



Universidad del Aconcagua
Facultad de Psicología

LICENCIATURA EN CRIMINALÍSTICA

Tesina de grado

Título a obtener: **LICENCIADO EN CRIMINALÍSTICA**

Tema: **“CÁLCULO DE LA HUELLA DE FRENADO NO PATENTIZADA DE UNA BICICLETA CON MOTOR (BICIMOTO) EN HORMIGÓN SECO”.**

Tesista: **Alicia DelPonte**

Director: **Licenciado Miguel Ángel Mendoza**

RESUMEN

Este trabajo de investigación consistió en determinar la distancia de la huella de frenado que no queda patentizada en un lugar donde frena una bicicleta con motor. Dado que esta distancia es la base del cálculo de la velocidad a la que circula un vehículo, se hizo necesario conocer cuánto era este porcentaje.-

Derivado de esta investigación se estipuló el coeficiente de fricción bicimotor-hormigón.-

Al comenzar la investigación se realizó un rastreo bibliográfico acerca de las huellas de frenado y lo relacionado a ellas, mientras se procedió a la búsqueda del material con el que se realizaría la experimentación.-

En segundo término se estudiaron las variables a las cuales serían confeccionadas las frenadas, determinando así que las mismas serían 20(veinte) frenadas a 20 km/h y 20(veinte) más a 25km/h sobre una calzada de hormigón seco y limpio. Se filmaron cada una de las pruebas y se midieron las huellas en el lugar del hecho con una cinta métrica.-

Por último se anotaron los resultados en tablas y se fotografió.-

Todo esto se realizó con el fin de llegar a una valedera conclusión que aporte datos sobre las huellas de frenado a la ciencia Criminalística.-

ABSTRACT

This research work was to determine the distance of the brake track is not patented in a place where a bicycle with engine brakes.-

Since this distance is the basis for calculating the speed at which a vehicle runs, it became necessary to know how was this percentage.-

Derived from this research is the coefficient of friction stipulated bicycle with engine-concrete.-

When beginning the research was conducted tracing bibliography about brake track and related to them, as they proceeded to search the material that would be carried out experimentation. –

Secondly variables were studied which would be made under braking, thus determining that they would be 20 (twenty) braking from 20 km / h and 20 (twenty) more at 25km / h on a dry concrete driveway and clean. They filmed each of the tests and measured the brake tracks in the crime scene with a tape measure.-

Finally, the results in tables noted and photographed. –

All this was done in order to reach a valid conclusion to provide data in the brake track of Forensic Science.-

ÍNDICE

CAPÍTULO I	
Introducción-----	07
Formulación del problema-----	08
Implicancias del trabajo de investigación-----	09
Objetivos de trabajo-----	10
Hipótesis de trabajo-----	11
CAPÍTULO II	
Antecedentes-----	13
CAPÍTULO III	
Marco Teórico- Conceptual-----	20
1. Mecánica-----	20
2. Siniestrológia-----	25
3. Física-----	28
CAPÍTULO IV	
Metodología de la investigación-----	33
1. Tipo de estudio o diseño-----	33
2. Definición de las variables-----	33
3. Selección de elementos-----	34
4. Explicación de la metodología-----	35
5. Muestra-----	38
CAPÍTULO V	
Análisis de los datos y discusión de los resultados-----	40
1. Resultados-----	40
2. Análisis-----	42
3. Cálculo del coeficiente de rozamiento bicimoto-hormigón-----	52
CAPÍTULO VI	
Conclusión-----	55
CAPÍTULO VII	
Aportes y recomendaciones-----	58
CAPÍTULO VIII	



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Al reconstruir un siniestro vial , se busca determinar las posibles formas en que pudo haber sucedido el mismo, además de establecer los comportamientos de los protagonistas, sus posiciones, direcciones, su dinámica en los momentos previos, durante y luego del siniestro, como así también sus velocidades.-

Es para esta estimación de la velocidad, que se realiza un cálculo en el que, utilizando una fórmula físico-matemática, se puede obtener un valor de circulación aproximado.-

Para ello se deben conocer dos factores importantes:

1° La longitud de la huella de frenado: es generada al bloquearse las ruedas ocasionando un permanente contacto entre el neumático y la calzada. Esto produce el sobrecalentamiento del caucho que desprende partículas en la vía.-

2° El coeficiente de fricción: Es la oposición al deslizamiento que ofrecen las superficies de dos cuerpos en contacto. Es particular para cada par de materiales en contacto.-

Una vez determinados estos componentes, se puede proceder a realizar el cálculo y estimar la velocidad de circulación de los vehículos.-

Dado que respecto a la bicimoto no se tiene información de dichos elementos, es que se realizó la presente investigación.-

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A través de la “Ecuación Fundamental”, se logra conocer la velocidad de circulación del vehículo participante de un siniestro, pero, este resultado obtenido no siempre manifiesta la realidad de los hechos, debido a que en la determinación influyen diversos factores que generan incertidumbre y esto se refleja en el resultado final, produciendo una variación entre la velocidad calculada a través del método y la velocidad “real” de circulación del vehículo.-

Los siniestros viales en los que participan bicimotos, no son ajenos a esta problemática, por ello, se busca investigar dos elementos:

El primero de ellos es el coeficiente con el que actúa la dupla bicimoto-hormigón, y el segundo es la huella de frenado que no queda patentizada, ya que este porcentaje que no se patentiza, puede influir en el cálculo de la velocidad. Por ello cabe preguntarse: *¿Cuál es el porcentaje de la huella de detención no patentizada generada por una bicimoto en una superficie de hormigón seco, a 20km/h y a 25 Km/h?*

IMPLICANCIAS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Con la presente investigación se pretende establecer científicamente, si la determinación de la velocidad pre-impacto de un vehículo está influida por el porcentaje de huella que no se patentiza , siendo el largo de la huella el punto de partida para la valoración de la velocidad que animaba al rodado.-

Esta labor aporta a los investigadores en siniestros viales información de mayor exactitud con respecto a la bicimoto, a considerar al momento de realizar el análisis de un hecho vial utilizando el modelo físico del “Cálculo de la velocidad de rodamiento a través de la huella de frenado”.-

Por otro lado, arroja resultados hasta ahora desconocidos sobre el coeficiente de rozamiento de la bicimoto para este tipo de calzada.-

OBJETIVOS DE TRABAJO

General:

“Determinar el porcentaje de la huella que se patentiza, que corresponde a la frenada de una bicimoto en calzada de hormigón seco”

Específicos:

“Determinar las longitudes de las huellas de frenado totales (sumatoria de la huellas de frenado patentizadas más las no patentizadas)”.-

“Establecer el coeficiente de rozamiento existente entre bicimoto-hormigón, para cada velocidad, mediante el análisis de los resultados de una prueba dinámica de frenado”.-

Teniendo como preguntas de investigación las siguientes:

¿Existe diferencia entre el largo de la huella que se patentiza y la distancia total de detención?-

¿Influye el incremento de la velocidad en esta diferencia?-

HIPÓTESIS DE TRABAJO

“Si se hace frenar un vehículo de tipo bicimotor, que circula a una velocidad preestablecida, en una carpeta de hormigón limpia y seca, se podrá determinar que el largo de la huella de frenado que queda sin patentizar corresponde al 10 % de la distancia total de detención del vehículo”.-



CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

Al comenzar a estudiar el tema que ocupa a esta investigación, revisando bibliografía disponible principalmente en fuentes bibliográficas de la provincia de Mendoza, y realizando consultas a profesionales en distintas provincias del país, no se logró encontrar mayor información referida específicamente al tipo de vehículo usado.-

Los hallazgos que se encontraron fueron investigaciones sobre distintas ramas de la Siniestrología Vial, de las que se tomó en cuenta aportes ayudaron a facilitar la experimentación realizada en la investigación presente.-.

*El Ingeniero Joseph Stannard Baker¹ realizó estudios en los que determinó, mediante las distancias de frenado, valores aproximados de coeficientes de fricción, para distintos tipos de superficies de rodamiento y vehículos.-

Si bien no se encuentran valores para bicimotos, se consideró como referente de los parámetros del coeficiente de rozamiento.-

¹Stannard Baker, J.(1975).*Traffic Accident Investigation Manual*

Coefficientes de fricción, de acuerdo a la superficie de rodamiento y el tipo de vehículo

Descripción de la superficie del piso	Rueda de automóvil	Rueda de camión
Concreto seco	0,85	0,65
Asfalto seco	0,8	0,6
Concreto húmedo	0,70 - 0,80	0,5
Asfalto húmedo	0,45 - 0,80	0,3
Nieve afirmada	0,15	0,15
Hielo	0,05	0,11 (seco) 0,07 (húmedo)
Tierra seca	0,65	---
Lodo	0,40 - 0,50	---
Gravilla o arena	0,55	---
Concreto liso húmedo,aceitoso	---	0,25
Nieve fuertemente afirmada y con cadenas	---	0,6
Hielo seco y con cadenas	---	0,25

Fuente: Baker, J.S. Traffic Accident Investigation Manual. Northwestern University, Evanston I.U. 1975.

