



**Universidad del Aconcagua**

**Facultad de Psicología**

**Licenciatura en Criminalística**

**PROVINCIA DE MENDOZA – REPÚBLICA ARGENTINA**

18 de octubre de 2010

## **TESINA**

### **“INFLUENCIA DEL DESGASTE DEL NEUMATICO EN EL CALCULO DE VELOCIDAD”**

Autor

**LUCIA MARTINEZ**

Director

**Lic. JOSE VICTOR VEGA**

## HOJA DE EVALUACIÓN

TRIBUNAL:

PRESIDENTE:

VOCAL:

VOCAL:

## RESUMEN

A través de esta investigación se pretendió determinar la influencia del desgaste de los neumáticos de un automóvil en el cálculo de velocidad.

Con esta finalidad se realizaron ensayos de frenado con un vehículo Renault 11 utilizando neumáticos lisos por el desgaste y neumáticos nuevos, sobre calzada de asfalto seco, a una velocidad controlada de 40 km/h.

Mediante las distancias de detención obtenidas en las experiencias y la aplicación de la Ecuación Fundamental, se calcularon los coeficientes de rozamiento para neumáticos lisos y para neumáticos nuevos.

Utilizando la mencionada ecuación, se procedió a calcular la velocidad del vehículo empleado en los ensayos, teniendo en cuenta la distancia de detención obtenida con neumáticos lisos y el coeficiente de rozamiento obtenido con neumáticos nuevos.

Finalmente se determinó la variación porcentual producida entre la velocidad inicial calculada por aplicación de la Ecuación Fundamental y la velocidad inicial real, logrando de esta manera, cuantificar la influencia del desgaste en el cálculo de velocidad.

Como resultado del estudio se logró establecer que, en promedio la velocidad calculada varía respecto de la velocidad real  $\pm 3\%$ , que a una velocidad de 40 km/h, equivale a una diferencia de  $\pm 1$  km/h.

Además, se estableció una variación máxima entre ambas velocidades de  $\pm 7\%$ , equivalente a una diferencia de  $\pm 3$  km/h.

## SUMMARY

Trough this research was to determine the influence of wear on the tires of a car in the speed calculation.

To this end, braking tests was carried out with a Renault 11 vehicle using slick tires for wear and new tires on dry asphalt road, at a controlled speed of 40 km/h.

Using the stopping distances obtained on the experiences and the application of the fundamental equation, we calculated the coefficients of friction for smooth tires and new tires.

Using the above equation, we proceded to calculate the speed of the vehicle used in the trials, taking into account the obtained stopping distance on slick tires and the coefficient of friction obtained with new tires.

Finally, we found the percentage change occurring between the inicial velocity calculated by applyng the fundamental equation and the real inicial velocity, obtaining tus quantify the influence of wear on the calculation speed.

As a result of the study, it was established that, on average calculated speed varies with respect to the real speed  $\pm 3\%$ , at a speed of 40 km/h, equivalent to a difference of  $\pm 1$  km/h.

In addition, it established a maximum variation between the two speeds of  $\pm 7\%$ , equivalent to a difference of  $\pm 3$  km/h.

## INDICE

CAPITULO I	
Introducción.....	9
Formulación del problema.....	10
Justificación.....	11
Objetivos .....	12
Hipótesis .....	12
CAPITULO II	
Antecedentes.....	14
CAPITULO III	
Marco Teórico.....	21
1. Leyes de Newton.....	21
Equilibrio: Primera ley de Newton.....	21
Masa: Segunda ley de Newton.....	22
Tercera ley de Newton.....	24
2. Fuerza de rozamiento.....	24
Adhesión e Histéresis.....	27
Coeficiente de rozamiento.....	27
3. Trabajo y Energía.....	27
Principio General de Conservación de la Energía.....	28
4. Cálculo de velocidad.....	29
Ecuación Fundamental.....	29
5. Neumáticos.....	30
Adherencia del neumático.....	31
Influencia del desgaste en la accidentabilidad.....	32
6. Margen de error en el cálculo de velocidad.....	33
Factores que intervienen en el cálculo de velocidad.....	33
Análisis de sensibilidad.....	34
CAPITULO IV	
Metodología de la investigación.....	36
1. Tipo de estudio o diseño.....	36

2. Definición de las variables.....	36
3. Consulta a expertos.....	37
4. Selección de elementos.....	38
5. Muestra.....	39
6. Explicación de la metodología.....	40
Experimentación.....	41
Experimentación exploratoria.....	41
Experimentación confirmatoria.....	42
Análisis de los datos y Discusión de los resultados .....	52
CAPITULO V	
Conclusión.....	73
Aportes y Recomendaciones.....	74
ANEXOS	
1. Fotografías del dispositivo manante de agua.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79



# CAPITULO I



## **Introducción**

### **“INFLUENCIA DEL DESGASTE DE LOS NEUMATICOS EN EL CALCULO DE VELOCIDAD”**

Uno de los cuestionamientos más importantes al momento de reconstruir un accidente de tránsito es la determinación del cálculo de velocidad. Para ello se utiliza una fórmula físico-matemática, a través de la cual se determina una velocidad de circulación aproximada. Sin embargo, al indagar sobre el margen de error que dicha fórmula puede presentar, y así establecer un rango de velocidad, se observó que son numerosas las variables que pueden influir sobre el resultado de la ecuación. Según la bibliografía consultada, entre estas variables encontramos: 1) tipo de textura superficial de la calzada y edad de la misma; 2) temperatura ambiente; 3) velocidad del vehículo; 4) tipo de neumáticos, estado y presión de inflado; etc.

Esta investigación propone determinar si el estado del neumático, considerando en este caso particular el desgaste de la banda de rodamiento, es un dato que influye en el cálculo de velocidad, generando una variación entre la velocidad calculada a través de la ecuación y la velocidad real.

Para ello se establecerá si las distancias de frenado obtenidas con neumáticos lisos, difieren cuantitativamente de las obtenidas por neumáticos nuevos.

Estos datos, obtenidos de manera empírica, a través de ensayos de frenado, utilizando un automóvil mediano, a una velocidad constante de 40 km/h, sobre una superficie de asfalto seca, serán analizados estadísticamente.

### **Formulación del problema**

En la tarea de investigar y reconstruir un siniestro vial, uno de los objetivos principales es la determinación de la velocidad pre-impacto de los vehículos intervinientes.

Para este fin se utiliza un modelo físico matemático conocido como “Ecuación Fundamental”, cuyo resultado permite conocer la velocidad de circulación de un vehículo en el momento en que se inicia la acción de frenado. Sin embargo, el resultado obtenido a través de éste cálculo no es exacto, ya que en su determinación influyen diversos factores como: 1) tipo de textura superficial de la calzada y edad de la misma; 2) temperatura ambiente; 3) velocidad del vehículo; 4) tipo de neumáticos, estado y presión de inflado; etc.

Estos factores se transforman en fuentes de incerteza, la cual se ve reflejada en el resultado final, produciendo una variación entre la velocidad calculada a través del método y la velocidad “real” de circulación del vehículo.

Desconocer el porcentaje de variación entre ambas velocidades no sólo resta confiabilidad al resultado obtenido, sino que, además, existe el riesgo de perjudicar, penal o civilmente, al conductor del vehículo.

De aquí surge la necesidad de investigar profunda y seriamente, si existe alguna correlación entre cada uno de los factores mencionados y el cálculo de la velocidad pre-impacto y su cuantificación. De esta manera, se lograrán establecer, en futuros análisis accidentológicos, rangos de velocidad que otorguen valores más confiables y objetivos.

En esta investigación se estudiará, particularmente, la influencia del estado de los neumáticos, considerándose el desgaste en la banda de rodamiento, en el cálculo de velocidad, con el fin de establecer si existe una relación causal entre ambas variables.

### **Justificación**

Con la presente investigación se pretende establecer científicamente, si la determinación de la velocidad pre-impacto de un vehículo está influida por el desgaste de la banda de rodamiento de sus neumáticos.

También, mediante la cuantificación de esta influencia, se otorgará a los investigadores en siniestros viales, un dato que permita aportar un rango de velocidad confiable y objetivo, cada vez que se esté en presencia de este factor.

Debido a que la determinación de la velocidad pre-impacto es un interrogante que se presenta siempre en el seno de procesos judiciales, ya sea civil o penal, responderlo de manera confiable y objetiva permitirá, a los jueces, realizar una mejor administración de justicia en materia de siniestros viales.

También posee utilidad como herramienta metodológica para futuras investigaciones que pretendan determinar la variación entre la velocidad pre-impacto calculada a través de la Ecuación Fundamental y la velocidad real.

## **Objetivos**

### **General:**

*“Determinar la variación porcentual entre la velocidad real y estimada, que produce la aplicación del coeficiente de rozamiento obtenido con neumáticos nuevos para calcular la velocidad, a través de la distancia de detención en asfalto seco, de un móvil que posee neumáticos lisos por desgaste marca comercial Firestone. ”*

### **Específicos:**

- “Determinar la distancia de detención generada con neumáticos nuevos y con neumáticos lisos”.
- “Establecer el coeficiente de rozamiento existente entre asfalto seco y neumáticos nuevos”.
- “Establecer el valor del coeficiente de rozamiento existente entre asfalto seco y neumáticos lisos” (sin dibujo).
- “Establecer la relación existente entre distancia de detención con neumáticos lisos y coeficiente de rozamiento obtenido con neumáticos nuevos”.

## **Hipótesis**

*“Si se utiliza el coeficiente de rozamiento obtenido con neumáticos nuevos para calcular la velocidad, a través de la distancia de detención de un móvil que posee neumáticos lisos por desgaste, existirá una variación entre la velocidad calculada y la velocidad real de circulación”.*



# CAPITULO II

### Antecedentes

Una investigación realizada en Nueva Zelanda por Peter Cenek y otros<sup>1</sup> determinó que diferentes tipos de hierba halladas al costado de las carreteras poseen características de fricción diferentes.

Dicha investigación consistió en la realización de pruebas de frenado con rueda bloqueada sobre tres tipos de césped diferentes: white clover, long rye grass y short rye grass.

Las pruebas se realizaron con un automóvil Hyundai Sonata, equipado con un acelerómetro Vericom VC2000.

