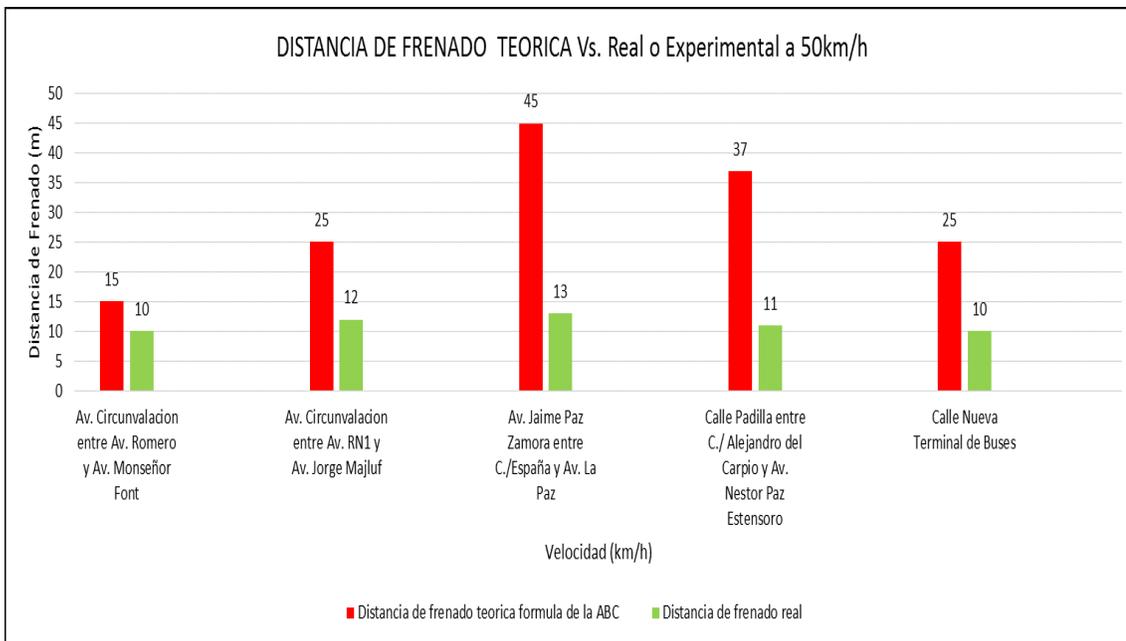
Tabla 24.

Distancia de frenado teórica -real neumáticos nuevos, superficie húmeda.

Distancia de frenado teórica - real con neumáticos nuevos sobre superficie húmeda a 50km/h			
CALLES Y AV.	Distancia de frenado teórica formula de la ABC	Distancia de frenado real	Diferencia
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	15	10	5
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	25	12	13
Av. Jaime Paz Zamora entre C. /España y Av. La Paz	45	13	32
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	37	11	26
Calle Nueva Terminal de Buses	25	10	15

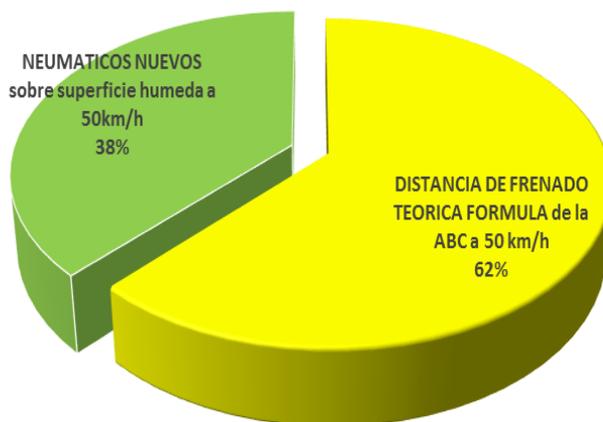
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica 15. Distancia de frenado teórica-real neumáticos nuevos, superficie húmeda.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 16. Porcentajes de las distancias de frenado teórico y real a 50 km/h
Porcentaje de Distancia de Frenado Teorico v.s. distancia de frenado real a 50 km/h



Fuente: Elaboración Propia.

Con estos gráficos se puede observar que, las distancias de frenado calculadas por fórmula con datos reales como el IFI y la pendiente de los tramos superan a las efectuadas con neumáticos nuevos sobre superficie húmeda para una velocidad de 50km/h, los neumáticos nuevos emplearon menor distancia que los calculados por fórmula.

- Con un porcentaje 62% obtenido de forma teórica y un 38% obtenido de forma experimental a 50 km/h.

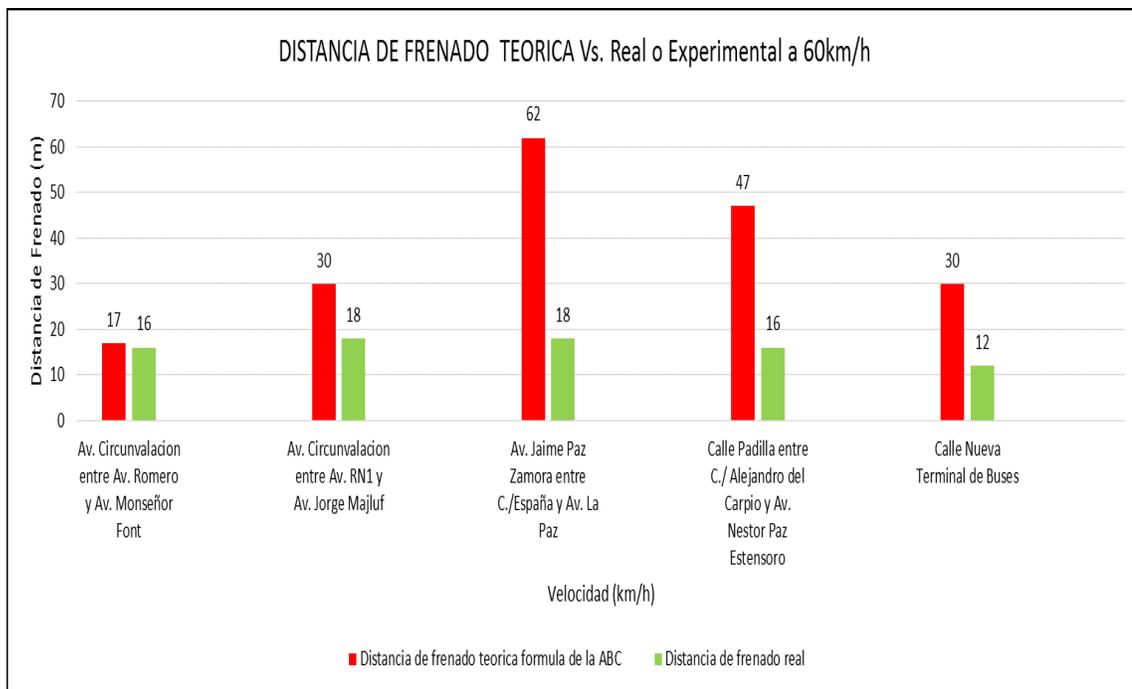
Tabla 25.

Distancia de frenado teórica-real neumáticos nuevos, superficie húmeda.