*La Licenciada Lucia Martínez², se enfrentó con la necesidad de establecer un sistema mediante el cual se pueda dejar marcada de forma perceptible fácilmente la longitud de la distancia de frenado que imprime un vehículo. 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 guardabarro delantero derecho, en su sector inferior para evitar errores debidos a la altura.-

Este método fue tenido en cuenta al momento de realizar las prácticas en el trabajo que nos involucró, pero finalmente se optó por otro de más práctica aplicación.-

²Martínez L. (2010). *Influencia del desgaste del neumático en el cálculo de la velocidad*

*V́ctor Irureta³ (2003) aconseja calibrar el veloćmetro del rodado y utilizar dispositivos que disparen pintura hacia abajo en el momento de accionarse el freno, de forma de marcar exactamente el inicio de la frenada.-

A su vez, presenta una tabla de coeficientes de fricci3n para motocicletas, en donde demuestra que el valor del coeficiente de frenado para ser utilizado en c3lculos de detenci3n de motos es variable con el tama1o, aś tambi3n como si frena solo con la rueda trasera o con ambas ruedas.-

Estas tablas, reflejan resultados conseguidos en ensayos con veh́culos de similares característic3s a las bicimotos, por los que se consideraron al momento de obtener los resultados de coeficientes de rozamiento. Por otra parte, el sistema recomendado fue reemplazado por un sistema de videofilmaci3n digital que se encontraba a mayor alcance y ofrecía resultados pertinentes.-

Peso (Kg)	Coeficiente de frenado de motocicletas	
	Rueda trasera	Ambas ruedas
100	0,31 a 0,40	0,53 a 0,67
150	0,36 a 0,43	0,62 a 0,76
200	0,31 a 0,42	0,72 a 0,87
350	0,36 a 0,51	0,63 a 0,88

Fuente: Irureta, Víctor; Accidentología Vial y Pericia. Ediciones La Rocca, Buenos Aires, 2003

*Enciso y Custidiano⁴, realizaron un estudio para conocer cómo influye el dise1o de la superficie de los neumáticos en la desaceleraci3n de las motocicletas, entre ellas, la SUZIKI AX100 de 100 cm³ de cilindrada. En sus pruebas de frenado obtuvieron que este rodado, a una velocidad de 19.8 Km/h, lo que es equivalente a 5.5 m/s, ocupó un espacio de 4.08 m y a 24.98 Km/h (6.94m/s) ocupó 5.92 m. Estos estudios se realizaron a una temperatura de 32° sobre hormig3n armado nuevo, y no se hace menció3n a otro tipo de veh́culos. Sin embargo, explica que:

³Irureta, V. (2003). *Accidentología Vial y Pericia*.

⁴Enciso, G., Custidiano, E. (). *El Frenado y la Deceleraci3n en Motocicletas*

La detención de las motocicletas que experimentan el fenómeno del derrape, generan una pérdida de su energía en función directa del trabajo de fricción generado en el área de contacto entre los neumáticos de la unidad y la superficie. La fricción así originada puede ser considerada, en principio, producida por una fuerza de roce de valor constante que generará una desaceleración también constante. Sin embargo existen varias razones para creer que en esta pérdida de energía, el valor de la fuerza de rozamiento y su consecuente desaceleración no es un valor que se mantenga constante durante la detención de estos vehículos, evidenciando una variabilidad en la deceleración de motocicletas. Algunas de las causas son estimadas por Sodi-Sotelo, en su libro “Investigación sobre accidentes de tránsito”, pag. 70 ... “las diversas causas por las cuales, el coeficiente de rozamiento no permanece constante, y entre la más importante, el descenso en el valor del coeficiente de roce, es debido al hecho que se verifica más trabajo en la detención... y las llantas son arrastradas a lo largo de la superficie a mayor distancia y el calor desarrollado cambia las propiedades el hule (caucho), que disminuye así su tracción.”. De la misma manera otras experiencias realizadas en EE.UU., afirman acerca de la no uniformidad del valor de la fuerza de rozamiento en el frenado de vehículos. Así lo indica José Luis Escario, de su libro “Caminos” tomo 1, pagina 39: *“La fórmula (utilizada para calcular la velocidad inicial en función al trabajo de roce) no es totalmente exacta, porque supone que el coeficiente de rozamiento de los frenos durante todo el tiempo de frenado es uniforme, lo que no es cierto según las experiencias realizadas por Massachusetts Intitute of Techology”*.

Este estudio es importante ya que se realizó a similares velocidades de las empleadas en esta tesina, y ofrece resultados de las distancias obtenidas.-

*Cleva ⁵, analizó la cinemática del frenado de una motocicleta a partir de un video digitalizado y la comparo con resultados obtenidos por huellas de frenado y concluyó que *“si bien el carácter de la deceleración que presenta el fenómeno es constante para cada prueba, no lo es para distintas velocidades. El uso de la huella de frenado como indicador de la velocidad inicial puede conducir a errores que no coinciden a los del fenómeno sobre todo a bajas velocidades. Se hace necesario, entonces, un análisis sobre un mayor número de vehículos bajo distintas condiciones a modo de tener una clara idea de las características del fenómeno”*.-

De Cleva, se tomó esta técnica de análisis de la huella de frenado en base a la video filmación digital.-

*Juan Luis de Miguel, en la revista Centro Zaragoza⁶ publicó un artículo que describía un estudio realizado en Zaragoza:

Con objeto de analizar el proceso real de frenado de un vehículo y caracterizar experimentalmente los parámetros que deben adoptarse para los cálculos de velocidades, se han llevado a cabo diferentes ensayos de frenado, controlando los parámetros fundamentales que intervienen, sirviendo también para validar experimentalmente los modelos de frenada desarrollados analíticamente en el apartado anterior. Los dos equipos de medida empleados durante las pruebas han sido un equipo acelerómetro y un mecanismo de pistola de tiza o “chalk-gun”. El acelerómetro empleado durante los ensayos es el modelo VC-2000, de la firma Vericom. Se trata de un equipo electrónico que proporciona, una vez instalado convenientemente en el interior del vehículo, la medición de la aceleración o deceleración instantánea del mismo durante su movimiento con velocidad variable (aceleración o frenado). Las variables directas e indirectas que nos proporciona el equipo tras la

⁵Cleva, M. (2000). *Frenado de una motocicleta: análisis cinemático a partir de una técnica videográfica digital y su comparación con el análisis por huellas de frenado*.

⁶Miguel, J. L. (2000). *Investigación sobre las fases de una frenada de emergencia*. Revista Centro Zaragoza. N°3, Enero/Marzo.

realización de las pruebas son: velocidad real al inicio de la frenada, distancia total de detención, tiempo total de duración de la frenada, valor medio de la deceleración y valor máximo de la deceleración alcanzado durante la frenada. Tras la realización de la medición de la frenada el VC-2000 permite el volcado de los datos en un PC mediante la interfase adecuada y su posterior análisis con una hoja de cálculo.

El dispositivo de Chalk Gun es un mecanismo detonador, que previamente colocado en el lateral del vehículo, dispara una bala de tiza sobre la calzada en el preciso momento en que se acciona el pedal de freno. De esta forma, tras la realización de una prueba de frenada, se mide la distancia que separa la mancha de tiza sobre la superficie hasta la bocacha de la pistola donde haya quedado detenido finalmente el vehículo, obteniéndose así la distancia total de detención empleada por el vehículo. La distancia medida incluirá tres espacios: 1a fase: espacio S1 recorrido por el vehículo durante el tiempo de respuesta del equipo de frenos. 2a fase: espacio x recorrido con las ruedas bloqueadas, pero sin dejar huellas de frenada. - 3a fase: espacio d recorrido con las ruedas bloqueadas y dejando huellas de frenada.

Del análisis realizado se desprende que no se observa gran dependencia del valor del coeficiente de rozamiento con relación a la velocidad inicial del vehículo. Únicamente se ha puesto de manifiesto una ligera disminución del coeficiente conforme aumenta la velocidad. Tampoco se aprecia en los resultados de los ensayos realizados con diferentes vehículos sobre una misma superficie, una dependencia clara del coeficiente de rozamiento medio respecto al vehículo o a los neumáticos que portaba.

No obstante, cuando el perito reconstructor estime que la velocidad del vehículo durante el accidente fue sensiblemente superior a la registrada por el acelerómetro durante la prueba de frenado, sería aconsejable disminuir en 0,1 el valor del coeficiente de rozamiento medio indicado por el acelerómetro con objeto de tener la certeza de no sobrestimar el cálculo de la velocidad por este motivo.

Es de interés resaltar que en el análisis de esta prueba se concluyó que existe una ligera disminución del coeficiente de rozamiento a medida que aumenta la velocidad de la experiencia.-



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL

1. Mecánica:

El vehículo estudiado es el denominado **bicimoto**⁷ “*aquel vehículo de dos ruedas a tracción humana de quien lo utiliza y que se encuentra equipado con un motor de hasta 49cc de cilindrada inclusive*”(Lemos & Molina, 2011). Este motor puede ser de tipo eléctrico o mecánico, pero en este caso es de tipo mecánico y se propulsa por una mezcla de nafta y aceite que se deposita en un tanque pequeño situado en el cuadro de la bicimoto.-

Posee ruedas compuestas de un neumático (cubierta) de caucho, en cuyo interior va una cámara de aire, también de caucho; una llanta (aro generalmente metálico sobre el que se monta el neumático), un buje central y los radios que conectan ambos (36 radios).-

Los neumáticos, según explica el Ing. Castro⁸, son los elementos del vehículo que toman contacto con la vía y es, por lo tanto, el órgano vital más influyente en la génesis del siniestro.-

⁷Lemos, J. ; Molina, M.C. (2011). *Proyecto de ordenanza.*

⁸Castro. (2008). *Materiales y compuestos para la industria del neumático*

Consisten 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. 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.-

Según explica Ingeniero Industrial José Luis Carrión Nin⁹:

El compuesto del caucho es una mezcla que incluye muchos insumos. Se utilizan tanto cauchos sintéticos como naturales. Con el fin de lograr ciertas características (soportar pesadas cargas, tener la suficiente flexibilidad para resistir deformaciones, resistir la acción de grasas, aceites, oxígeno y luz solar, aportar seguridad al ser utilizada y rendir un buen kilometraje), muchos ingredientes deben ser mezclados con el caucho para modificarlo y hacer de él un producto útil.-

Entre los ingredientes más usados en los compuestos de caucho, tenemos:

- Negro de humo: Añade consistencia y dureza. Resistencia a la abrasión.
- Azufre: Sirve para vulcanizar o "curar" el jebe y convertirlo en un producto útil.
- Cementos y pinturas: Para la construcción y el acabado.