Como resultado se obtuvo que una superficie compuesta por césped tipo white clover proporciona una fricción de frenado 60 % superior que una compuesta por rye grass. Para una velocidad inicial de frenado de 40 km/h, esto equivale a una distancia de frenado de alrededor de 13 metros.

Robert Trooper y John Kwasnoski<sup>2</sup>, en Farmington, Nueva York, trabajaron sobre dos superficies de césped diferentes, determinando que existen diferencias en el valor del coeficiente de rozamiento obtenido con cada tipo de césped.

Dicha investigación consistió en nueve experiencias de frenado realizadas sobre césped tipo *Long Damp* y seis experiencias realizadas sobre césped tipo *Mowed* con una altura de 2-3 pulgadas.

Las pruebas se realizaron en el mes de Marzo del año 2002, utilizando un automóvil Ford Crown Victoria 2001, equipado con un acelerómetro Vericom VC2000.

---

<sup>1</sup> Cenek, P., Jamieson, N. & McLarin, M. (2005). *Frictional Characteristics of roadside grass types.*

<sup>2</sup> Trooper, R. & Kwasnoski, J. (2003). *Drag Factor Tests on grass using ABS and non ABS braking.*

### Long Damp Grass - not mowed

#### Braking / Avg. f (Using VC2000)

Non-ABS / .459  
 Non-ABS / .446  
 Non-ABS / .476  
 Non-ABS / .507  
 Non-ABS / .495  
 Non-ABS / .518  
 Non-ABS / .520  
 Non-ABS / .514  
 Non-ABS / .542

**Average of all tests = .497**

### Mowed Grass - Approximately 2-3 inches High

#### Braking / Avg. f (Using VC2000)

Non-ABS / .376  
 Non-ABS / .370  
 Non-ABS / .384  
 Non-ABS / .332  
 Non-ABS / .328  
 Non-ABS / .340

**Average of all tests = .355**

En estas investigaciones se analizó la variable “tipo de suelo”.

Como se puede observar, al considerar diferentes tipos de césped, se hallaron diferencias en la determinación del coeficiente de rozamiento.

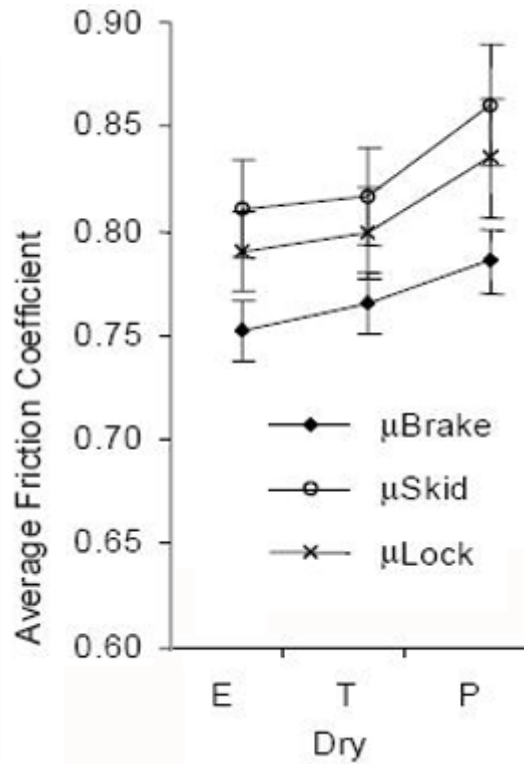
Debido a ello se toman como antecedente de esta investigación ya que demuestra que modificando sutilmente el estado de una de las superficies de contacto, se modifica el coeficiente de rozamiento.

Goudie y otros<sup>3</sup> realizaron un estudio sobre “Fricción neumática con frenado de rueda bloqueada” en la cual se determinó el valor promedio del coeficiente de fricción obtenido sobre una superficie de pavimento seco.

Para estas pruebas se utilizaron tres tipos de neumáticos diferentes: económico, turismo y performance. En el gráfico se pueden observar las diferencias de coeficiente obtenido con cada tipo de neumático.

<sup>3</sup> Goudie, D.W., Bowler, J.J., Brown, C.A. & Heinrichs, B.E. (2000). *Tire Friction During Locked Wheel Braking*.

**Los valores promedio de fricción en el pavimento seco sobre la base de inicio de freno (break), el inicio de arrastre (skid), y el bloqueo de primera rueda (lock), en función del tipo de neumático**



FUENTE: Goudie et al., SAE 2000-01-1314

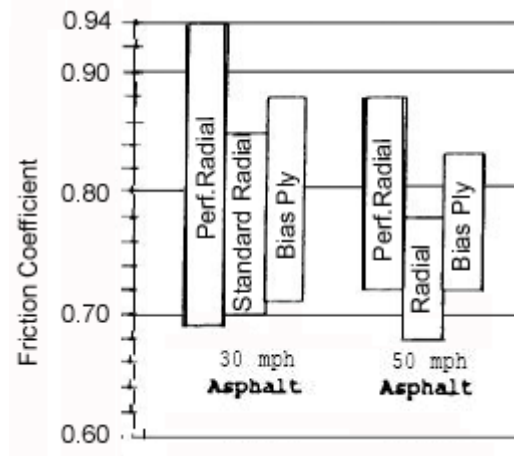
Wallingford y otros<sup>4</sup> realizaron un estudio tendiente a determinar los coeficientes de fricción neumático-carretera sobre superficies de asfalto a distintas velocidades.

Para ello realizaron numerosas pruebas a 30 mph y 50 mph, utilizando tres tipos de neumáticos diferentes: radial performance (Performance radial), radial de producción normal (Standard radial) y diagonal (Bias ply), en buenas condiciones (sin los hilos visibles).

<sup>4</sup> Wallingford, J.G., Greenlees, W. & Christoffersen, S. (1990). *Tire-roadway friction coefficients on concrete and asphalt surfaces applicable for accident reconstruction*



### Coefficientes de fricción neumático-carretera sobre superficie de asfalto



FUENTE: SAE Paper 900103. 1990

En estas dos investigaciones, se emplearon distintos tipos de neumáticos para la realización de las pruebas sobre una misma superficie. Aquí, el tipo de neumático fue una de las variables que se tuvieron en cuenta.

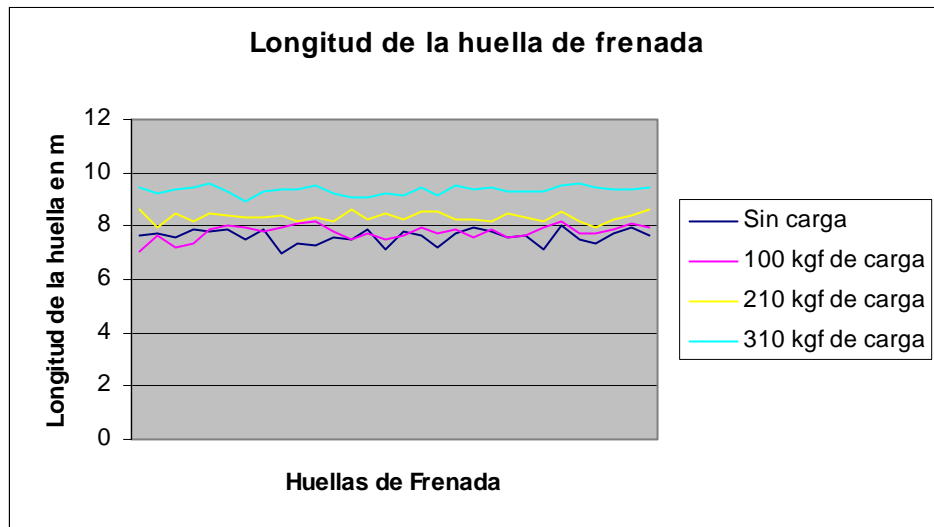
Aunque el objetivo de las mismas era determinar el coeficiente de rozamiento promedio, es posible observar los diferentes coeficientes de rozamiento obtenidos con los diferentes tipos de neumáticos.

Una investigación realizada por el Lic. Emanuel Alvea<sup>5</sup> demuestra que el factor “peso” es una variable que modifica el coeficiente de rozamiento determinado para la superficie neumático-calzada.

Para este estudio se analizó, mediante pruebas de frenado con rueda bloqueada, la longitud de las huellas de frenado impresas por una camioneta Ford Ranchera, sobre la cual se fue modificando gradualmente el peso.

Finalmente se determinó que, a medida que aumenta el peso del vehículo, aumenta la longitud de las huellas de frenado impresas por el mismo.

<sup>5</sup> Alvea, E. (2008). *Influencia del peso en la huella de frenado.*



Fuente: Datos obtenidos en ensayos de frenado

Como se puede inferir, la variable peso generaría errores en la determinación de la velocidad a través de huellas de frenado si no es tomada en cuenta para su cálculo.

Respecto del tema específico que se investiga, si bien no se hallaron investigaciones anteriores, el Ing. Víctor Irureta<sup>6</sup> dice que: “*el coeficiente de deslizamiento virtualmente no está influido por el desgaste de los neumáticos, ya que su diferencia en este caso, a la misma velocidad, es del orden del 5% a favor de los neumáticos nuevos*”. Según este autor, el coeficiente de rozamiento obtenido con neumáticos nuevos es un 5% mayor que el coeficiente obtenido con neumáticos desgastados, por lo que él considera que esta diferencia es despreciable.

Además, describe un procedimiento para determinar el coeficiente de rozamiento, según el cual se deben realizar ensayos de frenado, bajo condiciones atmosféricas análogas, circulando a velocidades predeterminadas y finalmente medir la distancia de parada. Deben realizarse varios ensayos y adoptarse el coeficiente medio. Luego aconseja utilizar dispositivos que disparen pintura hacia abajo al momento de tocarse el pedal de freno, de forma de marcar exactamente el inicio de la frenada y, además, tener el velocímetro calibrado, constatado, a esa velocidad, en distintas pasadas cronometradas ante velocidades conocidas.

Algo similar menciona la Ing. María Graciela Berardo<sup>7</sup> sobre la influencia del desgaste de los neumáticos en el coeficiente de rozamiento. Esta autora establece que el

<sup>6</sup> Irureta, V. (1999). *Accidentología Vial y pericia*.

<sup>7</sup> Berardo, M. G. (2004). *Accidentes de tránsito. Análisis pericial técnico-científico*.

desgaste de los neumáticos sobre calzadas rugosas, en estado seco, no influye en el coeficiente de rozamiento ya que su diferencia es del 7% a favor de los neumáticos con dibujo.