Distancia de frenado teórica - real con neumáticos nuevos sobre superficie húmeda a 60km/h			
CALLES Y AV.	Distancia de frenado teórica fórmula de la ABC	Distancia de frenado real	Diferencia
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	17	16	1
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	30	18	12
Av. Jaime Paz Zamora entre C. /España y Av. La Paz	62	18	44
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	47	16	31
Calle Nueva Terminal de Buses	30	12	18

Fuente: Elaboración Propia.

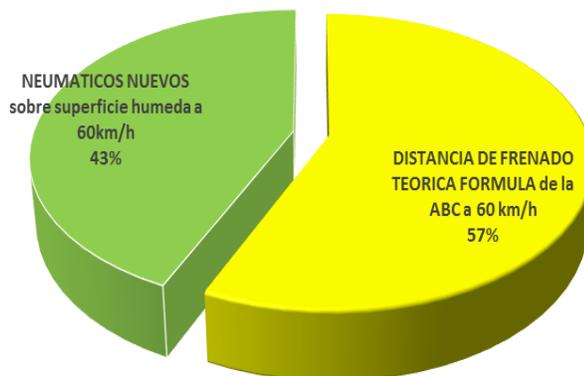
Gráfica 17. Distancias de teórica-real neumáticos nuevos, superficie húmeda.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica 18. Porcentajes de las distancias de frenado teórico y real a 60 km/h

Porcentaje de Distancia de Frenado Teorico v.s. distancia de frenado real a 60 km/h



Fuente: Elaboración propia.

Con estos gráficos se puede observar que, las distancias de frenado calculadas por fórmula con datos reales como el IFI y la pendiente de los tramos superan a las efectuadas con neumáticos nuevos sobre superficie húmeda para una velocidad de 60km/h, los neumáticos nuevos emplearon menor distancia que los calculados por fórmula.

- Con un porcentaje 57% obtenido de forma teórica y un 43% obtenido de forma experimental a 60 km/h.

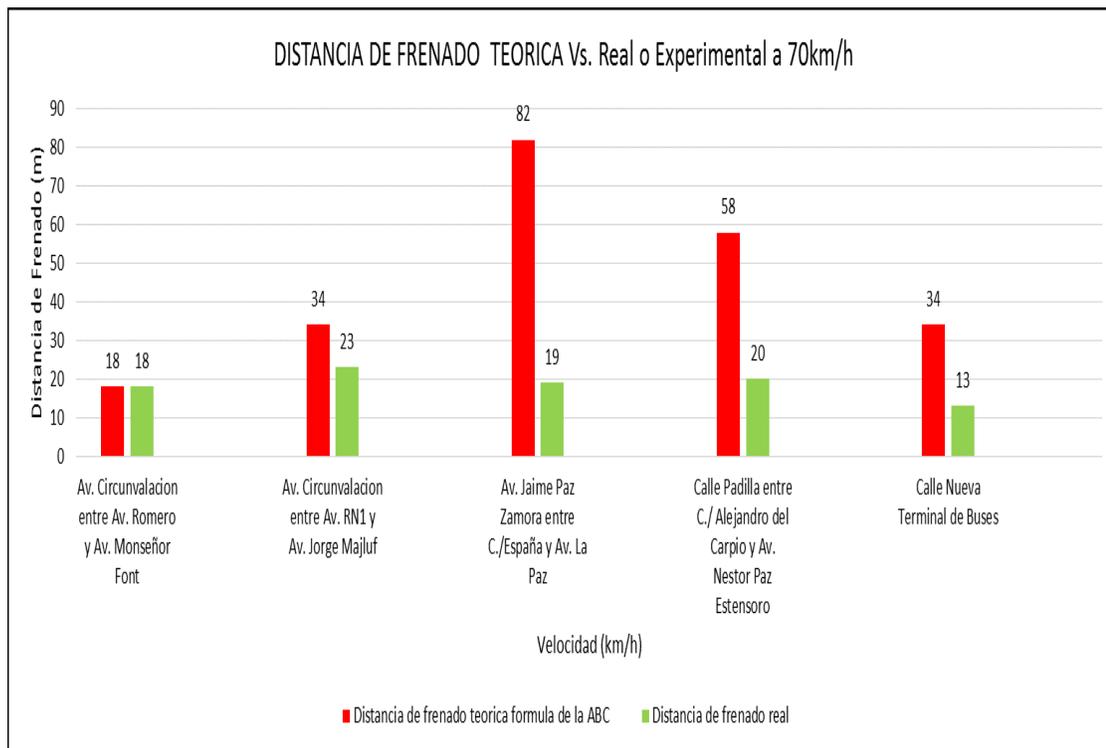
Tabla 26.

Distancia de frenado teórica-real neumáticos nuevos, superficie húmeda.

Distancia de frenado teórica - real con neumáticos nuevos sobre superficie húmeda a 70km/h			
CALLES Y AV.	Distancia de frenado teórica formula de la ABC	Distancia de frenado real	Diferencia
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	18	18	0
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	34	23	11
Av. Jaime Paz Zamora entre C. /España y Av. La Paz	82	19	63
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	58	20	38
Calle Nueva Terminal de Buses	34	13	21

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 19. Distancia de frenado teórica-real neumáticos nuevos, superficie húmeda



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 20. Porcentajes de las distancias de frenado teórico y real a 70 km/h

Porcentaje de Distancia de Frenado Teorico v.s. distancia de frenado real a 70 km/h



Fuente: Elaboración propia.

Con estos gráficos se puede observar que, las distancias de frenado calculadas por fórmula con datos reales como el IFI y la pendiente de los tramos superan a las efectuadas con neumáticos nuevos sobre superficie húmeda para una velocidad de 70km/h, los neumáticos nuevos emplearon menor distancia que los calculados por fórmula.

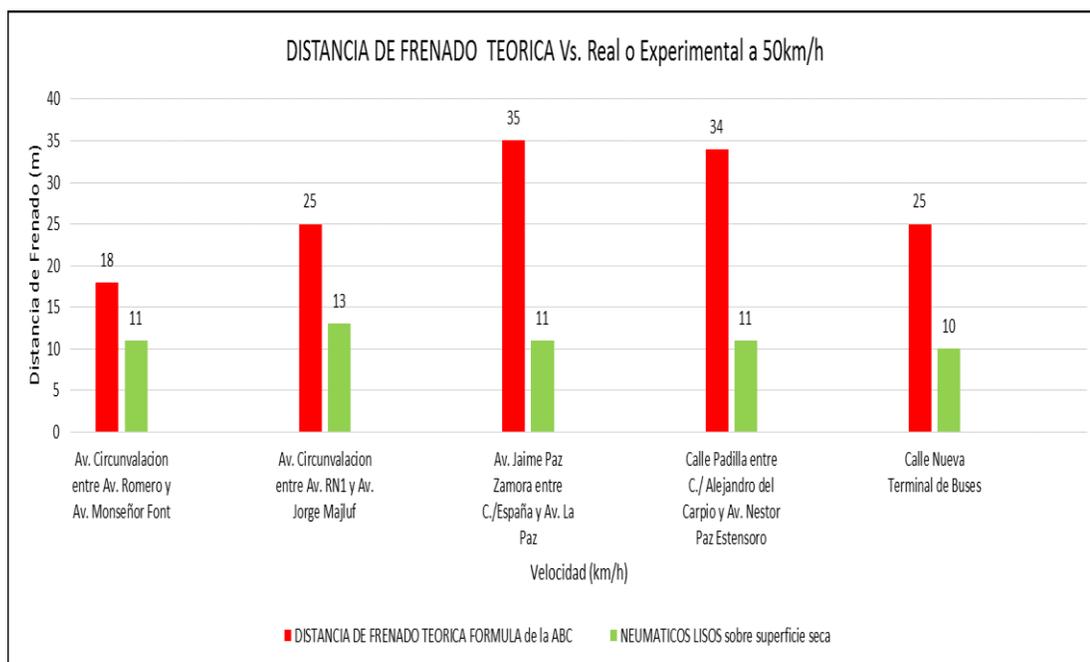
- Con un porcentaje 56% obtenido de forma teórica y un 44% obtenido de forma experimental a 70 km/h.