⁹Carrión Nin, J. L. (1999). *Proceso de fabricación de las llantas de caucho*.

- Fibras de Rayón y Acero: Para fortalecer la llanta.
- Caucho sintético natural: Materiales principales en la fabricación.
- Antioxidantes y antiozonantes: Para resistir los efectos dañinos de la luz solar y del ozono, para hacer que la llanta tenga mayor durabilidad.
- Aceites y grasas: Para hacer más maleable la mezcla y para ayudar en el mezclado de todos los ingredientes.
- Óxido de zinc: es un acelerador de vulcanización

Estos insumos son mezclados según una fórmula o receta científica, después de haber pasado por muchas y diversas pruebas de laboratorio. Se corta el caucho en cubos, se añaden los otros ingredientes y toda esta carga se deja caer en la recámara, la cual tiene en su interior dos rodillos en forma de espiral que sirven para mezclar todos los ingredientes. Cuando toda esta "pesada" ha sido mezclada (alrededor de 200 Kl.) se le deja caer a un molino. En este molino se termina de mezclar dicha pesada, que luego es pasada a otro molino. De este último molino, el laminador automático extrae en forma continua el compuesto ya bien mezclado y homogenizado que, después de ser lubricado y enfriado, es almacenado para ser transportado a las máquinas en las cuales será utilizado. Al llegar a este punto de la operación, se sacan muestras de cada pesada para ser examinadas en el laboratorio de la fábrica.

Se lamina en hojas finas, y entre los rodillos se introducen también tejidos de algodón, con el objeto de que el producto sea una lámina fina adherida al tejido.

El tejido cauchado se corta en tiras. De esta manera las cuerdas estarán formando un ángulo y tendrán mayor resistencia. Se da forma a las tiras sobre un núcleo de hierro para obtener el armazón del neumático. Alrededor del armazón se da forma a la superficie de rodadura, que es una tira de caucho masticado y compuesto finalmente se aplica al borde. El borde es una tira de caucho muy duro que lleva hilos de alambre y forma el borde del neumático que ha de estar en contacto con la pestaña de la rueda. El neumático montado se coloca en un molde en el que se ha

tallado el patrón de la rodadura. El calor se ha suministrado por vapor y la presión hace que el azufre vulcanice el caucho.-

Propiedades físicas y químicas del caucho¹⁰:

El caucho bruto en estado natural es un hidrocarburo blanco o incoloro. A la temperatura del aire líquido, alrededor de $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$, el caucho puro es un sólido duro y transparente. De 0 a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ es frágil y opaco, y por encima de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ se vuelve blando, flexible y translúcido. Al amasarlo mecánicamente, o al calentarlo por encima de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso. A temperaturas de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ o superiores se descompone.-

Las propiedades físicas del caucho bruto varían con la temperatura. A bajas temperaturas se vuelve rígido, y cuando se congela en estado de extensión adquiere estructura fibrosa. Calentando a más de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$., se ablanda y sufre alteraciones permanentes.-

La densidad del caucho a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. es de 0.950 , y a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. es de 0.934 . El caucho bruto deshelado después de la masticación por cilindros fríos no varía de densidad. Cuando el caucho bruto ha sido estirado y deformado durante algún tiempo, no vuelve completamente a su estado original. Si entonces se calienta, la recuperación es mayor que a la temperatura ordinaria. Este fenómeno se denomina deformación residual o estiramiento permanente y es propio del caucho.-

El rodado, además se ve provisto de un sistema de frenos de tipo Cantilever , que se basa en la absorción de energía cinética por rozamiento y la transformación de la misma en calor. Su accionamiento debe tender a detener el vehículo en el menor tiempo y distancia posibles. Básicamente consiste en un cable que transmite la energía que se aplica al accionar la manilla de freno, a un sistema que aprieta el aro de la bicicleta por ambos lados mediante patines o pastillas, provocando que el roce frene la rueda. –

¹⁰Castro, G. (2008). *Materiales y compuestos para la industria del neumático*

Sistemas de freno: Existen distintos sistemas de frenado, que se diferencian entre sí en el modo de producir la detención del vehículo. Podemos encontrar:

***Frenos mecánicos:** Consiste en el comando mecánico de los elementos de roce para lograr el frenado. Este comando puede ser de dos tipos: Comando mecánico por medio de piolas, en el que se consigue hacer actuar los elementos de roce, transmitiendo la fuerza de aplicación a través de piolas de acero y el comando mecánico por medio de varillas metálicas en el que se hace actuar los elementos de roce, transmitiendo la fuerza de aplicación a través de varillas de acero. Este sistema es apropiado para vehículos de menor peso.-

***Frenos Hidráulicos:** Aquellos que transmiten por medios hidráulicos el esfuerzo de frenado aplicado al pedal de freno. Su funcionamiento es el siguiente: La fuerza ejercida, por el conductor, sobre el pedal del freno es ampliada por un mecanismo llamado servofreno; que actúa sobre una bomba principal presionando el líquido hidráulico contenido en un depósito y a través de unas conducciones, metálicas y flexibles, llega hasta las ruedas, donde un bombín oprime, enérgicamente, las pastillas sobre el disco y las zapatas contra el tambor, reduciendo la velocidad del automóvil hasta su detención. Actualmente, los vehículos, llevan instalados un doble circuito, normalmente, en diagonal, como medida de seguridad, para evitar en caso de avería que el automóvil se quede sin freno. Así un circuito frena las ruedas delantera derecha y trasera izquierda y el otro la delantera izquierda y la trasera derecha. Este sistema de freno es el que se suele utilizar en automóviles.-

***Frenos Neumáticos:** Sistema de frenos que para transmitir la fuerza de frenado aplicada al pedal de freno, ocupa aire comprimido a una presión cierta, la que actúa sobre los elementos de frenado. Funcionamiento: Un compresor, ubicado en el compartimiento del motor y accionado por éste por medio de una correa, coge el aire de la atmósfera y lo almacena en un depósito general distribuyéndolo, comprimido, a través de una válvula de cuatro vías a otros depósitos auxiliares siendo utilizados por: los frenos delanteros, traseros, de estacionamiento, del remolque, órganos de la dirección, embrague, suspensión neumática y caja de velocidades. El conductor, al pisar el pedal del freno acciona una válvula que lanza el aire comprimido por un doble circuito a las ruedas delanteras y traseras; donde un cilindro o pulmón, que consta de un resorte y una

varilla empujadora, al recibir el aire a presión, en el interior de la cámara, lanza hacia delante la varilla empujadora que acciona la palanca del freno abriendo las zapatas, frenando el vehículo al rozar sus forros contra el tambor de la rueda. Un manómetro, instalado en el panel de instrumentos, informa por medio de una aguja al conductor de la presión de aire en los depósitos; también va provisto de un indicador luminoso y cuando la presión descendiendo de los valores mínimos se conecta una señal acústica. Se utiliza en camiones y vehículos de gran porte.-

2. Siniestrología:

Frenado: El frenado consiste en la disminución de la velocidad o la detención de la marcha de un vehículo que se halla en movimiento o para mantenerlo inmóvil cuando se encuentra detenido. Se realiza por medio de un pedal, que es accionado a voluntad por el conductor haciendo actuar de esta manera la fuerza de frenado.-

Durante el proceso de frenado de un vehículo, el mismo sufre una transferencia dinámica de los pesos hacia la parte anterior; es por ello que el esfuerzo del conductor sobre el pedal, ampliado por el sistema de frenos no se transmite de igual modo al eje delantero que al trasero, siendo los delanteros siempre de mayor dimensión a los traseros.-

Durante la frenada se produce una gran transformación energética con gran desprendimiento de calor, el cual debe ser evacuado rápidamente para evitar el fenómeno de fadding o sobrecalentamiento de los elementos mecánicos que componen el sistema, pudiendo los discos deformarse, las pastillas cristalizarse y el líquido de freno perder su propiedad (la incomprensibilidad), formándose burbujas dentro de los conductos.-

La eficacia de la frenada depende además de las superficies de contacto donde se concentrará la fricción, siendo fundamentales la medida del disco y pastillas y la distancia entre la rueda y el disco de freno, ya que cuando mayor sea esta distancia, es

más fácil que se produzcan desequilibrios en la dirección durante el proceso de frenado.-

Huella de frenado o huella patentizada: Irureta, (2003)¹¹ explica que:

“la huella de frenado se produce por el bloqueo de las ruedas, generando que los neumáticos realicen contacto permanentemente en la misma zona de la banda de rodadura, formando virtualmente que la energía cinética que durante el frenado se transforma en trabajo, se convierta en calor en las zonas de contacto del neumático y la superficie de la vía.-

Este calor localizado provoca un incremento sensible de la temperatura en la zona, llegándose a ablandar el compuesto de caucho del neumático, y ante la abrasión a que está sometido se desprenden partículas del mismo, depositándose sobre el pavimento. Tal depósito continúa mientras la energía transferida sea suficiente para producir el fenómeno antes descrito, marcándose así las llamadas huellas de frenado.