# **CAPITULO III**

### **Marco teórico de referencia**

La presente investigación se apoya en los principios de la Física, mediante los conceptos aportados por la Mecánica, rama de la Física que estudia las relaciones entre Fuerza, Materia y Movimiento, el Trabajo y la Energía.

La Mecánica está basada en tres leyes naturales, establecidas por primera vez por Isaac Newton y publicadas en 1686 en su libro “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*”, las cuales relacionan la fuerza y el movimiento. Aquí se definen magnitudes como Fuerza, Masa, Velocidad y Aceleración. Los fundamentos que permitieron a Newton la formulación de estas leyes fueron establecidos por Galileo Galilei en sus estudios sobre el movimiento acelerado.

#### **1. LEYES DE NEWTON**

##### **Equilibrio: Primera ley de Newton ó “Principio de inercia”**

*“Todo cuerpo continúa en su estado de reposo, o de movimiento rectilíneo uniforme, a menos que sea impelido a cambiar dicho estado por fuerzas que actúan sobre él.”*

Cuando un cuerpo está en equilibrio, el vector resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él debe ser cero. Cada componente de esta resultante debe, por lo tanto, ser nula. Entonces, para un cuerpo en equilibrio:

$$\mathbf{R} = \Sigma \mathbf{F} = \mathbf{0}$$

Este principio establece que un cuerpo en estado de reposo permanece en ese estado y un cuerpo móvil permanece en movimiento uniforme y rectilíneo en tanto que

ninguna fuerza exterior actúe sobre ellos. La fuerza de inercia es la resistencia de los cuerpos a cambiar del estado de reposo al de movimiento y viceversa.

Este principio físico es el que provoca que los cuerpos sigan hacia delante en el caso de una colisión frontal o cuando se aplican los frenos.

**Masa: Segunda ley de Newton ó “Principio de conservación de la cantidad de movimiento”**

*“La aceleración de un cuerpo es igual a la resultante de todas las fuerzas ejercidas sobre la partícula dividida entre su masa y tiene la misma dirección que la fuerza resultante”.*

$$\Sigma \mathbf{F} = \mathbf{m.a}$$

Esta ley afirma que cuando la fuerza resultante no es nula, el cuerpo se mueve con movimiento acelerado y que esta aceleración depende de una propiedad del cuerpo llamada “masa”.

Es decir, la variación del momento lineal de un cuerpo es proporcional a la resultante total de las fuerzas actuando sobre dicho cuerpo y se produce en la dirección en que actúan las fuerzas.

Establece que la variación de la cantidad de movimiento es proporcional a la fuerza externa que la produce y tiene lugar en la dirección de la recta según la cual actúa dicha fuerza. Respecto a este tema, la Academia de Tráfico de la Guardia Civil expresa: *“Si un vehículo cambia de dirección, no por efecto del giro de las ruedas sino del impulso de una fuerza externa, podemos averiguar con cierta facilidad la dirección de donde ha procedido la fuerza y su intensidad o impulso”*<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Academia de tráfico de la Guardia Civil. (1991). *Investigación de accidentes de tráfico*.

- **Teorema de conservación de la cantidad de movimiento**

“Si sobre un sistema no actúan fuerzas exteriores, su cantidad de movimiento permanece constante”.

El teorema que relaciona el impulso con la cantidad de movimiento exige que el impulso de las fuerzas exteriores (las interiores se anulan por acción y reacción) sea igual a la variación de la cantidad de movimiento.

Si no hay fuerzas externas, el impulso total es nulo y, en consecuencia, la variación de la cantidad de movimiento es cero, permaneciendo ésta constante

$$\mathbf{q} = \mathbf{m.v} = \text{constante}$$

Hay que tener en cuenta, en la aplicación de las ecuaciones del impulso y de la cantidad de movimiento, que al ser magnitudes vectoriales, deben proyectarse sobre ejes adecuados.

Suponiendo un cañón que dispara en terreno horizontal con un ángulo de inclinación  $\alpha$ , tomando el eje X horizontal y el Y vertical y ambos en el plano vertical que pasa por el eje del cañón, se debe verificar que:

$$\mathbf{m.v} = -\mathbf{m'.v'}$$

$$\mathbf{m.v_x} = -\mathbf{m'.v'_x}$$

$$\mathbf{m.v.\cos \alpha} = -\mathbf{m'.v'_x} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{v'_x} = -\frac{\mathbf{m.v}}{\mathbf{m'}} \cdot \mathbf{\cos \alpha}$$

- **Masa y peso**

Peso: “Es la fuerza que actúa sobre un cuerpo debido a la influencia de la Tierra”.

Como g (intensidad de la gravedad) es la fuerza que Actúa sobre la unidad de masa, la que actúa sobre una masa m es:

$$\mathbf{P} = \mathbf{m.g}$$

No se debe confundir “peso” con “masa”:

Masa: *“Es la cantidad de materia que tiene un cuerpo”*:

$$m = \frac{P}{g}$$

### **Tercera ley de Newton ó “Principio de acción y reacción”**

*“A cada acción se opone siempre una reacción igual, es decir, las acciones mutuas entre dos cuerpos son siempre iguales y están dirigidas hacia partes contrarias.”*

Establece que a toda acción se opone siempre una reacción igual y de sentido contrario. De otro modo, las acciones mutuas entre dos cuerpos siempre son iguales y de sentido contrario.

$$\mathbf{F}_1' = -\mathbf{F}_1$$

Este principio es de aplicación en las colisiones. Si un automóvil choca con una roca, cuanta más velocidad lleve (acción), mayor deformación sufrirá (reacción).

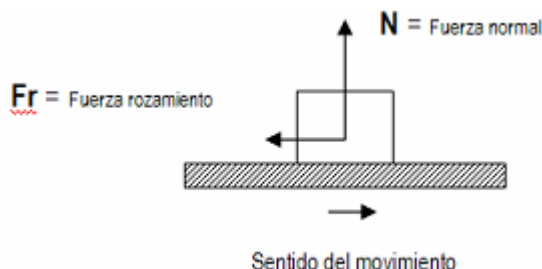
## **2. FUERZA DE ROZAMIENTO**

Las fuerzas de rozamiento están presentes en casi todos los fenómenos que observamos. Intervienen en el movimiento de objetos en el seno de fluidos (como, por ejemplo, el aire o el agua), cuando se produce deslizamiento de un objeto sobre otro, cuando un objeto rueda sobre una superficie, etc.

La búsqueda de leyes que puedan expresar esta fuerza global de rozamiento comienza históricamente con Leonardo da Vinci (1452 - 1519), que investigó el movimiento de un bloque rectangular, deslizando sobre una superficie plana. Este estudio de Leonardo pasó desapercibido.



El físico francés Guillaume Amontons (1663 - 1705) "re-descubrió" en el siglo XVII de las leyes del rozamiento. Estudió el deslizamiento seco de dos superficies planas y planteó las siguientes conclusiones:



- 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 que ejerce el plano sobre el bloque.
- La fuerza de rozamiento no depende del área aparente de contacto.

Medio siglo después, Coulomb (1736-1806), añadió una propiedad más:

- Una vez empezado el movimiento, la fuerza de rozamiento es independiente de la velocidad.

“El rozamiento es una fuerza que se opone al movimiento de los cuerpos, al deslizarse o al rodar sobre la superficie de otro”. Su existencia se debe a las rugosidades y deformaciones de las superficies.

Sobre este tema Resnick, Halliday y Krane<sup>9</sup> dicen: *Si lanzamos un bloque a una determinada velocidad sobre una mesa horizontal, al final llegara al reposo, esto significa que, mientras se esta moviendo, experimenta una aceleración que apunta en dirección opuesta a su movimiento. En este caso afirmamos que la mesa ejerce una fuerza de fricción sobre el bloque que termina por detenerlo. Se toma como causal de este fenómeno la interacción que existe debido al contacto entre los cuerpos sólidos.*

Después de comunicar un impulso a un cuerpo, apoyado en una superficie horizontal, debería adquirir un movimiento rectilíneo y uniforme puesto que el peso,

<sup>9</sup> Resnick, Halliday y Krane (1997) citado en Pisano, J. M. (2007): *Producción de huellas de frenado de un automóvil con sistema de frenos ABS, sobre hormigón.*

única fuerza que actúa cuando cesa el impulso, no realiza acción dinámica, por ser perpendicular a la dirección del movimiento. Sin embargo, éste se retarda hasta pararse el cuerpo, indicando la existencia de una fuerza (rozamiento) que actúa en la propia dirección de la velocidad y en sentido contrario a ella.

Deslizando pesos distintos, de la misma materia, en la misma superficie horizontal, observamos que “la resistencia al deslizamiento es directamente proporcional al peso P del cuerpo, si sobre éste no actúa ninguna otra fuerza”. Esta proporcionalidad está dada por un factor de proporcionalidad  $\mu$  llamado *coeficiente de rozamiento*.

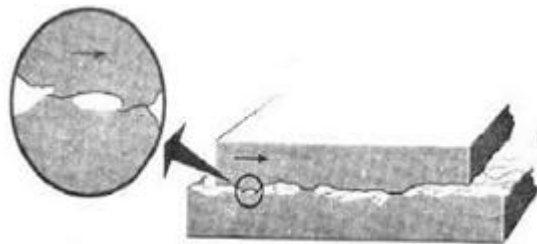
Colocando en la misma superficie el mismo cuerpo, de forma que rocen distintas caras sobre él, se observa que “la resistencia al deslizamiento es independiente del área de la superficie que roza”.

Colocando pesos idénticos de diversas sustancias en diversas superficies, se comprueba que “la resistencia al deslizamiento depende de la naturaleza de las superficies que rozan”.

Tales hechos quedan compendiados en la fórmula:

$$F_r = \mu \cdot P; \quad \mu: \text{coeficiente de rozamiento}$$

La interpretación de las fuerzas de rozamiento es muy compleja, como se observa al considerar los procesos de rozamiento a escala microscópica. El perfil de las superficies dista mucho de ser plano y el área real de las superficies en contacto es mucho menor que el que aparenta a escala macroscópica. Se producen adherencias entre las zonas en contacto y, con el deslizamiento, se deforman esas zonas. A escala atómica, estas adherencias y deformaciones se relacionan con interacciones de los átomos y/o las moléculas de la superficie del objeto con otros átomos y/o otras moléculas de la superficie sobre la que desliza. Se pueden producir roturas y nuevas formaciones de enlaces químicos, etc.