Tabla 27.
Distancia de frenado teórica-real neumáticos lisos, superficie seca.

Distancia de frenado teórica y real con neumáticos lisos sobre superficie seca a 50km/h			
Calles y Av.	Distancia de frenado teórica con la fórmula de la ABC	Distancia de frenado real	Diferencia
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	15	11	7
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	25	13	12
Av. Jaime Paz Zamora entre C. /España y Av. La Paz	45	11	24
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	37	11	23
Calle Nueva Terminal de Buses	25	10	15

Fuente: Elaboración Propia.

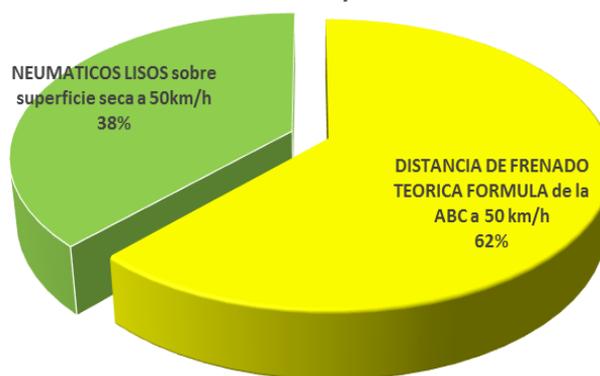
Gráfica 21. Distancia de frenado teórica-real neumáticos lisos superficie seca.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 22. Porcentajes de las distancias de frenado teórico y real a 50 km/h

Porcentaje de Distancia de Frenado Teorico v.s. distancia de frenado real a 50 km/h



Fuente: Elaboración propia.

Con estos gráficos se puede observar que, las distancias de frenado calculadas por fórmula con datos reales como el IFI y la pendiente de los tramos supera a las efectuadas con neumáticos lisos sobre superficie seca para una velocidad de 50km/h, los neumáticos lisos emplearon menor distancia que los calculados por fórmula.

- Con un porcentaje 62% obtenido de forma teórica y un 38% obtenido de forma experimental a 50 km/h.

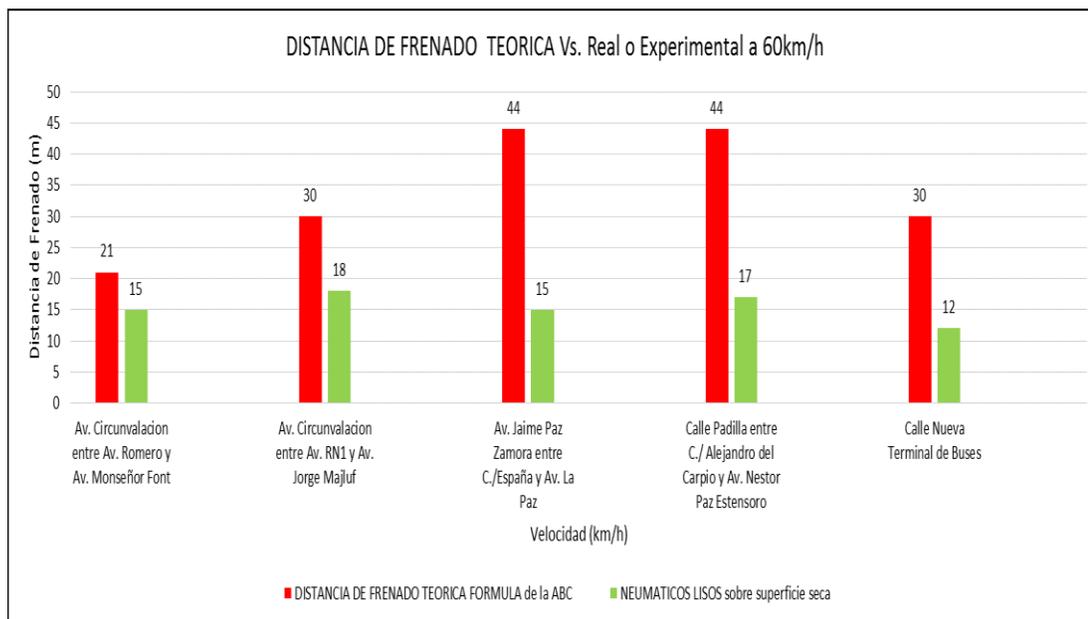
Tabla 28.

Distancia de frenado teórica-real neumáticos lisos, superficie seca.

Distancia de frenado teórica y real con neumáticos lisos sobre superficie seca a 60km/h			
Calles y Av.	Distancia de frenado teórica con la fórmula de la ABC	Distancia de frenado real	Diferencia
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	17	15	6
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	30	18	12
Av. Jaime Paz Zamora entre C/España y Av. La Paz	62	15	29
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	47	17	27
Calle Nueva Terminal de Buses	30	12	18

Fuente: Elaboración propia.

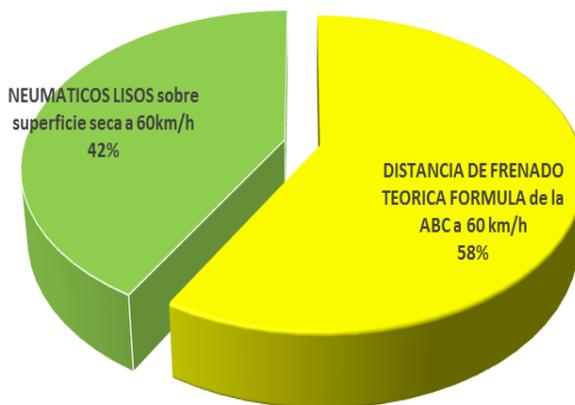
Gráfica 23. Distancia de frenado teórica-real neumáticos lisos superficie seca.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 24. Porcentajes de las distancias de frenado teórico y real a 60 km/h

Porcentaje de Distancia de Frenado Teorico v.s. distancia de frenado real a 60 km/h



Fuente: Elaboración propia.

Con estos gráficos se puede observar que, las distancias de frenado calculadas por fórmula con datos reales como el IFI y la pendiente de los tramos supera a las efectuadas con neumáticos lisos sobre superficie seca para una velocidad de 60km/h, los neumáticos lisos emplearon menor distancia que los calculados por fórmula.