En la práctica, la huella de frenado se inicia muy poco antes del bloqueo total de las ruedas (menos de una décima de segundo), por lo que se comete un error trascendente al considerar que ocurren simultáneamente.-

Otra cuestión que suele provocar indeterminación es la longitud real de la huella de frenado visible, ya que suele ser muy difícil discriminar cual es la huella que corresponde solo a neumáticos delanteros y cual a la superposición de delanteros y traseros. Esto ha sido salvado por los estudios de Brown y Guenther, que determinaron que no se incurre en un error significativo si se considera la longitud total de la huella de frenado nítidamente visible, es decir sin discriminar huellas simples o superpuestas”.-

Huella no patentizada: Las huellas de frenado comienzan gradualmente, siendo su inicio real de muy difícil determinación, de modo que antes de comenzar las huellas

¹¹Irureta, V. (2003). *Accidentología Vial y Pericia*.

nítidas siempre existe una huella difusa (shadow marks) o huella no patentizada, cuyo principio es incierto y que se va acentuando en nitidez hasta convertirse sin solución de continuidad en huella claramente visible.-

La longitud de esta huella difusa depende de la potencia con que se hayan aplicado los frenos y puede ser de longitud significativa.-

Los estudios de Reed y Keskin han determinado que desde que se empieza a accionar el freno hasta que los neumáticos dejan huellas de frenado claramente visibles, se disipa entre el 15 % y el 30 % de la energía cinética inicial en automóviles, teniendo en cuenta lo cual, la indeterminación sobre el inicio real de la frenada queda salvada.-

Distancia total de detención: sumatoria de la distancia de **huella patentizada** y la **distancia no patentizada**.-

Hormigón: Tipo de calzada fabricada con una mezcla de piedra (grava), arena y cemento que se caracteriza por ser rígida, menos rugosa y más adherente que otro tipo de calzada.-

Prueba o ensayo dinámico de frenado: Es un estudio que se realiza para investigar el coeficiente de rozamiento que le imprime un tipo de calzada específica (hormigón, asfalto, tierra), en determinadas condiciones (seco, mojado) a determinado tipo de rodado, en este caso es el coeficiente bicimotor-hormigón seco. Irureta¹²(2003), recomienda, “*en cada caso hacer ensayos de frenado en el mismo sitio del accidente, bajo condiciones atmosféricas análogas y con el mismo rodado, circulando a velocidades predeterminadas, para luego medir la distancia de parada. Deben realizarse varios ensayos y adoptarse el μ medio*”.(pág.90)

Continúa: “*En ningún caso medir solo las huellas de frenado ya que las mismas aparecen visibles muy poco antes del bloqueo, el que en auto acaece alrededor de 0.5 s luego del comienzo de aplicación de los frenos, lo que representa una disipación de entre 15 % y 30 % de la inicial*.-

¹²Irureta, V. (2003). *Accidentología Vial y Pericia*.

De todos modos, realizando los cálculos adecuados se puede verificar que al cometer un error en la adopción del coeficiente de rozamiento, se provoca un error en la determinación de la velocidad, cuyo valor es la mitad del error porcentual inicial. Es decir, si tomamos μ con un error del 10 % respecto del real, la velocidad que obtendremos será diferente de la real en solo un 5 %”.-

El Frenado de tipo **Panic Stop**, es aquel que se realiza al apretar los frenos hasta su máxima potencia, es decir “clavándolos”. Este tipo de frenada reduce la eficiencia del frenado y disminuye las fuerzas de guías laterales.-

3. Física:

Coeficiente de rozamiento o fricción: El rozamiento puede definirse como la fuerza (F_e) que se opone al movimiento entre dos superficies o entre dos objetos en contacto, esta fuerza es siempre paralela a las superficies en contacto.-

Estando en reposo el cuerpo, las irregularidades de la superficie se encastran con las irregularidades de la superficie en que se apoya. Luego de iniciado el movimiento, la fuerza (F) necesaria para mantenerlo con velocidad uniforme es menor que la F_e -. F , es llamada resistencia por rozamiento dinámico o fricción. Es menor que F_e (rozamiento por adherencia) por cuanto una vez iniciado el movimiento relativo, las irregularidades de ambas superficies tienen peor encastre.-

Físicamente, el coeficiente de rozamiento (denotado por la letra μ) se define como la relación entre la fuerza que se opone al movimiento, F , y la fuerza normal perpendicular, N , que actúa entre dos superficies. En otras palabras μ , se puede expresar como:

$$\mu = F / N$$

El coeficiente de rozamiento se determina siempre de modo experimental, midiendo la Fuerza F necesaria para mover un objeto de peso desconocido sobre una superficie horizontal. -

Cuando un vehículo se encuentra en movimiento, se somete a diversas fuerzas, las cuales tienen su influencia en la dirección del desplazamiento, entre las que se encuentran:

- a. Las fuerzas de masa (fuerza de gravedad, inercia y centrífuga), fuerzas estas que actúan en el sentido de la dirección de movimiento del vehículo.
- b. Las fuerzas naturales, perturbadoras y extrañas (fuerzas del viento).

Además existen fuerzas de la superficie de rodamiento (calzada, terreno), que actúan sobre la superficie de apoyo de las ruedas, en acción simultánea entre la rueda y el piso por medio de la cual es transmitida a los rodamientos. Las fuerzas que actúan sobre el vehículo se llaman fuerzas resultantes. En la superficie de contacto de una rueda cargada con un peso ($P = \text{kg}$), existe una fuerza de fricción (R) igual a:

$$R = \mu \cdot P$$

Donde:

R = Fuerza de fricción

μ = coeficiente de fricción

P = peso (en kilogramos)

La influencia del coeficiente de fricción es decisiva. La cual depende de la superficie de rodamiento, de los neumáticos, del espacio entre ruedas, y de la velocidad. Los diferentes tipos de coeficiente de rozamiento $f = \mu$, entre las llantas del vehículo y el piso, depende del estado y clase de la vía o (seca o húmeda) y de otros tipos de terrenos.-

Propiedades:

- La fuerza de rozamiento se opone al movimiento de un bloque que desliza sobre un plano.
- La fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza normal (Peso) que ejerce el plano sobre el bloque.
- La fuerza de rozamiento no depende del área aparente de contacto.
- La fuerza de rozamiento no varía con la velocidad de desplazamiento, una vez que el bloque se puso en movimiento (El valor de μ es prácticamente independiente del valor

de la velocidad para velocidades relativamente pequeñas entre las superficies, y decrece lentamente cuando el valor de la velocidad aumenta).-

La *Ecuación fundamental*, parte del Principio General de Conservación de la Energía: “la pérdida de energía cinética del vehículo se debe al trabajo realizado por la fuerza de rozamiento a lo largo de la distancia de frenado”, a un vehículo que circula inicialmente a una velocidad v y se detiene tras dejar d metros de huella de frenado sobre una vía horizontal, se obtiene la ecuación fundamental del cálculo de velocidad:

$$\begin{aligned}
 & - E_c = W_r \\
 & - (E_{cf} - E_{ci}) = F_r \cdot d \\
 & - (0 - 1/2 \cdot m \cdot v^2) = \mu \cdot P \cdot d \\
 & 1/2 \cdot m \cdot v^2 = \mu \cdot m \cdot g \cdot d \\
 & 1/2 \cdot v^2 = \mu \cdot g \cdot d \\
 & v = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d}
 \end{aligned}$$

E_c : Energía Cinética

W_r : Trabajo de rozamiento

F_r : Fuerza de rozamiento

P : Fuerza normal al plano (sobre un plano horizontal $N = \text{Peso del cuerpo}$)

d : distancia de frenado

m : masa

v : velocidad

μ : coeficiente de rozamiento

Despejando, el coeficiente de fricción queda de la siguiente manera:

$$\mu = v^2 / 2 \cdot g \cdot d$$



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

1. TIPO DE ESTUDIO O DISEÑO

Esta tesina se realizó con un método cuantitativo y un diseño experimental de recopilación de datos, que es aquel en que se manipulan deliberadamente una o más variables independientes (supuestas causas) para analizar las consecuencias de esa manipulación sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos) dentro de una situación de control.-

La investigación tiene un alcance descriptivo cuantitativo, ya que tiene por objeto esencial examinar un tema o problema poco estudiado o instruido. Para la ciencia Criminalística este tema es muy escaso ya que el estudiado es un tipo de vehículo cuya comercialización y uso ha crecido considerablemente en los últimos años en la provincia de Mendoza, por lo tanto, se carece de experimentaciones que permitan suponer el desempeño de ellos en una situación dinámica ideal o real.-

2. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

Distancia total de detención: sumatoria de la distancia de huella patentizada y la distancia no patentizada. Operacionalmente: longitud desde la referencia R, hasta el piñón trasero del vehículo en su posición final.-

Huella de frenado o huella patentizada: abarca desde el primer depósito de caucho visible en la calzada hasta su posterior aumento de cantidad y finalmente el último rastro apreciable.-

Huella no patentizada: la huella difusa (shadow marks) con poca nitidez. Operacionalmente: la diferencia entre la distancia de la huella patentizada y la distancia total de detención.-

Coefficiente de rozamiento (μ): es el valor que nos indica el grado en que dos superficies rozan entre sí. Operacionalmente: es el valor calculado a través de la aplicación de la Ecuación Fundamental, utilizando las distancias de detención obtenidas a través de ensayos de frenado y la velocidad real de circulación (20 km/h y 25Km/h).-