Debido a estas complicaciones no hay una teoría exacta del rozamiento al deslizamiento. Las leyes del mismo son empíricas y consideran una fuerza global o macroscópica de rozamiento al deslizamiento que representa a la resultante de las múltiples interacciones ejercidas entre las superficies.

#### - **Adhesión e Histéresis**

La fuerza de rozamiento se descompone en dos: una llamada de histéresis y la otra de adhesión. Cuando un cuerpo elástico es sometido a un esfuerzo, sufre una deformación. Una vez desaparecida la fuerza, debe recuperar su forma primitiva, pero esto no sucede así cuando hay histéresis, persistiendo una pequeña deformación. Este fenómeno está muy presente en el caucho, de modo que absorbe parte de la energía provocada por el choque de la superficie de apoyo con uno de los promontorios del suelo, con lo que presenta suma importancia en los suelos rugosos.

La adhesión es un fenómeno de tensión entre dos superficies en contacto, donde las moléculas establecen relación entre sí tipo eléctrico, de atracción.

#### - **Coefficiente de rozamiento**

El valor que nos indica el grado en que dos superficies rozan entre sí se denomina “coeficiente de rozamiento” y, cuanto mayor es esta cifra, mayor es la adherencia existente, con la consideración que dicho coeficiente siempre es relativo a dos superficies entre sí.

### **3. TRABAJO Y ENERGIA**

El término “trabajo”, en física, se utiliza cuando interviene la aplicación de una fuerza sobre un cuerpo y el desplazamiento de dicho cuerpo.

Cuando un cuerpo se mueve una distancia  $d$  sobre una línea recta, mientras actúa sobre él una fuerza constante de magnitud  $F$  en la misma dirección del desplazamiento, el trabajo  $W$  realizado por la fuerza se define como:

$$\mathbf{W} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{d}$$

Cuando la componente de la fuerza está en la misma dirección que el desplazamiento, el trabajo  $W$  es positivo; cuando ésta es opuesta al desplazamiento, el trabajo es negativo.

El trabajo realizado por una fuerza sobre un cuerpo está relacionado muy directamente con la variación del movimiento del cuerpo:

*“El trabajo realizado por la fuerza que produce o modifica el movimiento de un cuerpo, es igual a la variación de la energía cinética de éste”* (teorema de las fuerzas vivas).

$$\mathbf{W}_f = \Delta \mathbf{E}_c$$

$$\mathbf{W}_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_f^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_i^2$$

El producto  $F$  es el trabajo de la fuerza resultante y la cantidad  $\frac{1}{2} mv^2$  se denomina *Energía Cinética  $E_c$* , magnitud escalar cuyo valor es:

$$\mathbf{E}_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

#### - Principio General de Conservación de la Energía

*“Si no actúan fuerzas exteriores a un sistema, su energía permanece constante”.*

Podrá haber intercambios entre unas u otras formas de energía, pero su suma, la energía total es siempre la misma.

En el campo de los accidentes de tráfico, este Principio es de suma importancia, pues un vehículo que circula a una velocidad posee una energía cinética que, al colisionar con algún objeto, no se perderá, sino que transformará en calor, desplazamientos, deformaciones, etc.

#### 4. CALCULO DE VELOCIDAD A TRAVES DE HUELLAS DE FRENADO

##### - Ecuación Fundamental

Como explican López, González y Pulla<sup>10</sup> en su “Manual Básico de Investigación y Reconstrucción”, si se aplica el 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 fundamenta del cálculo de velocidad:

$$- \Delta E_c = W_r$$

$$- (E_{cf} - E_{ci}) = F_r \cdot d$$

$$- \left( 0 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \right) = \mu \cdot N \cdot d$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \mu \cdot m \cdot g \cdot d$$

$$\frac{1}{2} \cdot v^2 = \mu \cdot g \cdot d$$

$$v = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d}$$

---

<sup>10</sup>

López, González, Pulla. (2001). *Manual Básico de Investigación y Reconstrucción*.

**Ec:** Energía Cinética

**Wr:** Trabajo de rozamiento

**Fr:** Fuerza de rozamiento

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

**d:** distancia de frenado

**m:** masa

**v:** velocidad

**$\mu$ :** coeficiente de rozamiento

## 5. NEUMATICOS

Los neumáticos, según explica el Ing. Castro<sup>11</sup>, 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.

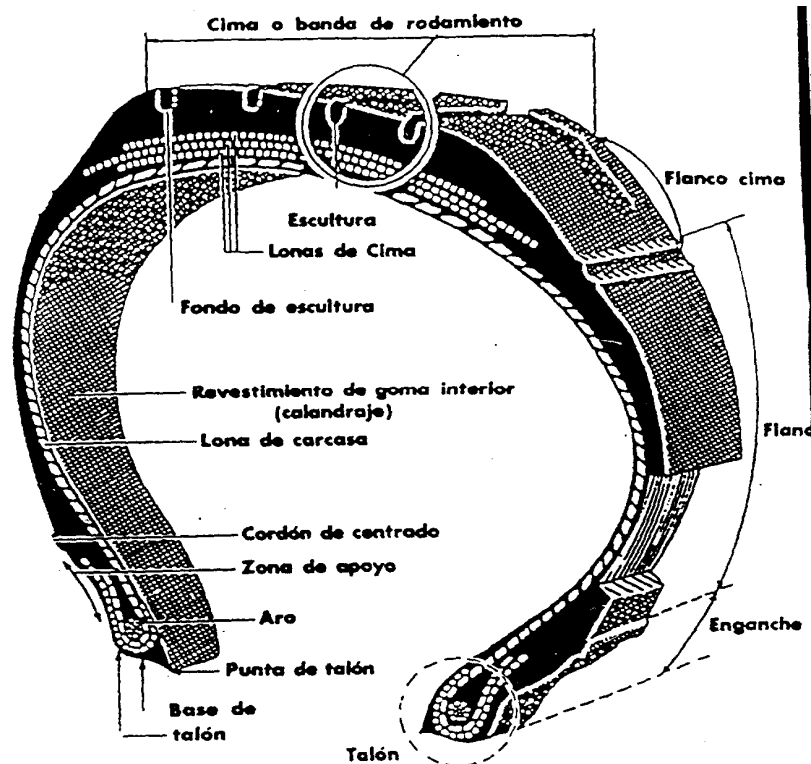
La **banda de rodamiento** es la encargada de asegurar la adherencia del vehículo a la carretera, independientemente del estado del suelo, además de permitir la transmisión de los esfuerzos de tracción y frenado. Su compuesto de caucho debe resistir la abrasión y el desgaste. Dicha banda de rodamiento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

---

<sup>11</sup> Castro. (2008). *Materiales y compuestos para la industria del neumático*.

reforzantes, fibras reforzantes, plastificantes, agentes vulcanizantes, acelerantes, retardantes, antioxidantes o antiozonizantes y adhesivos.



#### - 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 rodadura influyen en la adherencia y, por ello, en la eficacia de frenada y en la estabilidad en curvas. Por tanto, según manifiesta la Guardia Civil, la escultura de la banda de rodadura 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.



## 6. MARGEN DE ERROR EN EL CALCULO DE VELOCIDAD

### - Factores que intervienen en el cálculo de velocidad

En el libro “Investigación de Accidentes de Tráfico”, publicado por la Academia de Tráfico de la Guardia Civil, se enumeran una serie de variables que influyen en el cálculo de la velocidad:

- Clase de pavimento y uso del mismo.
- Condiciones climatológicas y elementos que afectan al firme.
- Pendiente de la carretera.
- Tipo y marca del vehículo.
- Sistema de frenos y estado del mismo.
- Neumáticos: estado, dibujo, clase.
- Carga.
- Atención del conductor y pericia del mismo.
- La longitud de las huellas de frenada.
- Los desperfectos de los vehículos y sus desplazamientos.

Estos factores afectan la determinación del coeficiente de rozamiento neumático-calzada y, por lo tanto, la estimación de la velocidad inicial de un vehículo a través de huellas de frenado.

Por estos motivos, la Guardia Civil manifiesta: *“El investigador no debe presentar como prueba una velocidad exacta, siempre establecerá un margen de error”*... Posteriormente, propone, como ejemplo, la siguiente expresión: *“No se debe decir: Dicho vehículo circulaba a una velocidad aproximada de 80 km/h, es más exacto manifestar: Dicho vehículo circulaba a una velocidad comprendida entre 70 y 90 km/h”*.

La variación porcentual entre la velocidad real y la velocidad calculada se determinará de la siguiente manera:

$$V_v = \frac{V_c - V_r}{V_r} \cdot 100$$

Vv: Variación de velocidad  
Vc: Velocidad calculada  
Vr: Velocidad real

- **Análisis de sensibilidad**

La Ing. María Graciela Berardo, en su libro *Accidentes de tránsito*, propone un análisis de sensibilidad destinado a identificar los parámetros sensibles de la ecuación para los cuales, un error en su determinación, conduce a una diferencia importante en el resultado final.

Este método consiste, explica, en la investigación del efecto que tiene sobre el valor final, el hecho de cometer errores en la estimación de los valores para los parámetros del modelo. Afirma que uno de los parámetros sensibles es el coeficiente de fricción y establece que *“al cometer un error en la adopción de dicho coeficiente, se comete un error en la determinación de la velocidad cuyo valor es la mitad del error porcentual inicial”*.

Sin embargo no establece la magnitud real del error que es posible cometer en la determinación del coeficiente de fricción.



# **CAPITULO IV**

## Metodología de la investigación

### 1. Tipo de Estudio o diseño

- ❖ Esta investigación es de tipo cuantitativa.
- ❖ Según su diseño es experimental.

### 2. Definición de las variables

#### **Distancia de detención (d):**

- Definición conceptual: trayecto recorrido por el vehículo desde el momento en que se acciona el pedal de freno hasta que su velocidad es  $V_f = 0$ .
- Definición operacional: longitud del reguero líquido depositado sobre la calzada, a través de un dispositivo adaptado al bulbo de la luz de stop del vehículo, el cual se activa en el instante en que se presiona el pedal de freno.