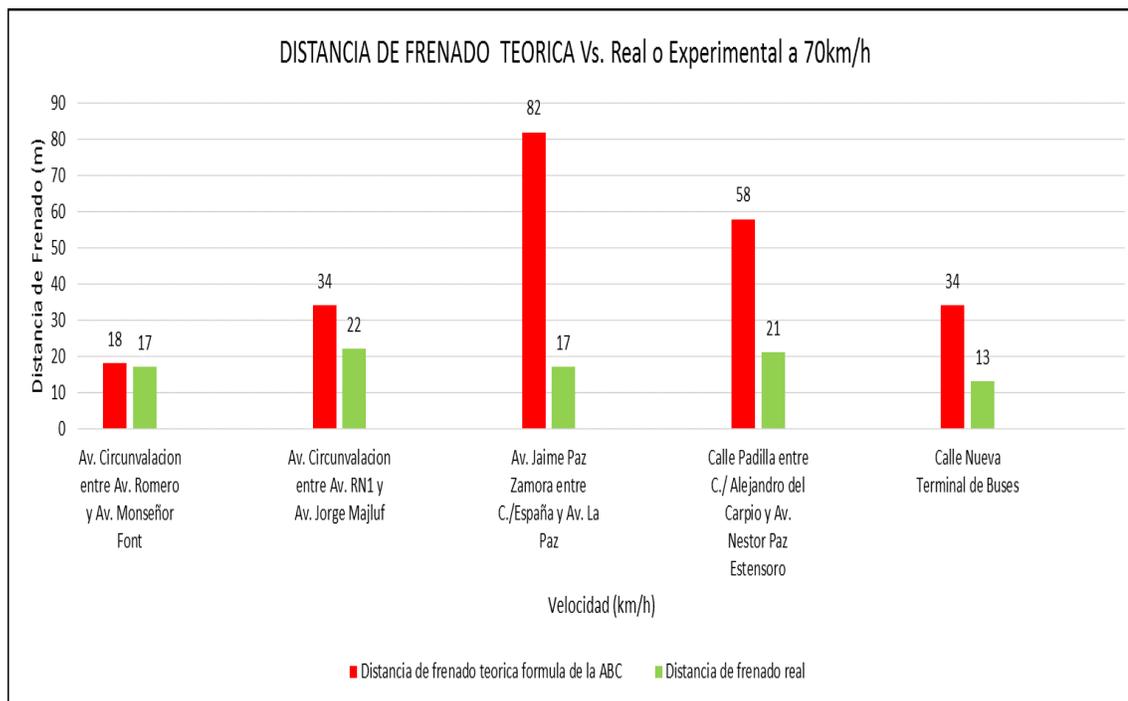
- Con un porcentaje 58% obtenido de forma teórica y un 42% obtenido de forma experimental a 60 km/h.

Tabla 29
Distancia de frenado teórica-real neumáticos lisos, superficie seca.

Distancia de frenado teórica - real con neumáticos lisos sobre superficie seca a 70km/h			
CALLES Y AV.	Distancia de frenado teórica fórmula de la ABC	Distancia de frenado real	Diferencia
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	18	17	1
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	34	22	12
Av. Jaime Paz Zamora entre C. /España y Av. La Paz	82	17	65
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	58	21	37
Calle Nueva Terminal de Buses	34	13	21

Fuente: Elaboración propia.

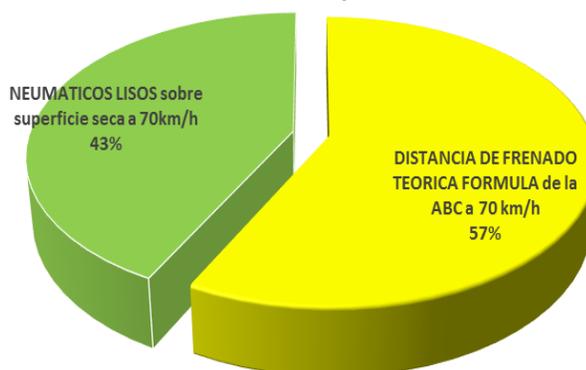
Gráfica 25. Distancia de frenado teórica-real neumáticos lisos, superficie seca.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 26. Porcentajes de las distancias de frenado teórico y real a 70 km/h

Porcentaje de Distancia de Frenado Teorico v.s. distancia de frenado real a 70 km/h



Fuente: Elaboración Propia.

Con estos gráficos se puede observar que, las distancias de frenado calculadas por fórmula con datos reales como el IFI y la pendiente de los tramos supera a las efectuadas con neumáticos lisos sobre superficie seca para una velocidad de 70km/h, los neumáticos lisos emplearon menor distancia que los calculados por fórmula.

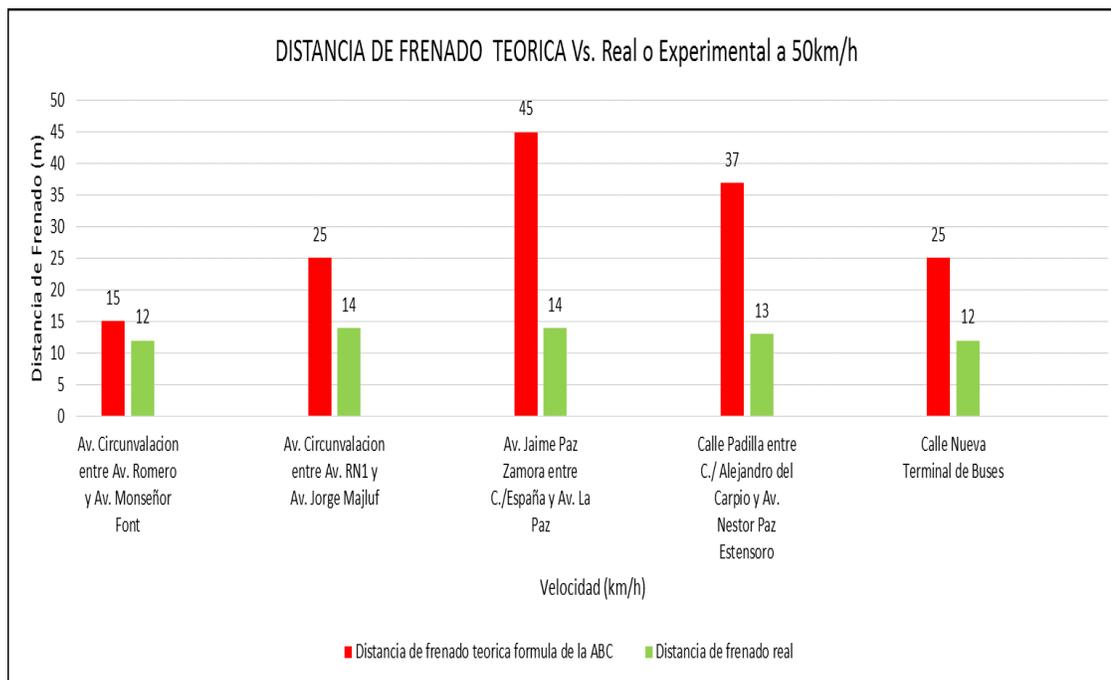
- Con un porcentaje 57% obtenido de forma teórica y un 43% obtenido de forma experimental a 70 km/h.