3. SELECCIÓN DE ELEMENTOS

- **Vehículo:** Bicimoto marca “BiciMotors”, rodado 26 , modelo 2012. Excelente estado de conservación. Se le colocó un dispositivo de bulbo de stop, cuya función es la de encender una luz roja trasera en el momento en el que se accione el freno.
- **Dispositivo controlador de velocidad:** Global Positioning System (GPS) marca Garmin, modelo Nuvi 205.
- **Regla:** Se confeccionó una regla de cartón de tres metros de largo y 70 cm de alto que poseía una pestaña en cada extremo con el objetivo de pararla sobre la calzada de modo que la graduación impresa en la superficie fuera perpendicular a la calzada.-
- **Cámara filmadora y fotográfica:** Olympus SP 565.-
- **Calzada:** El lugar del ensayo fue una playa de estacionamiento vacía que poseía carpeta de hormigón en buen estado de conservación y limpieza.-
- **Conductor:** El conductor fue instruido para la realización de estos ensayos. Su peso es de aproximadamente 53 kilos.-

4. **EXPLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

Lo primero a realizar para la investigación fue confrontar la velocidad indicada en el GPS, con la dada por un velocímetro ubicado en vehículo automotor VW Gol. Para ello se realizó lo siguiente: Se circuló con el vehículo antes mencionado a distintas velocidades, entre 10 Km/h y 90 Km/h y se constataba periódicamente a medida que se variaba la velocidad, que hubiera coincidencia entre las velocidades indicadas.-

Se determinó que el GPS estaba calibrado respecto del vehículo.-

Gráfica n°1:Comparación de velocidades GPS – Velocímetro

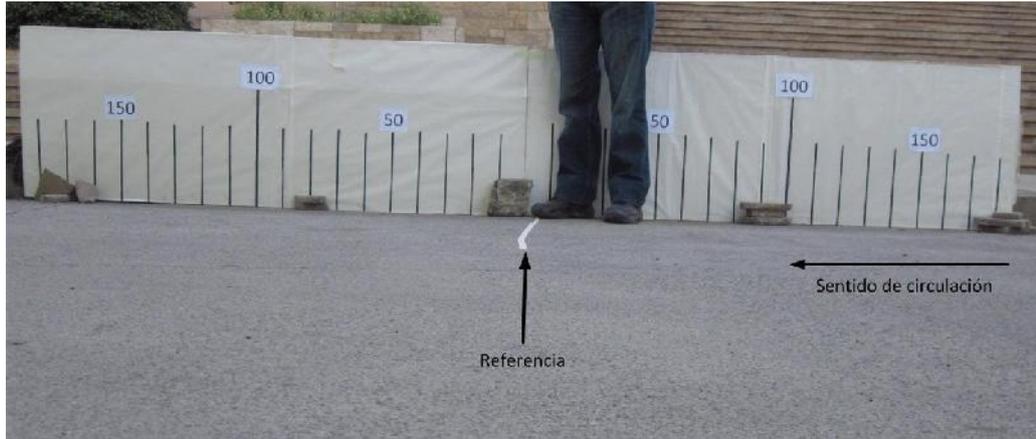


En el lugar del ensayo se colocó la regla en sentido paralelo a la calzada donde se iban a realizar las frenadas.-

Se situó una cámara filmadora Olympus sobre un trípode de pie a 1 metro de altura y se lo posicionó a dos metros de la regla, perpendicular al cero de la graduación. De esta manera, captaba a la misma en una panorámica total de frente que permitía filmar una toma de toda la frenada, desde su comienzo hasta su final.-

Una vez ubicado el medio de captura, se estableció la superficie de circulación entre la cámara fotográfica y la regla (paralela a ella) y se colocó en la misma una referencia (llamada R en adelante) que indicaba al conductor en donde iniciar el frenado y que a su vez correspondía con el comienzo de la graduación de la regla.-

Gráfica n° 2: Demostración sentido de circulación y referencia.



Se hizo circular la bicimoto por la superficie de circulación con el bulbo de stop virado de frente hacia la cámara filmadora. Al alcanzar la velocidad de 20 km/h y llegado al punto R, se realizó una frenada “panic stop”, es decir, con ambos frenos a la vez y sin soltarlos.-

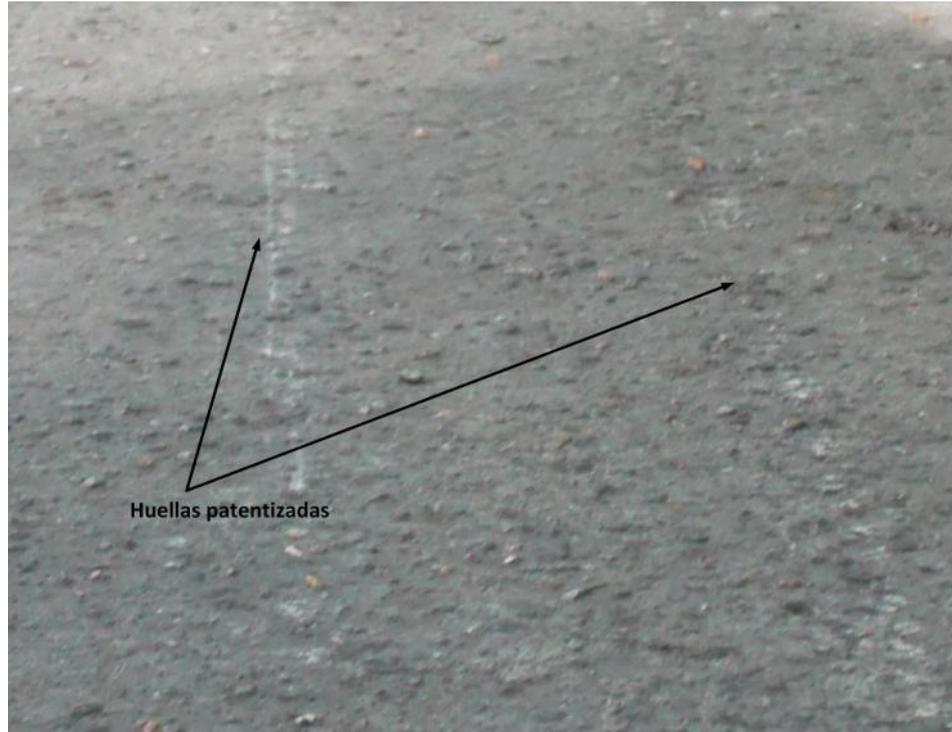
Una vez decelerado totalmente el vehículo, se conservó la posición final del mismo y se procedió a medir y anotar los resultados. Se midió la longitud de la **huella patentizada** y la **distancia total de la detención**. -

Dado que la huella no patentizada es la diferencia entre la **distancia total de detención** y la **huella patentizada**, se obtiene, de esta sencilla resta el valor de la misma.-

Cabe destacar que una precaución que se tomó entre una prueba y otra era el control de la temperatura de la cubierta y pastillas de freno. Antes de comenzar a frenar, se midió con un termómetro digital la temperatura de los neumáticos, que rondaba los 25°C y luego de ello, aumentaba a 34°C, por ello se estableció un lapso de descanso y enfriamiento de 5 minutos con el fin de que no se sobrecalentara, ya que este es un factor que afecta al largo de la huella patentizada incrementándola.-

Al momento de realizar las pruebas, la temperatura ambiente era de 26° C.-

Gráfica n° 3: Huellas de frenado patentizadas



5. MUESTRA

Este procedimiento se realizó veinte veces, procurando que las huellas de frenado no se superpusieran unas con otras; para ello el conductor intentó variar por unos pocos centímetros su posición en la carpeta hormigonada, sin afectar esto al ensayo ya que se mantuvo en la misma superficie de circulación.-

Este ensayo se reprodujo nuevamente bajo las mismas condiciones a una velocidad de 25 km/h en un total de 20 repeticiones más.-

Las variables seleccionadas para la investigación se eligieron de acuerdo a la velocidad posible de adquirir sin que se pierda la estabilidad de la circulación y a su

vez, ajustándola a la permitida por la ley en zonas urbanas; estableciendo como velocidades de ensayo 20 km/h y 25 km/h.-



CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE DATOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. RESULTADOS

A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos en el ensayo y el posterior cálculo del porcentaje de huella no patentizada:

Se calculó el valor del porcentaje de cada huella no patentizada con respecto a la distancia total de detención. Así, por ejemplo: en el caso de la frenada 1 a 20km/h, la distancia total de detención es de 204 cm, lo que corresponde al 100% de la frenada, por lo tanto, la distancia no patentizada, que es de 55 cm, corresponde a un 26.96% de la distancia total ($55 * 100 / 204$).