#### **Coefficiente de rozamiento ( $\mu$ ):**

- Definición conceptual: es el valor que nos indica el grado en que dos superficies rozan entre sí.
- Definición operacional: 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 (40 km/h).

#### **Profundidad de la escultura de los neumáticos:**

- Definición conceptual: distancia bajo relieve que presentan los surcos de la banda de rodamiento.
- Definición operacional: se emplearon neumáticos con la profundidad original de fábrica (nuevos) y neumáticos con una profundidad igual a cero (lisos).

**Velocidad de circulación al inicio de una frenada brusca calculada:**

- Definición conceptual: velocidad es la raíz cuadrada del doble producto de la aceleración de la gravedad, por el coeficiente de rozamiento existente entre neumático y calzada, por la distancia de detención del vehículo ( $V = \sqrt{2 \cdot g \cdot \mu \cdot d}$ ).
- Definición operacional: se obtiene aplicando el coeficiente de rozamiento obtenido con neumáticos nuevos y la distancia de detención producida con neumáticos lisos.

**3. Consulta a expertos:**

Para el desarrollo de esta etapa se realizó una encuesta a expertos en los temas de Física y Accidentología Vial.

En el área de la física se recurrió a la Universidad Tecnológica Nacional Regional Mendoza (UTN) donde se entrevistó a los Ingenieros Arias, Masnú y Macintosh, Jefes del Laboratorio de Física de dicha casa de estudios. Luego de una serie de preguntas relacionadas con la teoría del rozamiento, la determinación del coeficiente de rozamiento para neumáticos lisos y neumáticos con dibujo y la adherencia de dichos neumáticos sobre el pavimento, los mismos manifestaron que el coeficiente de rozamiento entre dos superficies sólo se determina de manera experimental y que la presencia de canales juega un rol fundamental en la adherencia. También opinaron que existe diferencia en los valores del coeficiente de rozamiento entre un neumático liso y uno nuevo y que el mayor valor correspondería a los nuevos. Sin embargo no pudieron precisar información sobre investigaciones ó publicaciones científicas que apoyen dichas opiniones.

En el área de la Accidentología Vial se recurrió al Licenciado Néstor Martínez, profesor titular de la cátedra Accidentología Vial I y II de la Universidad Aconcagua a quien se lo entrevistó respecto de sus conocimientos sobre el tema de investigación. El mismo manifestó que el desgaste de los neumáticos influye en la determinación del coeficiente de rozamiento, pero esta influencia es tan pequeña que, al momento de realizar un cálculo de velocidad a partir de la distancia de detención, se considera despreciable en el resultado final. Sin embargo, no supo precisar la magnitud del margen de error que este desgaste genera sobre dicho cálculo. No obstante ello, manifestó la

importancia de realizar este tipo de investigaciones en el campo de la Accidentología Vial y ésta en particular.

#### **4. Selección de elementos:**

##### **- Lugar**

La experimentación exploratoria se realizó en el parque Gral. San Martín, pero debido a no contar con autorización de los Guardaparques, se seleccionó un lugar diferente. Por lo tanto, las experiencias confirmatorias se realizaron sobre la calle lateral este del Acceso Sur, frente a Expreso Luján ya que la misma reunía los requisitos necesarios: estar constituida por una carpeta asfáltica, no tener pendiente y poseer bajo tránsito vehicular para no poner en riesgo a terceros.

##### **- Condiciones ambientales**

Se seleccionó una temperatura promedio de 20° C, por lo que las pruebas se realizaron en los meses de Mayo y Junio, entre las 15:00 y las 16:00 hs.

##### **- Vehículo**

Se utilizó un automóvil Renault 11, año 1988. El mismo pesa 1400 kg, 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 Firestone, 185/70 R 13.

- **Velocidad**

Las pruebas se realizaron a una velocidad de 40 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 guardabarro delantero derecho, en su sector inferior para evitar errores debidos a la altura.

**5. Muestra:**

La muestra de esta investigación es no probabilística y está constituida por veinte experiencias de frenado con rueda bloqueada (panic stop) utilizando los neumáticos nuevos y otras veinte experiencias del mismo tipo utilizando los neumáticos lisos.

**6. Explicación de la metodología:**

En primer lugar se realizaron veinte ensayos de frenado con neumáticos nuevos. Finalizadas las veinte experiencias, se realizó el cambio de neumáticos nuevos por los

cuatro neumáticos lisos con los cuales se efectuaron las siguientes veinte experiencias de frenado. Cada una de las experiencias se realizó con un intervalo de 15 minutos.

Utilizando la cinta métrica, luego de cada frenado, se procedió a la mensura de los regueros líquidos observados sobre la calzada obteniendo de esta manera lo que en adelante llamaremos “**distancias de detención**”.

Posteriormente, conociendo la velocidad y la distancia de frenado, se procedió a calcular, a través de la Ecuación Fundamental, el “**coeficiente de rozamiento**” obtenido en cada experiencia de frenado. Cabe destacar que los coeficientes de rozamiento obtenidos no fueron ni deben ser considerados como reales. Los mismos son de utilidad a los fines prácticos de ingresarlos en la ecuación fundamental y de esta manera determinar el margen de error en el cálculo de velocidad.

Una vez establecidos los coeficientes de rozamiento se procedió a realizar los cálculos de velocidad utilizando las distancias de frenado obtenidas con los neumáticos lisos y los coeficientes de rozamiento obtenidos con los neumáticos nuevos. Partiendo de un supuesto en el cual un vehículo con neumáticos lisos imprima una huella de frenado y para el cálculo de su velocidad inicial se utilice un coeficiente de rozamiento obtenido con neumáticos en buenas condiciones.

Finalmente, se determinó la variación porcentual producida entre la velocidad calculada y la velocidad real.



## **Experimentación**

### Experimentación exploratoria:

Con el propósito de alcanzar el objetivo de esta investigación, es necesario mantener constante la velocidad inicial, la cual fue establecida en 40 km/h, y determinar la distancia que recorre el vehículo desde que se acciona el sistema de frenos hasta su total detención. Para conocer la velocidad inicial se utilizará el instrumental del vehículo (velocímetro) y para su detención se cuenta con el sistema de frenos propio del rodado. Es por ello que se detectó la necesidad de controlar dichos dispositivos y determinar su correcto funcionamiento.

Como primera medida, se remitió el vehículo a un taller mecánico con el fin de colocar pastillas de freno y bomba de freno nuevas y de esta manera garantizar la eficacia del sistema de freno.

Con el fin de verificar dicha eficacia, se recurrió a una planta de verificación técnica, determinando que la eficiencia del sistema de frenos es del 57 %. Dicho valor se encuentra próximo al valor normal, 60 %, según el ingeniero que realizó la prueba.

Antes de comenzar a trabajar de manera definitiva en la prueba de la hipótesis, se procedió a realizar una serie de experiencias exploratorias con el fin de establecer las pautas metodológicas a seguir, estudiar las técnicas de medición y el funcionamiento de los aparatos.

En primer lugar se procedió a verificar el funcionamiento del velocímetro. Para ello se procedió a cronometrar el tiempo transcurrido en recorrer una distancia de 100 metros. Esta experiencia arrojó un resultado de 7,2 segundos, lo que representa una velocidad de 50 km/h, cuando el velocímetro del vehículo mostraba una velocidad de 40 km/h.

Para solucionar este error en la medición se procedió a enviar el velocímetro a un especialista para su calibración, lo cual fue verificado, posteriormente, realizando la misma prueba práctica que se llevó a cabo en la experiencia exploratoria. Esta vez, se circuló a una velocidad de 40 km/h, observados en el velocímetro, en una distancia de 100 metros. El resultado del ensayo arrojó como resultado 9,0 segundos, tiempo requerido para recorrer dicha distancia a dicha velocidad, con lo cual quedó verificado su correcto funcionamiento.

Posteriormente se realizaron diez ensayos de frenado con el fin de observar las características de las huellas de frenado. El resultado de esta experiencia mostró una serie de inconvenientes a la hora de determinar de manera unívoca la distancia de detención del rodado. Estos inconvenientes se ven reflejados en:

- La superposición de las huellas impresas por los neumáticos delanteros con las impresas por los traseros. En algunas ocasiones no resulta fácil visualizar dónde comienza cada par, lo cual puede generar errores en la medición de la distancia de detención a través de la longitud de la huella de frenado.
- La impresión de las huellas de frenado es notoriamente variable de un ensayo a otro. Se comprobó que esta variación era de algunos centímetros en ocasiones y de metros en otras, alcanzando hasta los tres metros en el caso extremo.

Por lo tanto se recurrió a un especialista en sistemas de frenos, donde se implementó, en el vehículo, un dispositivo que derramara líquido al suelo al momento de accionar el pedal de freno. De esta manera se conocería de manera unívoca la distancia de frenado, descartando así cualquier error en la medición de la longitud de la huella de frenado.