Tabla 30.
Distancia de frenado teórica-real neumáticos lisos, superficie húmeda.

Distancia de frenado teórica - real con neumáticos lisos sobre superficie seca a 50km/h			
CALLES Y AV.	Distancia de frenado teórica fórmula de la ABC	Distancia de frenado real	Diferencia
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	15	12	3
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	25	14	11
Av. Jaime Paz Zamora entre C. /España y Av. La Paz	45	14	31
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	37	13	24
Calle Nueva Terminal de Buses	25	12	13

Fuente: Elaboración propia.

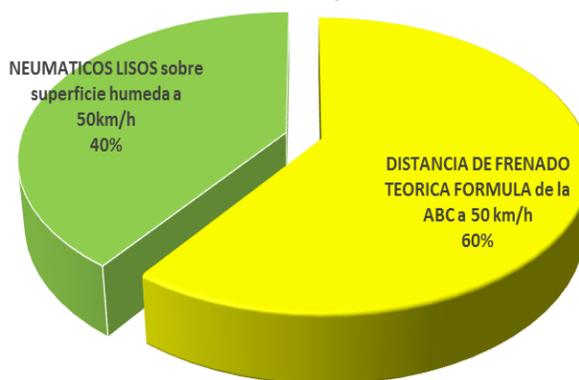
Gráfica 27. Distancia de frenado teórica-real neumáticos lisos, superficie húmeda.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 28. Porcentajes de las distancias de frenado teórico y real a 50 km/h

Porcentaje de Distancia de Frenado Teorico v.s. distancia de frenado real a 50 km/h



Fuente: Elaboración propia.

Con estos gráficos se puede observar que, las distancias de frenado calculadas por fórmula con datos reales como el IFI y la pendiente de los tramos supera a las efectuadas con neumáticos lisos sobre superficie húmeda para una velocidad de 50km/h, los neumáticos lisos emplearon menor distancia que los calculados por fórmula.

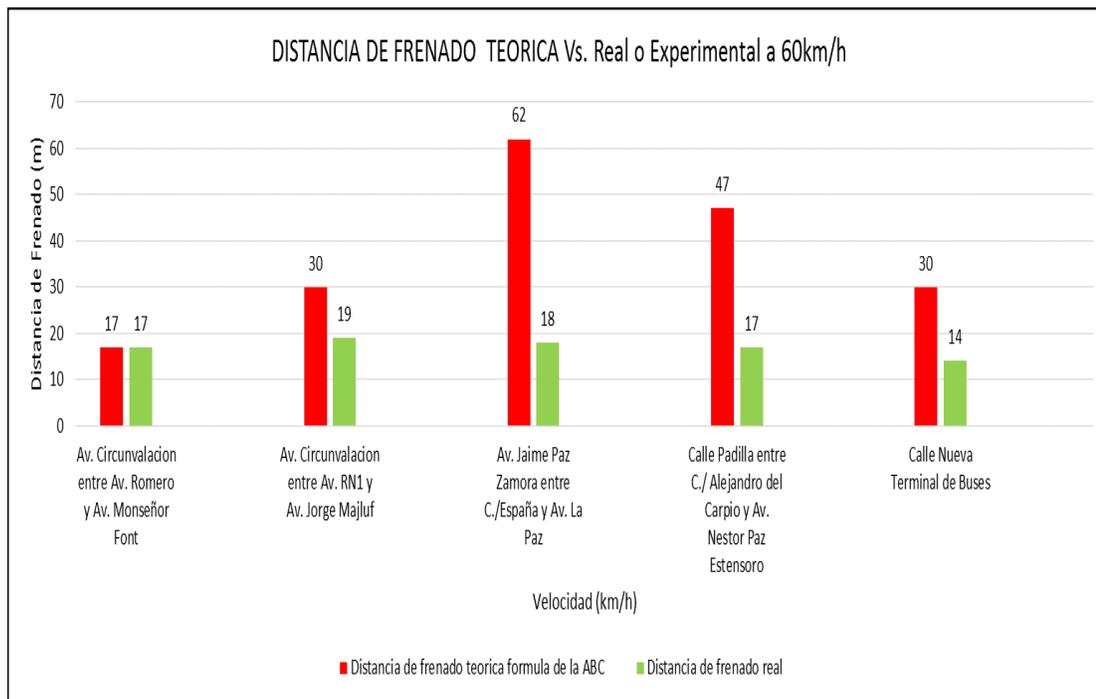
- Con un porcentaje 60% obtenido de forma teórica y un 40% obtenido de forma experimental a 50 km/h.

Tabla 31.
Distancia de frenado teórica-real neumáticos lisos, superficie húmeda.

Distancia de frenado teórica y real con neumáticos lisos sobre superficie húmeda a 60km/h			
Calles y Av.	Distancia de frenado teórica con la fórmula de la ABC	Distancia de frenado real	Diferencia
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	17	17	0
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	30	19	11
Av. Jaime Paz Zamora entre C/España y Av. La Paz	62	18	26
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	47	17	27
Calle Nueva Terminal de Buses	30	14	16

Fuente: Elaboración propia.

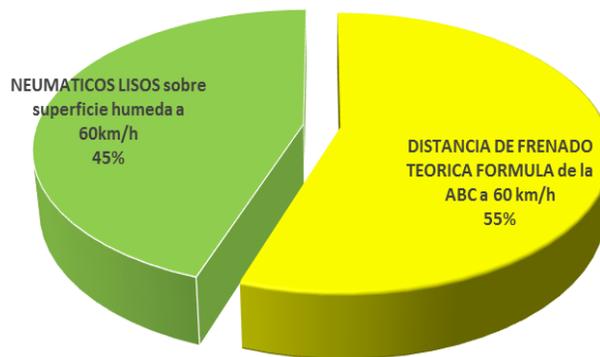
Gráfica 29. Distancia de frenado teórica-real neumáticos lisos, superficie húmeda.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 30. Porcentajes de las distancias de frenado teórico y real a 60 km/h

Porcentaje de Distancia de Frenado Teorico v.s. distancia de frenado real a 60 km/h



Fuente: Elaboración propia.

Con estos gráficos se puede observar que, las distancias de frenado calculadas por fórmula con datos reales como el IFI y la pendiente de los tramos superan a las efectuadas con neumáticos lisos sobre superficie húmeda para una velocidad de 60km/h, los neumáticos lisos emplearon menor distancia que los calculados por fórmula.

- Con un porcentaje 55% obtenido de forma teórica y un 45% obtenido de forma experimental a 60 km/h.