Tabla n° 1: Resultados ensayo de frenado a una velocidad de 20 km/h

Ensayo dinámico de frenado				
Velocidad: 20 km/h	Distancia total de detención (cm)	Distancia patentizada (cm)	Distancia no patentizada (cm)	Porcentaje no patentizado (%)
Frenada 1	204	149	55	26,96
Frenada 2	173	89	84	48,55
Frenada 3	130	92	38	29,23
Frenada 4	150	80	70	46,66
Frenada 5	172	134	38	22,09
Frenada 6	182	182	0	0
Frenada 7	208	120	88	42,3
Frenada 8	177	94	83	46,89
Frenada 9	165	59	106	64,24
Frenada 10	194	116	78	40,2
Frenada 11	189	87	102	53,96
Frenada 12	171	94	77	45,02
Frenada 13	260	143	117	45
Frenada 14	137	84	53	38,68
Frenada 15	170	89	81	47,64
Frenada 16	189	110	79	41,79
Frenada 17	198	102	96	48,48
Frenada 18	171	89	82	47,95
Frenada 19	246	110	136	55,28
Frenada 20	235	119	116	49,36

Fuente: Ensayos realizados en investigación

Tabla n° 2: Resultados ensayo de frenado a una velocidad de 25 km/h

Ensayo dinámico de frenado				
Velocidad: 25 km/h	Distancia total de detención (cm)	Distancia patentizada (cm)	Distancia no patentizada (cm)	Porcentaje no patentizado (%)
Frenada 1	288	45	243	84,37
Frenada 2	380	167	213	56,05
Frenada 3	297	203	94	31,64
Frenada 4	217	185	32	43,55
Frenada 5	326	184	142	43,55
Frenada 6	329	180	149	45,28
Frenada 7	295	162	133	45,08
Frenada 8	278	141	137	49,28
Frenada 9	379	220	159	41,95
Frenada 10	292	203	89	30,47
Frenada 11	312	104	208	66,66
Frenada 12	320	180	140	43,75
Frenada 13	290	150	140	48,27
Frenada 14	280	152	128	45,71
Frenada 15	402	147	255	63,43
Frenada 16	247	28	219	88,66
Frenada 17	297	200	97	32,65
Frenada 18	203	143	60	29,55
Frenada 19	310	176	134	43,22
Frenada 20	243	140	103	42,38

Fuente: Ensayos realizados en investigación

Como se puede apreciar en las tablas, los resultados obtenidos presentan una amplia diferencia entre las magnitudes de los valores mínimos y máximos obtenidos en cuanto a la distancia total de detención.-

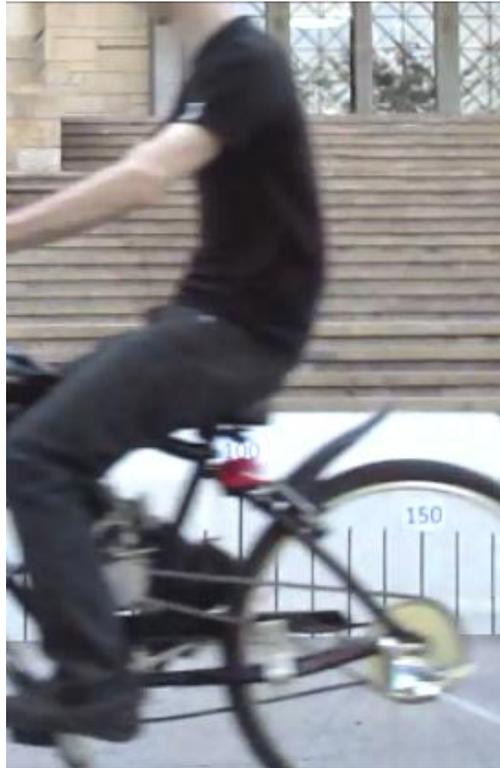
Esto se le atribuye al error humano, ya que, siendo el conductor el que acciona el manillar del freno, no en todas las ocasiones lo realiza con la misma intensidad, y esto se traduce mecánicamente a una disminución o aumento de la eficacia del frenado.-

2. ANÁLISIS

Para realizar el análisis de los videos se trabajó con el programa Windows Live Movie Maker. Se observó cada uno de los videos cuadro por cuadro hasta detectar aquel en el que se encendía el bulbo de stop. Detectado esto, se tomó una instantánea del último cuadro en el que se encontraba apagado (en adelante instantánea 1) y el primero en el que se encendía (en adelante instantánea 2). Se registró el tiempo total del video y los segundos exactos de cada instantánea. Para una mejor visualización de las imágenes, se le aplicó a las instantáneas 1 y 2 modificaciones en el brillo o el contraste según fuera necesario pero teniendo en cuenta asignarles a ambas el mismo valor.-

Gráfica nº4 : Análisis de video de frenada 1 a20 Km/h .

Instantánea 1(bulbo apagado)



**Gráfica nº5 : Análisis de video de frenada 1 a20 Km/h .
Instantánea 2(bulbo encendido)**



Una vez determinado el instante en el que se encendía el bulbo de stop se hizo necesario situar el vehículo con respecto a la regla con el objetivo de corregir el error humano que se puede producir al comenzar a frenar fuera del parámetro de la Referencia. Para determinar este posible error, se debe cuantificar la diferencia en centímetros. Para ello se observó las instantáneas donde fehacientemente se encendió el bulbo de stop, se observó cuántos centímetros estaba desplazada la bicimoto al momento del comienzo de la frenada con respecto a la graduación de la regla; utilizando para ello el eje delantero o el trasero, según fuera más conveniente y consignándolo.-

Gráfica nº 6: Detección del error en frenada 2 a20 Km/h



Realizando este análisis en cada uno de las frenadas, se conforma una tabla en donde se consignan los errores en centímetros observados.-

Tabla n° 3: Consignación de errores de frenado a 20 Km/h

Velocidad 20 Km/h	Video	Duración (seg)	Instantánea 1 (seg)	Instantánea 2 (Seg)	Posición del piñón con respecto a la referencia (cm)
1	1129	3,17	2,82	2,86	Delantero +60
2	1130	7,09	5,82	5,85	Delantero -60
3	1132	9,26	7,62	7,65	Delantero -50
4	1133	6,76	5,34	5,37	Delantero +30
5	1134	8,93	7,28	7,3	Delantero -60
6	1135	7,92	6,39	6,45	Delantero 0
7	1137	11,01	7,81	7,87	Delantero -30
8	1138	8,68	7,14	7,18	Delantero +20
9	1139	8,22	6,65	6,72	Delantero +10
10	1141	11,68	9,91	9,98	Delantero +50
11	1142	8,13	6,83	6,87	Delantero +50
12	1143	8,47	7,56	7,6	Delantero -60
13	1144	10,39	8,66	8,72	Trasero -90
14	1145	9,34	7,5	7,58	Delantero +50
15	1148	9,84	8,11	8,18	Delantero + 30
16	1149	8,38	6,15	6,18	Delantero -10
17	1151	9,38	7,91	7,95	Delantero -20
18	1152	8,68	7,34	7,44	Delantero +90
19	1153	8,63	7,01	7,07	Delantero 0
20	11,54	9,22	7,56	7,62	Delantero +10

Fuente: Ensayos realizados en investigación

Tabla n° 4: Consignación de errores de frenado a 25 Km/h.

Velocidad 25 Km/h	Video	Duración (seg)	Instantánea 1 (seg)	Instantánea 2 (Seg)	Posición del piñón con respecto a la referencia (cm)
1	1155	4,09	3,18	3,21	Delantero -10
2	1156	6,59	5,25	5,32	Delantero +60
3	1157	10,26	9,31	9,36	Delantero +40
4	1158	8,38	6,31	6,35	Delantero +70
5	1159	6,8	5,37	5,4	Delantero +30
6	1161	5,42	3,79	3,82	Delantero +40
7	1162	7,97	5,91	5,93	Delantero -20
8	1163	8,68	7,08	7,11	Delantero +70
9	1165	8,09	6,27	6,32	Delantero 0
10	1166	11,14	5,27	5,3	Delantero +30
11	1170	6,92	4,52	4,56	Delantero 0
12	1171	11,01	9,31	9,34	Delantero +80
13	1172	5,63	4,87	4,9	Delantero +40
14	1173	5,38	4,75	4,78	Delantero -30
15	1175	5,59	3,83	3,86	Delantero +40
16	1177	7,42	5,92	5,99	Delantero +20
17	1178	11,39	9,4	9,45	Delantero 0
18	1179	8,68	6,73	6,78	Delantero +40
19	1181	9,34	7,5	7,54	Delantero 0
20	1182	7,13	4,28	4,3	Delantero -20

Fuente: Ensayos realizados en investigación

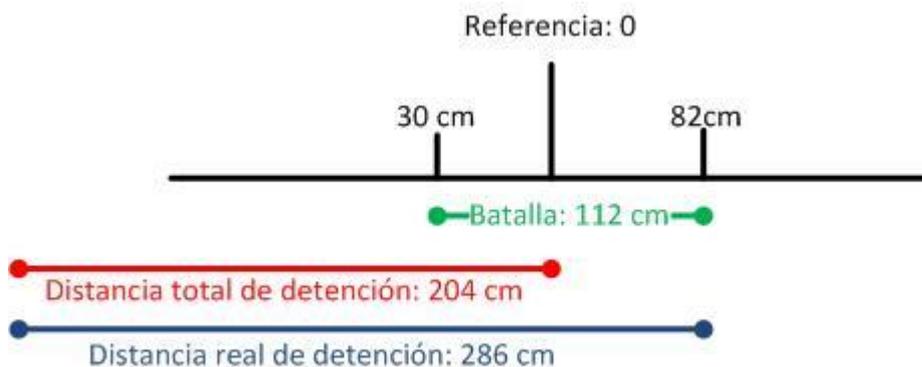
Finalmente, sabiendo la cantidad de centímetros antes o después de la referencia que se ubica el eje elegido, y sabiendo, además que el radio de batalla de la bicimoto (distancia entre eje y piñón trasero) es de 112 cm; se debe sumar o restar esos centímetros a la distancia total de detención y confeccionar nuevamente una tabla de resultados válida, que solucione los errores. Vale aclarar que la longitud de la *huella patentizada* no se ve afectada por los factores anteriormente mencionados pero si lo hace la *huella no patentizada*.-

Así, por ejemplo, se toma la frenada 1 a 20 km/h:

La *distancia total de detención* en este caso es de 204 cm; y al momento de comenzar a frenar, el eje delantero estaba 30 cm hacia adelante del punto R, lo que significa que el piñón trasero se hallaba 82 cm por detrás de la referencia (considerando

el sentido de circulación). De aquí se desprende que el vehículo comenzó a frenar 82 cm antes del punto R y finalizó 204 cm después; por lo tanto, tuvo una distancia total de detención de 286 cm (204 cm +82cm).-