#### Experimentación confirmatoria

Finalmente se comenzó la realización definitiva de las pruebas de frenado. Luego de cada una de ellas se procedió a la mensura del reguero líquido depositado sobre la calzada durante la acción de frenado, obteniéndose las distancias de detención respectivas con neumáticos nuevos y con neumáticos lisos. Dichos resultados se muestran a continuación:

- **Distancias de detención generadas con neumáticos nuevos**

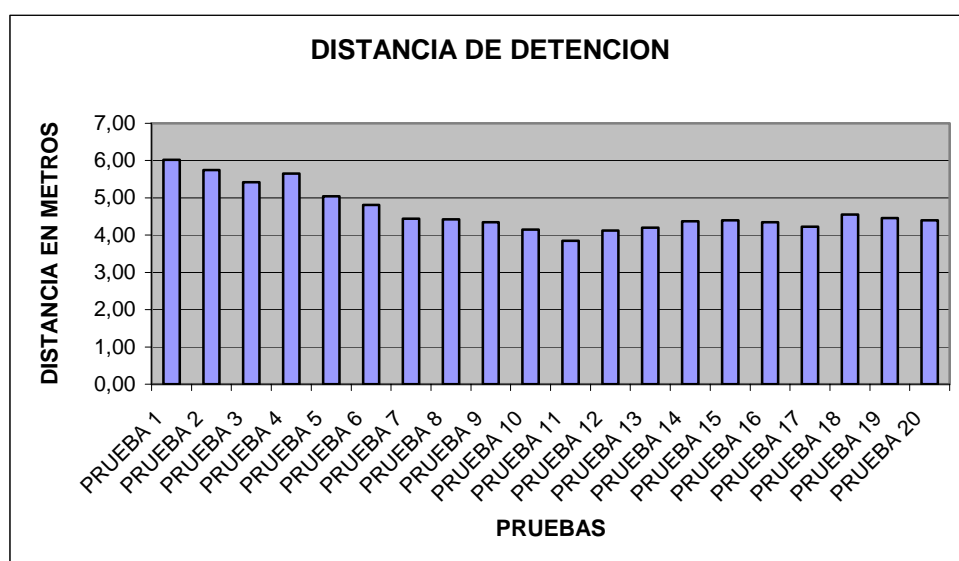
**Tabla N° 1:** Distancias de detención obtenidas con neumáticos nuevos

<b>DISTANCIA DE DETENCION (en metros)</b>	
PRUEBA 1	6,02
PRUEBA 2	5,75
PRUEBA 3	5,42

PRUEBA 4	5,65
PRUEBA 5	5,04
PRUEBA 6	4,81
PRUEBA 7	4,44
PRUEBA 8	4,42
PRUEBA 9	4,35
PRUEBA 10	4,15
PRUEBA 11	3,85
PRUEBA 12	4,12
PRUEBA 13	4,20
PRUEBA 14	4,37
PRUEBA 15	4,40
PRUEBA 16	4,35
PRUEBA 17	4,23
PRUEBA 18	4,55
PRUEBA 19	4,46
PRUEBA 20	4,40

FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

**Gráfico N° 1: Distancias de detención obtenidas con neumáticos nuevos**



FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

En la tabla y el gráfico se puede observar que:

- Las distancias de frenado efectuadas con neumáticos nuevos decrecen hasta estabilizarse.
- La observación máxima alcanza los seis metros, mientras que la mínima no supera los cuatro metros.

Medidas de tendencia central para las distancias de frenado efectuadas con neumáticos nuevos

3,85	4,42
4,12	4,44
4,15	4,46
4,20	4,55
4,23	4,81
4,35	5,04
4,35	5,42
4,37	5,65
4,40	5,75
4,40	6,02

**Observación mínima:** la mínima distancia de frenado fue de 3,85 metros.

**Observación máxima:** la máxima distancia de frenado fue de 6,02 metros.

**Media:** la distancia de frenado promedio efectuada con neumáticos nuevos es de 4,65 metros.

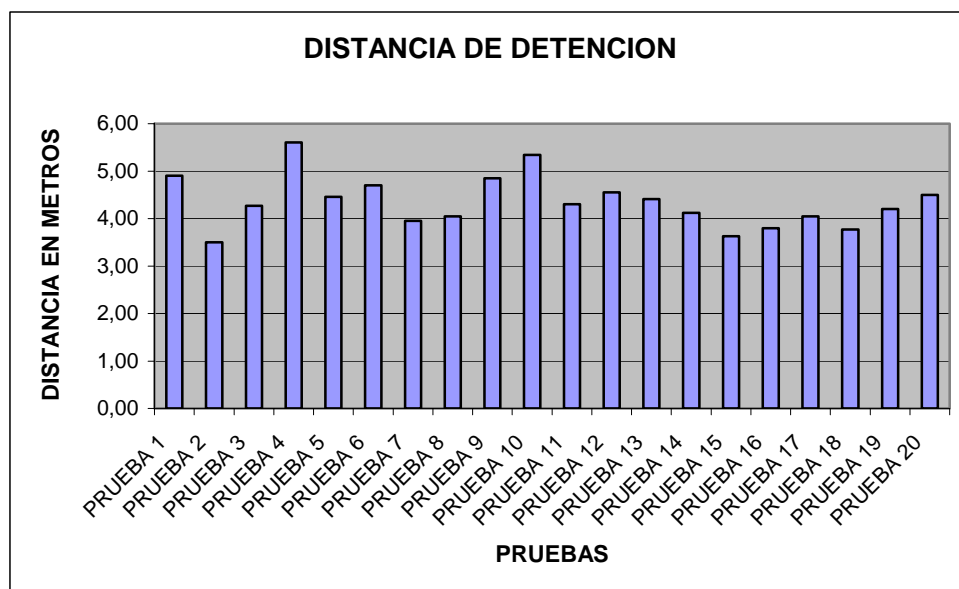
**Mediana:** se puede observar que el 50% de las distancias de frenado fue inferior a 4,41 metros, mientras que el 50% restante superó ese valor.

- **Distancias de detención generadas con neumáticos lisos**

**Tabla N° 2:** Distancias de detención obtenidas con neumáticos lisos

<b>DISTANCIA DE DETENCION (en metros)</b>	
PRUEBA 1	4,90
PRUEBA 2	3,50
PRUEBA 3	4,27
PRUEBA 4	5,60
PRUEBA 5	4,46
PRUEBA 6	4,70
PRUEBA 7	3,95
PRUEBA 8	4,05
PRUEBA 9	4,85
PRUEBA 10	5,34
PRUEBA 11	4,30
PRUEBA 12	4,55
PRUEBA 13	4,41
PRUEBA 14	4,12
PRUEBA 15	3,63
PRUEBA 16	3,80
PRUEBA 17	4,05
PRUEBA 18	3,77
PRUEBA 19	4,20
PRUEBA 20	4,50

FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

**Gráfico N° 2:** Distancias de detención obtenidas con neumáticos lisos

FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

En la tabla y el gráfico se puede observar que:

- Las distancias de frenado efectuadas con neumáticos lisos presentan un comportamiento irregular.
- La observación máxima no alcanza los seis metros.

Medidas de tendencia central para las distancias de frenado efectuadas con neumáticos lisos

3,50	4,30
3,63	4,41
3,77	4,46
3,80	4,50
4,27	5,60
3,95	4,55
4,05	4,70
4,05	4,85
4,12	4,90
4,20	5,34

**Observación mínima:** la mínima distancia de frenado fue de 3,50 metros.

**Observación máxima:** la máxima distancia de frenado fue de 5,60 metros.

**Media:** la distancia de frenado promedio efectuada con neumáticos lisos es de 4,35 metros.

**Mediana:** se puede observar que el 50% de las distancias de frenado fue inferior a 4,29 metros, mientras que el 50% restante superó ese valor.

### **Determinación del coeficiente de rozamiento**

Conociendo la velocidad inicial, 40 km/h y la distancia de detención, mediante la aplicación de la Ecuación Fundamental para el cálculo de velocidad, se procedió a calcular el coeficiente de rozamiento existente entre neumáticos nuevos sobre superficie de asfalto seco y entre neumáticos lisos sobre la misma superficie.

Para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$\mu = \frac{V_i^2}{2 \cdot g \cdot d}$$

A continuación se expondrán las tablas con los valores obtenidos para cada prueba de frenado.

- **Coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos nuevos**

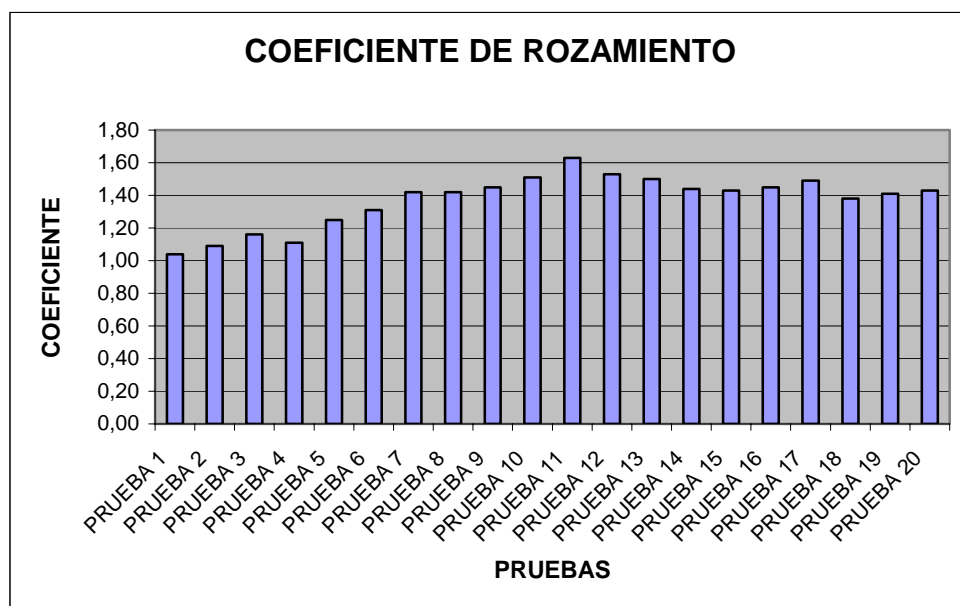
**Tabla N° 3:** Coeficientes de rozamiento obtenidos con las distancias de detención efectuadas con neumáticos nuevos

<b>COEFICIENTE DE ROZAMIENTO</b>	
PRUEBA 1	1,04
PRUEBA 2	1,09
PRUEBA 3	1,16
PRUEBA 4	1,11
PRUEBA 5	1,25
PRUEBA 6	1,31

PRUEBA 7	1,42
PRUEBA 8	1,42
PRUEBA 9	1,45
PRUEBA 10	1,51
PRUEBA 11	1,63
PRUEBA 12	1,53
PRUEBA 13	1,50
PRUEBA 14	1,44
PRUEBA 15	1,43
PRUEBA 16	1,45
PRUEBA 17	1,49
PRUEBA 18	1,38
PRUEBA 19	1,41
PRUEBA 20	1,43

FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

**Gráfico N° 3:** Coefficientes de rozamiento obtenidos con las distancias de detención efectuadas con neumáticos nuevos



FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado



Medidas de tendencia central para los coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos nuevos

1,04	1,43
1,09	1,43
1,11	1,44
1,16	1,45
1,42	1,63
1,25	1,45
1,31	1,49
1,38	1,50
1,41	1,51
1,42	1,53

**Observación mínima:** el coeficiente de rozamiento mínimo fue de 1,04.

**Observación máxima:** el coeficiente de rozamiento máximo fue de 1,63.

**Media:** el coeficiente de rozamiento promedio obtenido con neumáticos nuevos es 1,37.

**Mediana:** se puede observar que el 50% de los coeficientes de rozamiento fue inferior a 1,43, mientras que el 50% restante superó ese valor.