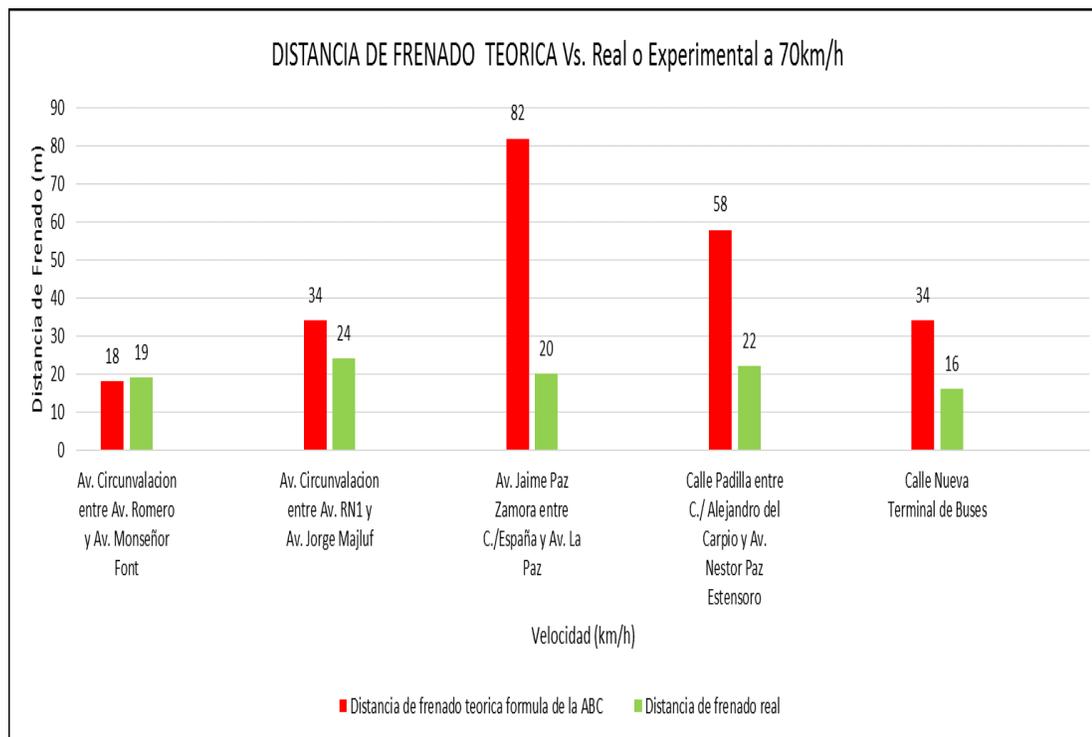
Tabla 32.

Distancia de frenado teórica-real neumáticos lisos, superficie húmeda.

Distancia de frenado teórica - real con neumáticos lisos sobre superficie húmeda a 70km/h			
CALLES Y AV.	Distancia de frenado teórica fórmula de la ABC	Distancia de frenado real	Diferencia
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Monseñor Font	18	19	1
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	34	24	10
Av. Jaime Paz Zamora entre C. /España y Av. La Paz	82	20	62
Calle Padilla entre C./ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz Estensoro	58	22	36
Calle Nueva Terminal de Buses	34	16	18

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 31. Distancia de frenado teórica-real neumáticos lisos, superficie húmeda.



Fuente; Elaboración propia.

Gráfica 32. Porcentajes de las distancias de frenado teórico y real a 60 km/h

Porcentaje de Distancia de Frenado Teorico v.s. distancia de frenado real a 70 km/h



Fuente; Elaboración propia.

Con estos gráficos se puede observar que, las distancias de frenado calculadas por fórmula con datos reales como el IFI y la pendiente de los tramos superan a las efectuadas con neumáticos lisos sobre superficie húmeda para una velocidad de 70km/h, los neumáticos lisos emplearon menor distancia que los calculados por fórmula.

- Con un porcentaje 55% obtenido de forma teórica y un 45% obtenido de forma experimental a 70 km/h.

4.1.2. Comparación de frenado en diferentes superficies con neumáticos nuevos

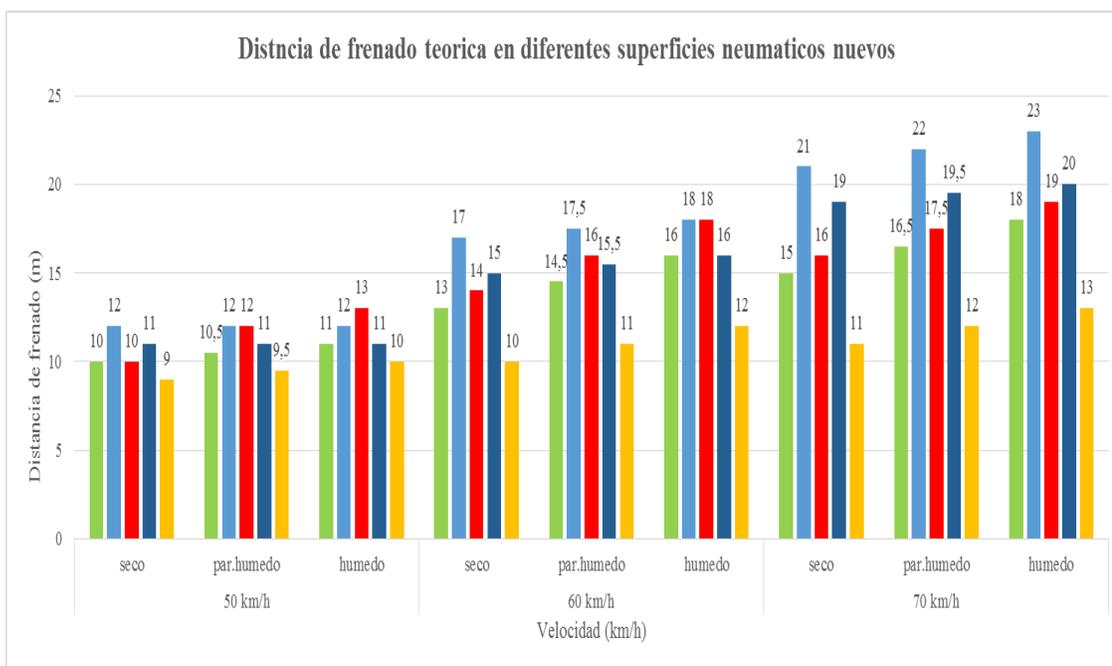
Tabla 33.

Comparación de la distancia de frenado en superficies distintas.

Distancia de Frenado Real (m) superficie seca-parcialmente húmeda -húmeda neumáticos nuevos									
	50 km/h			60 km/h			70 km/h		
	S	P.H	H	S	P.H	H	S	P.H	H
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Font	10	10.5	11	13	14.5	16	15	16.5	18
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	12	12	12	17	17.5	18	21	22	23
Av. Jaime Paz Zamora entre c/ España y Av. La Paz	10	12	13	14	16	18	16	17.5	19
C/ Padilla entre C/ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz	11	11	11	15	15.5	16	19	19.5	20
C/ Nueva Terminal de Buses	9	9.5	10	10	11	12	11	12	13

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 33. Distancia de frenado real sobre una superficie distintas neumáticos nuevos



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla y el gráfico de comparación de velocidades se puede observar que:

- Las distancias de frenado efectuadas con neumáticos nuevos sobre superficie (seca parcialmente húmeda y húmeda) aumentan según la velocidad con la cual realizamos la investigación.
- Así también podemos observar que las velocidades aumentan dependiendo del IFI que presenta cada tramo en investigación esto es provocado por el deterioro y el pulimiento que presentan algunas vías.
- La influencia de la pendiente se aprecia en los tramos donde la pendiente es pronunciada obteniendo distancias de frenado mayores a las de superficie con poca pendiente u horizontales.
- Los neumáticos nuevos proporcionan mejor adherencia al contar con una superficie seca y va en aumento cuando esta se encuentra parcialmente húmeda o húmeda esto se observa a mayor detalle en la gráfica.