Gráfica n° 7: Distancia real de detención frenada a 20 Km/h



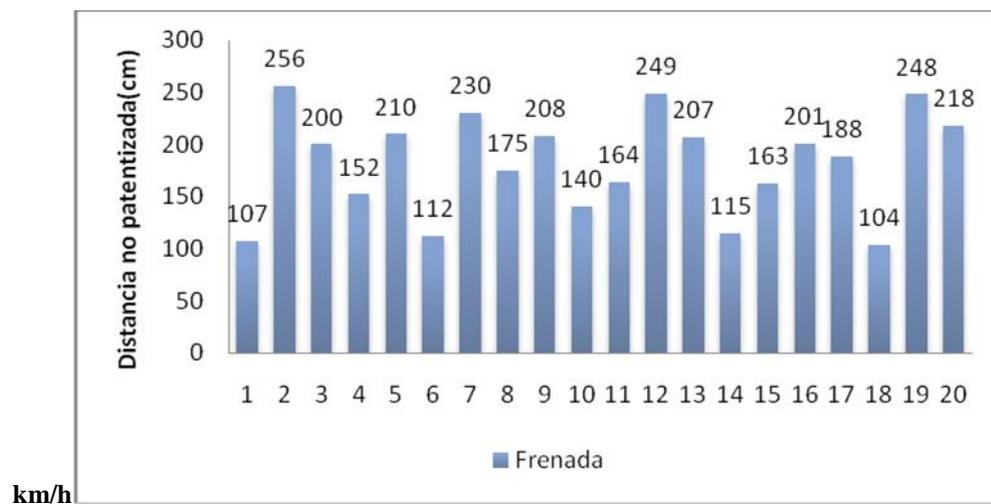
Se observan a continuación las tablas que indican las distancias totales de detención considerando la situación del vehículo al comienzo del frenado y las distancias de *huella no patentizada*. En el análisis de datos, se empleó la aproximación de los valores para un más cómodo manejo de los mismos. Se disminuirán los valores al entero inferior cuando el valor del decimal sea inferior a 0.5, se mantendrán en el caso de que el decimal sea de 0.5 y se aumentarán al entero superior cuando el valor del decimal supere los 0.5.

Tabla n° 5: Distancias considerando la situación del vehículo respecto de la referencia a 20 Km/h

Velocidad: 20 Km/h	Distancia total de detención (cm)	Distancia patentizada (cm)	Distancia no patentizada (cm)	Porcentaje no patentizado (%)
1	256	149	107	42
2	345	89	256	74
3	292	92	200	68,5
4	232	80	152	65,5
5	344	134	210	61
6	294	182	112	38
7	350	120	230	66
8	269	94	175	65
9	267	59	208	78
10	256	116	140	55
11	251	87	164	65
12	343	94	249	73
13	350	143	207	59
14	199	84	115	58
15	252	89	163	65
16	311	110	201	65
17	290	102	188	65
18	193	89	104	54
19	358	110	248	69
20	337	119	218	65
Porcentaje mediano				65

Fuente: Ensayos realizados en investigación

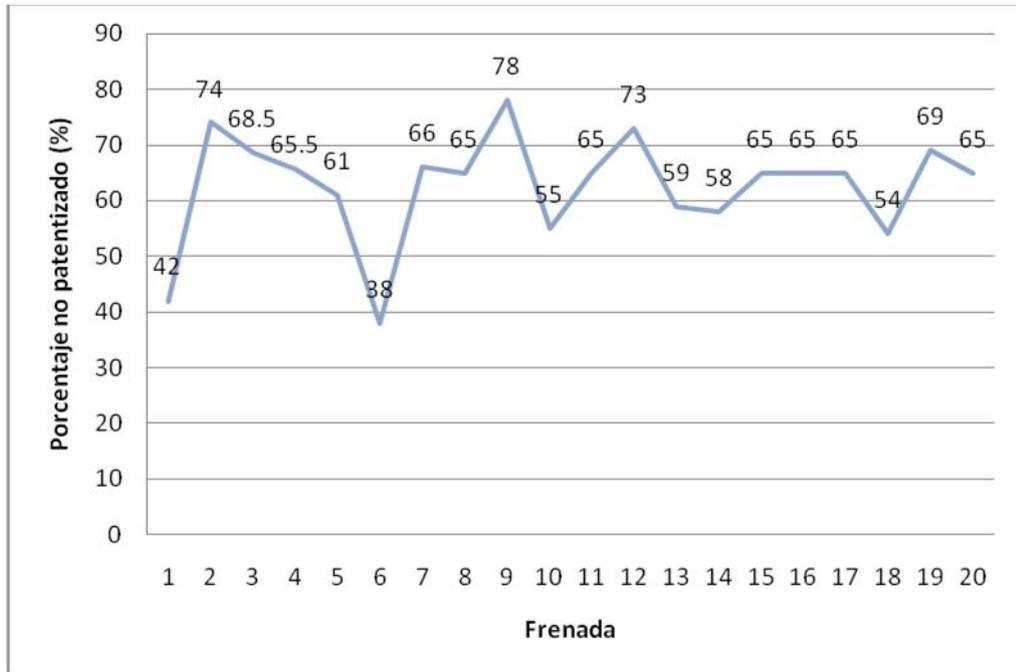
Gráfica n° 8: Distancias de huellas no patentizada a 20



Fuente: Ensayos realizados en investigación

Se trabajaron los datos con la mediana estadística ya que de esta manera, los resultados obtenidos no se ven afectados por los valores extremos. Se analizaron los datos sin agruparlos y se obtuvo que el porcentaje mediano de la huella que no se patentiza a 20 Km/h es de 65 %, es decir que el porcentaje patentizado es del 35 %.-

Gráfica n° 9: Porcentaje mediano de huella no patentizada a 20 Km/h



Fuente: Ensayos realizados en investigación

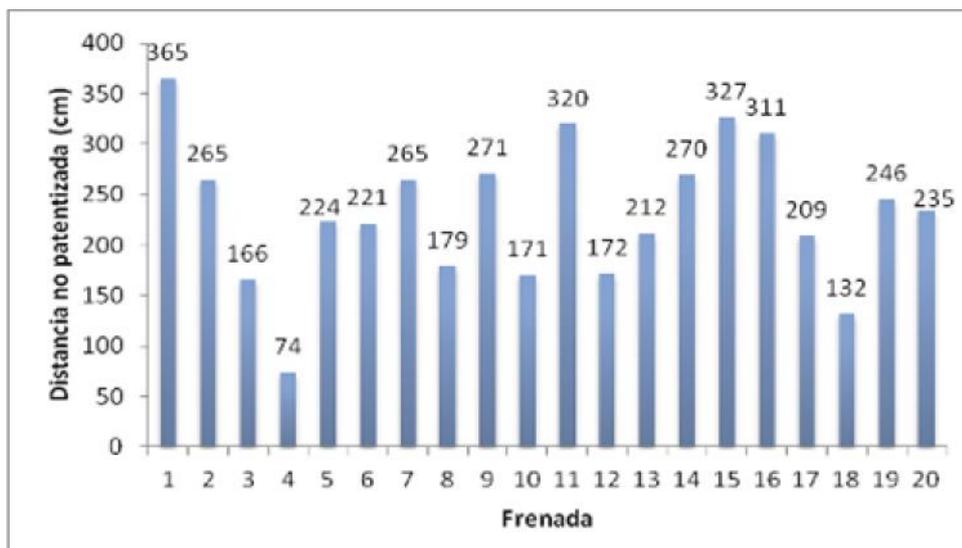
A continuación se presentan los resultados obtenidos en los ensayos a 25Km/h. En el análisis de los datos nuevamente se trabajará con la aproximación numérica de los decimales a los enteros más cercanos:

Tabla n° 6: Distancias considerando la situación del vehículo respecto de la referencia a 25 Km/h.

Velocidad: 25 Km/h	Distancia total de detención (cm)	Distancia patentizada (cm)	Distancia no patentizada (cm)	Porcentaje no patentizado (%)
1	410	45	365	89
2	432	167	265	61
3	369	203	166	45
4	259	185	74	28,5
5	408	184	224	55
6	401	180	221	55
7	427	162	265	62
8	320	141	179	56
9	491	220	271	55
10	374	203	171	46
11	424	104	320	75
12	352	180	172	49
13	362	150	212	58,5
14	422	152	270	64
15	474	147	327	69
16	339	28	311	92
17	409	200	209	51
18	275	143	132	48
19	422	176	246	58
20	375	140	235	63
Porcentaje mediano				57

Fuente: Ensayos realizados en investigación

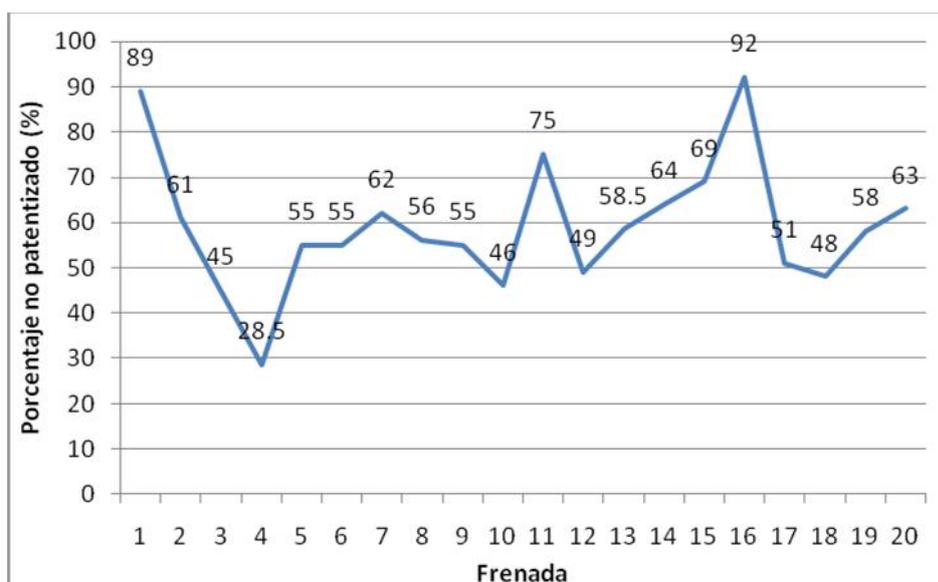
Gráfica n° 10: Distancias de huellas no patentizada a 25 Km/h