- **Coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos lisos**

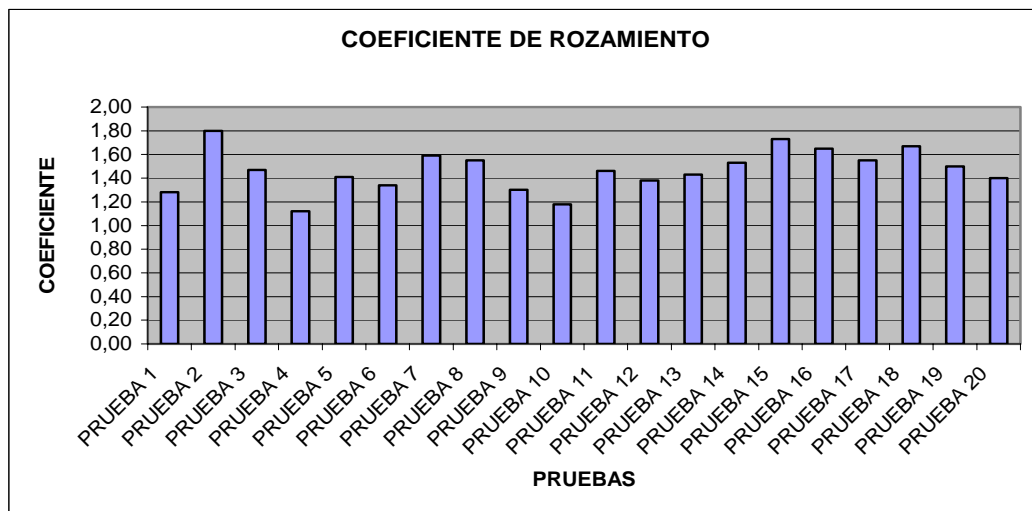
**Tabla N° 4:** Coeficientes de rozamiento obtenidos con las distancias de detención efectuadas con neumáticos lisos

<b>COEFICIENTE DE ROZAMIENTO</b>	
PRUEBA 1	1,28
PRUEBA 2	1,80
PRUEBA 3	1,47
PRUEBA 4	1,12

PRUEBA 5	1,41
PRUEBA 6	1,34
PRUEBA 7	1,59
PRUEBA 8	1,55
PRUEBA 9	1,30
PRUEBA 10	1,18
PRUEBA 11	1,46
PRUEBA 12	1,38
PRUEBA 13	1,43
PRUEBA 14	1,53
PRUEBA 15	1,73
PRUEBA 16	1,65
PRUEBA 17	1,55
PRUEBA 18	1,67
PRUEBA 19	1,50
PRUEBA 20	1,40

FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

**Gráfico N° 4:** Coefficientes de rozamiento obtenidos con las distancias de detención efectuadas con neumáticos lisos



FUENTE: datos obtenidos en ensayos de frenado

Medidas de tendencia central para los coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos lisos

1,12	1,47
1,18	1,50
1,28	1,53
1,30	1,55
1,34	1,55
1,38	1,59
1,40	1,65
1,41	1,67
1,43	1,73
1,46	1,80

**Observación mínima:** el coeficiente de rozamiento mínimo fue de 1,12.

**Observación máxima:** el coeficiente de rozamiento máximo fue de 1,80.

**Media:** el coeficiente de rozamiento promedio obtenido con neumáticos lisos es 1,47.

**Mediana:** se puede observar que el 50% de los coeficientes de rozamiento fue inferior a 1,47, mientras que el 50% restante superó ese valor.

### **Análisis de los datos y Discusión de resultados**

Luego de realizar las experiencias de frenado con rueda bloqueada utilizando ambos tipos de neumáticos (con banda de rodamiento en excelente estado y con banda de rodamiento lisa por el desgaste), se procedió a realizar el análisis estadístico de los datos, con el fin de obtener información concluyente.

#### **1. Análisis de las distancias de detención**

En este segmento se realizó un análisis comparativo entre las distancias de detención obtenidas con los neumáticos nuevos y las obtenidas con los neumáticos lisos y se determinaron las diferencias producidas entre unas y otras.

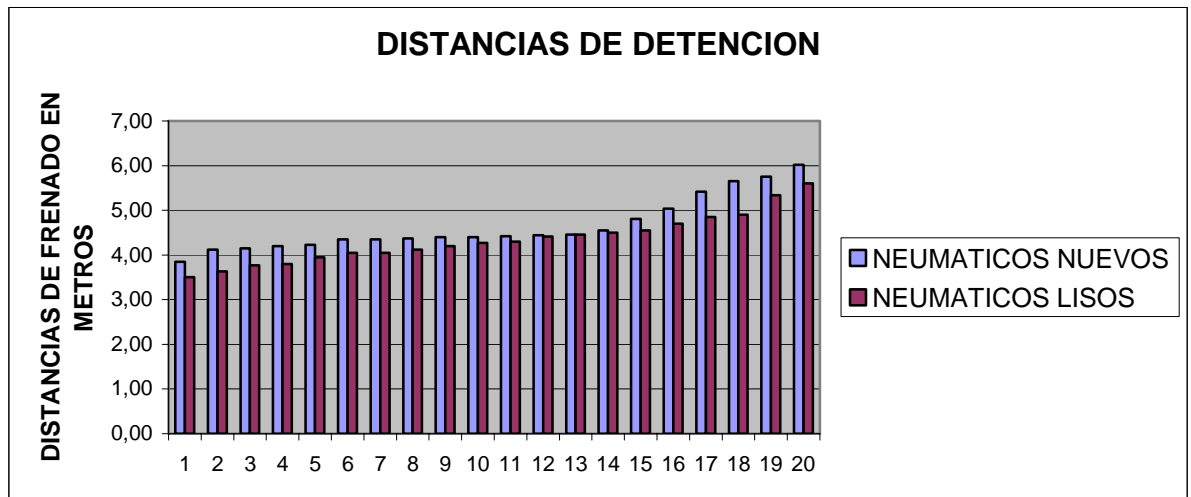
**Tabla N° 1.1:** Tabla comparativa entre distancias de detención obtenidas con neumáticos nuevos y con neumáticos lisos y sus diferencias

<b>DISTANCIAS DE DETENCION OBTENIDAS CON AMBOS TIPOS DE NEUMATICOS Y SUS DIFERENCIAS EN METROS (datos ordenados de manera creciente)</b>		
NEUMATICOS NUEVOS	NEUMATICOS LISOS	DIFERENCIA
3,85	3,50	0,35
4,12	3,63	0,49
4,15	3,77	0,38
4,20	3,80	0,40
4,23	3,95	0,28
4,35	4,05	0,30
4,35	4,05	0,30
4,37	4,12	0,25

4,40	4,20	0,20
4,40	4,27	0,13
4,42	4,30	0,12
4,44	4,41	0,03
4,46	4,46	0,00
4,55	4,50	0,05
4,81	4,55	0,26
5,04	4,70	0,34
5,42	4,85	0,57
5,65	4,90	0,75
5,75	5,34	0,41
6,02	5,60	0,42

FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

**Gráfico N° 1.1:** Comparación de distancias de detención obtenidas con neumáticos nuevos y con neumáticos lisos

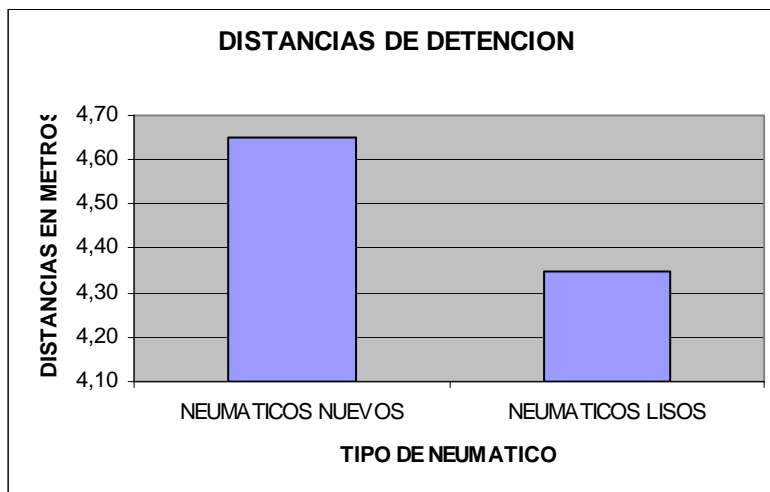


FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

En este gráfico se puede observar que, en ningún caso, las distancias de frenado efectuadas con neumáticos nuevos superó a las efectuadas con neumáticos lisos, es decir,

para una misma velocidad, los neumáticos lisos emplearon menor o igual distancia que los nuevos para detener totalmente al vehículo.

**Gráfico N° 1.2:** Distancia de detención promedio obtenida con neumáticos nuevos y lisos

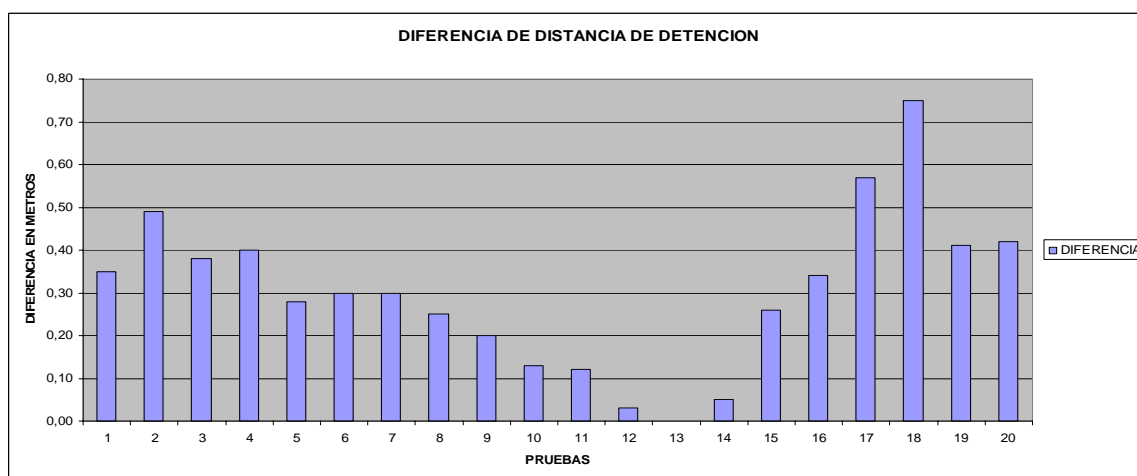


FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

En este gráfico se muestra las distancias de detención promedio que se obtuvieron con cada tipo de neumático siendo de 4,65 metros para los nuevos y de 4,35 metros para los lisos.