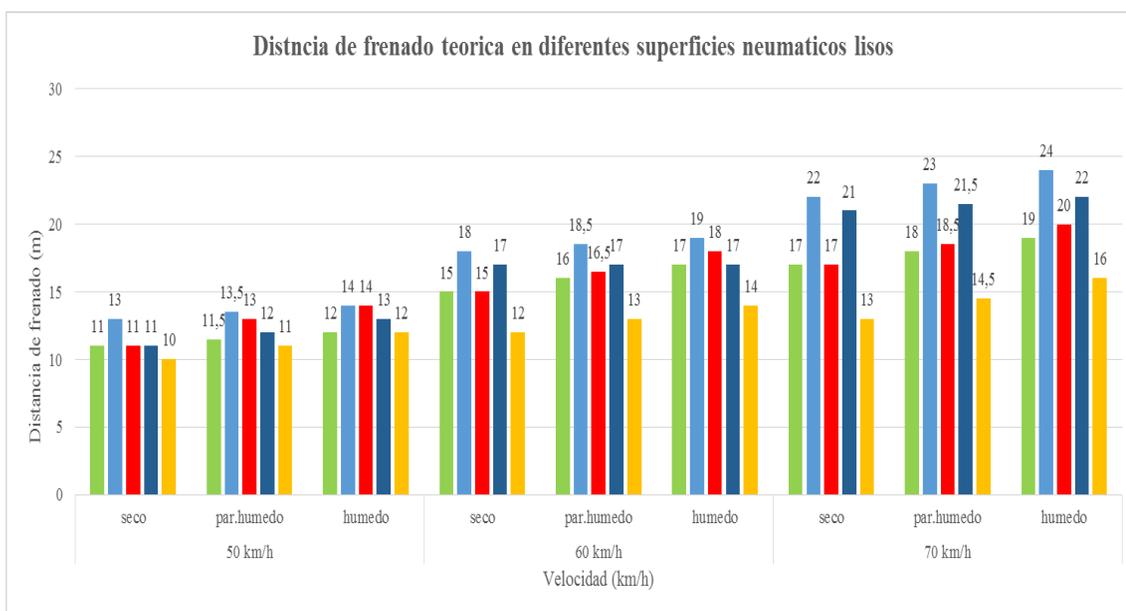
4.1.3. Comparación de frenado en diferentes superficies con neumáticos lisos

Tabla 34.
Comparación de la distancia de frenado en superficies distintas

Distancia de Frenado Real (m) superficie seca-parcialmente húmeda -húmeda neumáticos lisos									
Av. Circunvalación entre Av. Romero y Av. Font	50 km/h			60 km/h			70 km/h		
	S	P.H	H	S	P.H	H	S	P.H	H
Av. Circunvalación entre Av. RN1 y Av. Jorge Majluf	11	11.5	12	15	16	17	17	18	19
Av. Jaime Paz Zamora entre c/ España y Av. La Paz	13	13.5	14	18	18.5	19	22	23	24
C/ Padilla entre C/ Alejandro del Carpio y Av. Néstor Paz	11	12	13	17	17	17	21	21.5	22
C/ Nueva Terminal de Buses	11	13	14	15	16.5	18	17	18.5	20
C/ Nueva Terminal de Buses	10	11	12	12	13	14	13	14.5	16

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 34. Distancia de frenado real sobre una superficie distintas neumáticos nuevos



Fuente: Elaboración propia

En la tabla y el gráfico de comparación de velocidades se puede observar que:

- Las distancias de frenado efectuadas con neumáticos lisos sobre superficie (seca parcialmente húmeda y húmeda) aumentan según la velocidad con la cual realizamos la investigación.
- Así también podemos observar que las velocidades aumentan dependiendo del IFI que presenta cada tramo en investigación esto es provocado por el deterioro y el pulimiento que presentan algunas vías.
- Los neumáticos lisos proporcionan menor adherencia debido al desgaste que presentan estos y al contar con una superficie (seca-parcialmente húmeda o húmeda) esta va en aumento provocando inestabilidad en el vehículo y peligro de accidente (volanteo derrapado y en el peor de los casos vuelco a tonel) se observa a mayor detalle en la gráfica.

4.2.DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De las experiencias realizadas y de su análisis se verificó lo siguiente:

4.2.1. Distancia de frenado teórica con el (IFI) y pendientes de cada tramo

Las distancias de frenado generadas con la fórmula extraída del manual de diseño de la ABC nos presentan resultados superiores a los determinados de forma experimental en los diferentes tramos en estudio como se puede observar en las comparaciones que pudimos realizar en gráficas y porcentajes esto puede tratarse de:

- Que la fórmula de distancia de frenado es empleada únicamente para una alineación recta de pendiente uniforme esto ocasionaría en los cálculos diferencias notorias con distancias de frenado mayor a las distancias de frenado reales.
- En tramos en estudio existen 2 tramos con pendientes pronunciadas esto ocasiona una mayor distancia de frenado por que la formula está determinada para vías horizontales y existen 3 tramos con poca pendiente o horizontales arrojándonos valores similares o aceptables a los que la norma indica.
- Las velocidades que formaron parte del cálculo son asumidas y a su vez justificadas con el cálculo de velocidad de recorrido por el método de las

patentes de cada uno de los tramos la velocidad es uno de los factores primordiales para el cálculo de distancia de frenado.

- Otro factor que se pudo evidenciar es la influencia que presenta el IFI emplazado en la fórmula esto es un indicador de que el desgaste de la capa de rodadura y los daños estructurales que presentan estas vías ocasionan que distancias de frenado calculadas por fórmula son superiores a las reales.
- El cálculo de la distancia de frenado teórica fue calculado con datos reales de fricción y pendientes y velocidades de recorrido propias de cada tramo.

4.2.2. Índice de Fricción Internacional

- Este dato bastante importante para el cálculo de la distancia de frenado teórico fue calculado tomando en cuenta el deterioro de los tramos y a su vez tratando de presentar datos lo más preciso para que no se cometan errores y así lograr obtener un buen resultado.
- Se calculó el IFI índice de fricción internacional de cada tramo los cuales están de manera descrita y se encuentran entre los rangos según el PIARC.
- Con mayor precisión se logra observar el estado de los pavimentos estos coinciden con la realidad que hoy en día nos ofrece esta capa de rodadura en nuestra ciudad presentando deterioro y desgaste alarmante.

4.2.3. Pendiente longitudinal

- Este es otro de los factores en el cual se tuvo que realizar un levantamiento topográfico para determinar la pendiente de las vías en estudio estas pendientes fueron ingresadas en la fórmula para la obtención de la distancia de frenado.

4.2.4. Velocidad de recorrido

- Las velocidades fueron calculadas y justificadas para cada uno de los tramos en estudio por lo cual las velocidades de 50-60-70 km/h se encuentran en el rango de velocidad de circulación para el cálculo de distancia de frenado teórico se determinó para las velocidades mencionadas.