Fuente: Ensayos realizados en investigación

Se trabajaron los datos con la mediana estadística ya que de esta manera, los resultados obtenidos no se ven afectados por los valores extremos. Se analizaron los datos sin agruparlos y se obtuvo que el porcentaje mediano de la huella que no se patentiza a 25 Km/h es de 57%, es decir que el total patentizado es del 43 %.-

Gráfica n° 11: Porcentaje mediano de huella no patentizada a 25 Km/h



Fuente: Ensayos realizados en investigación

3. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO BICIMOTO-HORMIGÓN

Para realizar este cálculo, se debe aplicar *ecuación fundamental*, en este caso, generando un promedio de las distancias de *huella patentizadas* y reemplazando dicho valor en la ecuación ($V_{\text{mín}} = 2 \cdot \mu \cdot g \cdot d$), por lo que, conociendo la velocidad de circulación (20km/h), solo queda despejar de la fórmula el coeficiente de fricción:

$$\mu = v^2 / 2 \cdot g \cdot d$$

Considerando los ensayos realizados a 20 Km/h se obtiene que la mediana de las huellas patentizadas es de 98 cm, lo que equivale a 0.98m. Por otro lado, la velocidad de circulación es de 5.55 m/s y la aceleración de la gravedad de 9.8 m/s².

Al reemplazar dichos valores en la fórmula se obtiene que el coeficiente de rozamiento de la bicimoto en calzada de hormigón seco es de 1.57 (adimensional).

$$\mu = (5.5 \text{ m/s})^2 / 2 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.98 \text{ m}$$

$$\mu = 1.57$$

Si se aplica la lógica de que la mediana de la huella que se patentiza es solo el 35% de la distancia total de detención, entonces se debe proceder con el siguiente cálculo:

$$35\% \text{ -----} 0.98 \text{ m.}$$

$$100\% \text{ -----} x = 2.8 \text{ m.}$$

Considerando ahora que el 100 % de las distancias es de 2.8 m; y realizando nuevamente el cálculo se consigue un valor de coeficiente de rozamiento de 0.55.

$$\mu = (5.5 \text{ m/s})^2 / 2 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 2.80 \text{ m}$$

$$\mu = 0.55$$

Considerando los ensayos realizados a 25 Km/h se obtiene que la mediana de las huellas patentizadas es de 164.5 cm, lo que equivale a 1.645m. Por otro lado, la velocidad de circulación es de 6.94 m/s y la aceleración de la gravedad de 9.8 m/s².

Al reemplazar dichos valores en la fórmula se obtiene que el coeficiente de rozamiento de la bicimoto en calzada de hormigón seco es de 1.49 (adimensional).

$$\mu = (6.94 \text{ m/s})^2 / 2 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1.645 \text{ m}$$

$$\mu = 1.49$$

Si se aplica la lógica de que la mediana de la huella que se patentiza es solo el 43% de la distancia total de detención, entonces se debe proceder con el siguiente cálculo:

43% -----1.645 m.

100 %-----x= 3.82 m.

Considerando ahora que el 100 % de las distancias es de 3.82 m; y realizando nuevamente el cálculo se consigue un valor de coeficiente de rozamiento de 0.64.-

$$\mu = (6.94 \text{ m/s})^2 / 2 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 3.82 \text{ m}$$

$$\mu = 0.64$$



CAPÍTULO VI

CONCLUSIÓN

El valor estimado del porcentaje de huella no patentizada es del 15% al 30%, esto en vehículos automóviles, que constan de un sistema de frenos de tipo hidráulicos y que poseen un buen rendimiento en cuanto al frenado. Al proponer una hipótesis, tomé como referencia este porcentaje, pero al realizar una comparación de los porcentajes obtenidos en el ensayo (65% a 20 Km/h y 57% a 25 Km/h) se pudo apreciar una notoria diferencia en la estimación. Esto se puede deber a que la bicimoto está equipada con un sistema de frenos mecánicos, que poseen menor rendimiento que los de tipo hidráulico que se hallan en los automóviles.-

En cuanto al coeficiente de rozamiento se obtuvieron dos valores (0.55 a 20Km/h y 0.64 a 25 Km/h). Tal como apoyan los antecedentes, el valor de este coeficiente es independiente de la velocidad de circulación y se aprecia un ligero aumento del mismo a mayor velocidad.-

Siniestrológicamente: Al producirse el contacto entre las ruedas y la calzada, las ruedas se bloquean, y se producen varios fenómenos, entre ellos, la transformación de energía cinética en trabajo y la pérdida de calor. Esto hace que aumente la temperatura de los neumáticos y se desprenda caucho. Cuando el vehículo circula a menor velocidad, porta menor cantidad de energía cinética traduciéndose este fenómeno en una huella de frenado más corta.-

Al incrementar la velocidad de circulación, el intercambio de energía es mayor, generando una mayor pérdida de calor y fusión del caucho, por lo tanto, una huella patentizada más larga.-

Matemáticamente: se podría explicar ya que generalmente, al circular a mayor velocidad el vehículo, suele ser mayor la distancia de huella que patentiza (en situaciones dinámicas similares a las de ensayo), generando, por lógica una distancia de huella no patentizada menor.-

Si se tiene en cuenta que la distancia patentizada, en el cálculo a través de la Ecuación Fundamental se encuentra en el dividendo, esto genera un coeficiente de rozamiento menor mientras mayor esta distancia (y mayor es la velocidad).-

Se recomienda al investigar siniestros de tránsito y determinar la velocidad de circulación pre-impacto de una bicimoto a través de la Ecuación Universal, considerar esta diferencia entre el valor de la longitud de huella patentizada y el valor real de la misma.-

Por lo tanto, se puede determinar que, dado los resultados obtenidos en la investigación, la hipótesis propuesta en el Capítulo I queda refutada.-



CAPÍTULO VII

APORTES Y RECOMENDACIONES

Durante la investigación, surgieron determinados interrogantes, que podrían dar base a futuros estudios, tales como:

- Determinar la influencia del peso que transporta el vehículo en el porcentaje de la huella de frenado que queda patentizada.-
- Establecer el coeficiente de rozamiento entre la bicimoto y otro tipo de calzada.-
- Calcular el porcentaje de huella no patentizada con distintos tipos de calzadas y en diferentes condiciones.-
- Estudiar la huella de frenado produciendo una variación en la presión que se le aplica a la maneta del freno.-

Además, y luego de concluidos los ensayos se pueden arrojar ciertas recomendaciones:

- En el estudio de un siniestro en el que ha participado un vehículo como el estudiado, es de suma importancia realizar un ensayo dinámico de frenado, de ser posible, con el mismo vehículo y en condiciones ambientales y del entorno similares a las imperantes en el momento del hecho.-
- Considerar la modificación de los sistemas de freno con los que viene provisto el vehículo. Se ha observado que algunas bicicletas especializadas de montaña, de alta gama, se encuentran provistas de sistemas de freno hidráulicos, que producen un mejor y más rápido frenado. Estas condiciones se podrían implementar en las bicicletas con motor o bicimotos para mejorar la respuesta del sistema de freno, ya que tienen un alto alcance en cuanto a velocidad.-



CAPÍTULO VIII

BIBLIOGRAFÍA

1. **Carrión Nin, José Luis.** (1999). “*Proceso de fabricación de las llantas de caucho*”. Revista Industrial Data. Recuperado desde:

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v02_n2/proceso.htm

2. **Castro, Guillermo.** (2008). “*Materiales y compuestos para la industria del neumático*”. Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A. Recuperado desde: http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Materiales%20y%20Compuestos%20para%20la%20Industria%20de%20Neumatico.pdf

3. **Cleva, Mario.** (2000). “*Frenado de una motocicleta: análisis cinemático a partir de una técnica videográfica digital y su comparación con el análisis por huellas de frenado*”. Universidad Nacional del Nordeste.

4. **Enciso, Gustavo; Custidiano, Ernesto.** “*El Frenado y la Desaceleración en Motocicletas*”. Universidad Nacional del Nordeste

5. **Irureta, Victor.** (2003). “*Accidentología Vial y Pericia*”. Buenos Aires. Editorial La Rocca.

6. **Lemos, Julián; Molina María Cristina.**(2011). “ *Proyecto de ordenanza Expediente HCD-1452/2011*”. Bahía Blanca.-

7. **Martínez Lucía.** (2010). “*Influencia del desgaste del neumático en el cálculo de la velocidad*”. Universidad del Aconcagua.

8. **Miguel, J. L.** (2000). *Investigación sobre las fases de una frenada de emergencia*. Revista Centro Zaragoza. N°3, Enero/Marzo.

9. **Stannard Baker, Joseph.**(1975). “*Traffic Accident Investigation Manual*”. Editorial Northwestern University Traffic Institute.

10. **Tabasso, C.** (1998). “*Fundamentos del tránsito*”. Tomo 1. Editor B de F.-