- En conclusión la capa de rodadura de 4 de las 5 vías en estudio presenta pulimiento deterioro y si se transita a mayor velocidad por estas vías ocasionarían accidentes. Las pendientes antes ya mencionadas provocan una mayor distancia de frenado.

4.2.5. Distancia de frenado Real o experimental

De acuerdo a las experiencias realizadas en esta investigación no se cumple lo teórico con la parte práctica dándonos a notar y resaltar que el manual de diseño geométrico de la ABC no toma en cuenta varios aspectos las pruebas realizadas tanto en superficie seca como húmeda con tramos planos y con pendientes, con neumáticos nuevos y lisos a diferentes velocidades, con carpetas de rodadura diferentes nos arrojan datos absolutamente distintos y en toda la investigación y comparación no se acercan a la realidad a excepción de los tramos ubicados en la Av. Jaime paz Zamora y la C/ Padilla ya que estos tramos presentan superficies de alineación recta.

Siendo así que esta investigación determina también que la carpeta de rodadura es bastante influyente en la interfaz Neumático – carpeta de rodadura evidenciando en cada tramo que cuando esta presenta desgaste la distancia de frenado llega a ser mayor que en una carpeta de rodadura en buen estado. Así también se pudo evidenciar el efecto de la presencia de agua sobre la superficie causando una distancia de frenado mayor a la que se presenta cuando esta está seca esto se pudo evidenciar en las gráficas y comparación de datos.

Por otro lado los neumáticos nuevos versus los neumáticos lisos presentan diferencias es decir que los neumáticos nuevos brindan mayor seguridad y rozamiento y sobre todo mayor zona de contacto cuando se cuenta con presencia de agua sobre la carpeta de rodadura observando que un neumático nuevo es proporciona menor distancia de frenado a comparación de la que obtenemos con los neumáticos lisos o desgastados.

Algunas de las variables y parámetros que no toma en cuenta la formula lo que provoca una diferencia notable en el cálculo y la obtención de distancias de frenados estos son los siguientes:

- Las distancias de frenado realizadas con neumáticos nuevos en los tramos en estudio tanto sobre superficie seca, parcialmente húmeda y húmeda son de

manera creciente que a mayor velocidad mayor distancia de frenado los neumáticos nuevos provocan una buena adherencia.

- Por lo contrario al realizar las pruebas de frenado con neumáticos lisos los datos son claramente evidenciables mostrados en gráficas y tablas esto nos hace notar que al contar con neumáticos lisos somos propensos a producir un accidente por que no existiría una buena adherencia y un mayor efecto de hidropilano.
- La presión de inflado otro de los factores tomados en cuenta en la investigación contando con una presión de inflado optimo tanto en neumáticos nuevos y lisos intervienen en el desarrollo de la investigación por tener una mayor área de contacto.
- Los frenos un factor muy importante fueron regulados y puestos en óptimas condiciones para que no existiesen fallas en los datos obtenidos.
- La comparación realizada entre las distancias de frenado reales en superficies secas parcialmente húmeda y húmeda tal y como se pueden observar en la gráfica son de forma accidentada.
- Las pruebas realizadas a velocidades de 70km/hr fueron de alto riesgo provocando daños en los neumáticos y volanteo del automóvil, lo cual podría derivar en un accidente o vuelco tonel.
- Todas estas experiencias realizadas y el análisis de datos y comparación de resultados nos otorgan información importante la cual será reflejada que la formula no toma en cuenta el estado de la vía aún menos el estado de los neumáticos tampoco las pendientes pronunciadas esto se ve reflejado en la diferencia de datos en toda la investigación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

A partir de la discusión de los resultados obtenidos y de las experiencias realizadas, se expresan las siguientes conclusiones:

- Se determinó el índice de fricción internacional IFI real para cada tramo en estudio lo cual comparamos con rangos y tablas de bibliografías, obtuvimos datos muy parecidos a la realidad lo cual nos provoca cierta intriga y nos proporciona duda sobre el uso de la fórmula de distancia de frenado.
- Otro punto muy importante y el cual nos hace notar que la fórmula no toma en cuenta el estado de la carpeta de rodadura, los neumáticos variables muy presentes en la operación de frenado esto provoca poner atención a estas variantes a la hora de calcular la distancia de frenado, las pendientes de cada tramo también fueron obtenidas con el levantamiento topográfico de cada tramo en estudio lo cual los valores de la distancia de frenado teórico tendrían que aproximarse a las distancias de frenado real o experimental.
- Se obtuvo las distancias de frenado teórico la cual fue comparada con cada distancia de frenado real o experimental a distintas velocidades con neumáticos nuevos y lisos a presión de inflado óptimo y con superficies secas y húmedas en ningún momento se pudo llegar a tener un valor parecido entre el teórico y el real, esta causa puede ser porque la fórmula no toma en cuenta varios aspectos y generaliza o solo toma variables muy puntuales.
- La influencia en el desgaste de la carpeta de rodadura es muy crucial al momento de realizar la maniobra de frenado ya que esta proporciona fricción y con una carpeta dañada o en presencia de pulimento podría provocar que no exista una buena adherencia entre el neumático esto se puede evidenciar tanto en forma teórica como real .
- La presencia de agua en la capa de rodadura es otro factor con el cual se evidencio que la carpeta de rodadura no cuenta con una buena evacuación de

esta, lo que podría provocar el efecto de hidropneumático así también una distancia de frenado mayor a la que se obtuvo con una superficie seca.

- Por último los neumáticos nuevos y lisos son factores que intervienen directamente en la adherencia neumático – pavimento si estos no se encuentran en buen estado podrían provocar el desgaste de la capa de rodadura y a su vez poniendo en riesgo a personas y más aún si no cuenta con una banda de rodadura nueva o en buen estado por lo tanto es muy importante tener en cuenta que al contar con neumáticos nuevos y presión de inflado óptimo podríamos contar con mayor fricción y menor distancia de frenado.

En conclusión la fórmula de distancia de frenado debería ser modificada tomando en cuenta otras variables y no solo variables de diseño geométrico.

5.2.RECOMENDACIONES

Esta investigación abre las puertas para realizar futuras observaciones sobre diversos aspectos como:

- Determinar la influencia que en el cálculo de la distancia de frenado, poseen otros factores de incerteza, como pueden ser: temperatura ambiente, estado del sistema de frenos.
- Contar con un cinemómetro para la obtención de la velocidad de circulación de los automóviles con mayor precisión y rapidez.
- Indagar sobre la utilización de diferentes dispositivos, tales como tacógrafos y acelerómetros para lograr una mayor precisión y exactitud en la medición de la distancia de frenado, determinación del coeficiente de fricción.
- Que la investigación pueda realizarse en carreteras donde las velocidades son superiores.
- En la toma de datos usar todo el equipo necesario de precaución para evitar accidentes a la hora de realizar las medidas.
- Realizar las mismas pruebas con otras variables y o que la fórmula de la ABC tiene como señalado para que lo real se aproxime halo teórico o viceversa. Es por ello que se recomienda continuar con esta investigación.