Posteriormente se procedió analizar las diferencias generadas entre las distancias de detención obtenidas con los neumáticos lisos y las obtenidas con los neumáticos nuevos.

**Gráfico N° 1.3:** Diferencias entre las distancias de detención obtenidas con neumáticos nuevos y las obtenidas con neumáticos lisos



FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

En este gráfico se puede observar que en un caso no existió diferencia en la distancia de detención, mientras que la diferencia máxima alcanzó los 75 cm.

En promedio, la diferencia en las distancias de detención efectuadas con neumáticos nuevos y con neumáticos lisos fue de 30 cm.

**Tabla N° 1.2:** Distribución de frecuencias para las diferencias de distancias de frenado

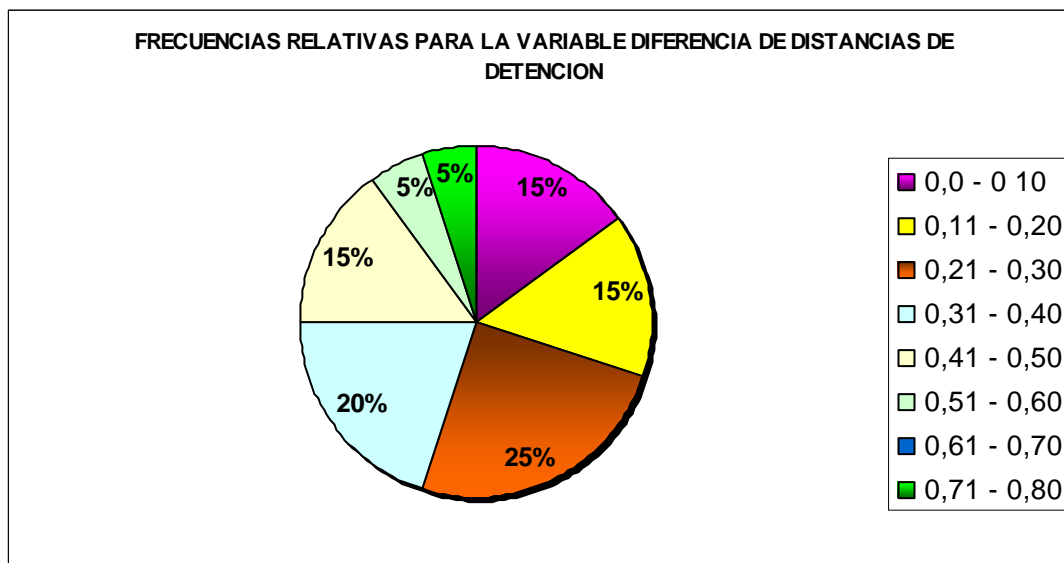
<b>DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA LA VARIABLE DIFERENCIA EN DISTANCIAS DE DETENCION</b>				
<b>RANGO EN CENTIMETROS</b>	<b>FRECUENCIAS ABSOLUTAS</b>	<b>FRECUENCIAS ABSOLUTAS ACUMULADAS</b>	<b>FRECUENCIAS RELATIVAS</b>	<b>FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS</b>
0,0 – 0,10	3	3	0,15	0,15
0,11 - 0,20	3	6	0,15	0,3
0,21 - 0,30	5	11	0,25	0,55
0,31 - 0,40	4	15	0,2	0,75
0,41 - 0,50	3	18	0,15	0,9
0,51 - 0,60	1	19	0,05	0,95
0,61 - 0,70	0	19	0	0,95
0,71 - 0,80	1	20	0,05	1

FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

En esta tabla se puede observar que:

- En el 5% de los casos, la diferencia de distancias de detención entre ambos tipos de neumáticos fue nula, es decir, ambos tipos de neumáticos se detuvieron en una distancia igual.
- En el 95% restante, los neumáticos lisos lograron detener al vehículo en una distancia menor que los neumáticos nuevos.
- En el 25% de los casos, la diferencia de la distancia de detención entre ambos tipos de neumáticos fue de 21 a 30 cm.
- En el 90% de los casos fue inferior a 50 cm.
- Solamente en un caso la diferencia superó los 70 cm.

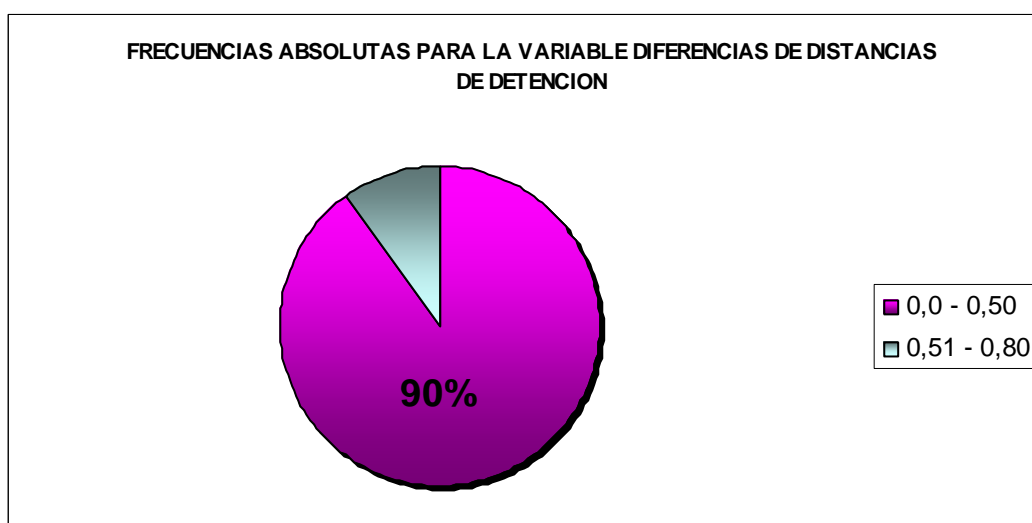
**Gráfico N° 1.4:** Distribución de Frecuencias para las diferencias de distancias de detención



FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

En este gráfico se puede observar que en el 15% de las pruebas, la diferencia en la distancia de detención entre ambos tipos de neumáticos fue inferior a los 11 cm, mientras que en el 25 % de los casos la diferencia rondó entre los 21 y los 30 cm. Solamente en el 5 % dicha diferencia alcanzó una longitud máxima de 70 cm.

**Gráfico N° 1.5:** Frecuencia absoluta acumulada para las diferencias de distancias de detención



FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado



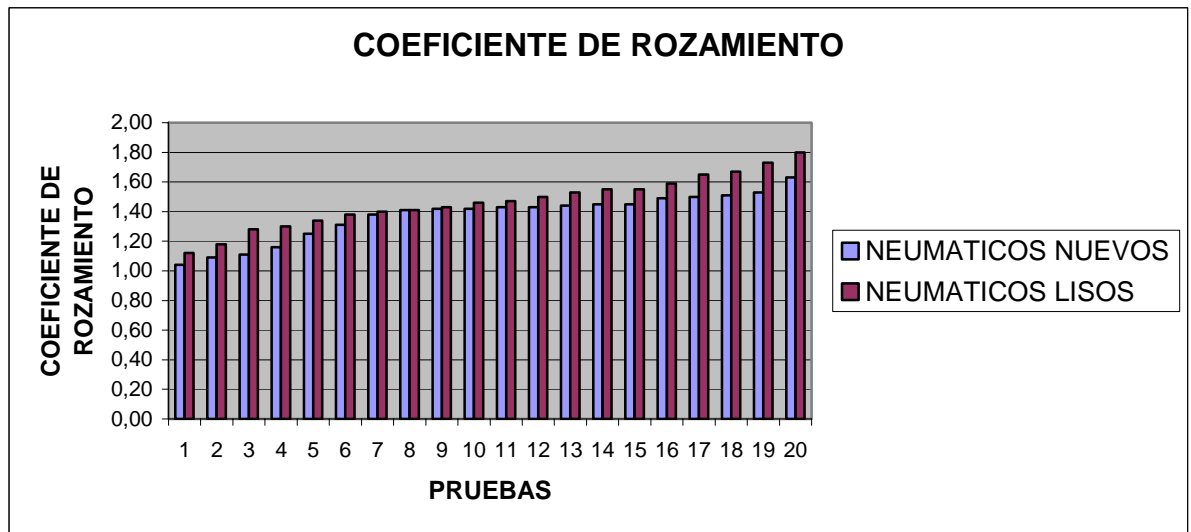
## 2. Análisis de los coeficientes de rozamiento

**Tabla N° 2.1:** Tabla comparativa entre coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos nuevos y con neumáticos lisos y sus diferencias porcentuales

<b>COEFICIENTES DE ROZAMIENTO OBTENIDOS CON AMBOS TIPOS DE NEUMATICOS Y SUS DIFERENCIAS PORCENTUALES (datos ordenados de manera creciente)</b>			
NEUMATICOS NUEVOS	NEUMATICOS LISOS	DIFERENCIA	DIFERENCIA PORCENTUAL
1,04	1,12	0,08	8%
1,09	1,18	0,09	8%
1,11	1,28	0,17	15%
1,16	1,30	0,14	12%
1,25	1,34	0,09	7%
1,31	1,38	0,07	5%
1,38	1,40	0,02	1%
1,41	1,41	0,00	0%
1,42	1,43	0,01	1%
1,42	1,46	0,04	3%
1,43	1,47	0,04	3%
1,43	1,50	0,07	5%
1,44	1,53	0,09	6%
1,45	1,55	0,10	7%
1,45	1,55	0,10	7%
1,49	1,59	0,10	7%
1,50	1,65	0,15	10%
1,51	1,67	0,16	11%
1,53	1,73	0,20	13%
1,63	1,80	0,17	10%

FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

**Gráfico N° 2.1:** Coefficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos nuevos y con neumáticos lisos

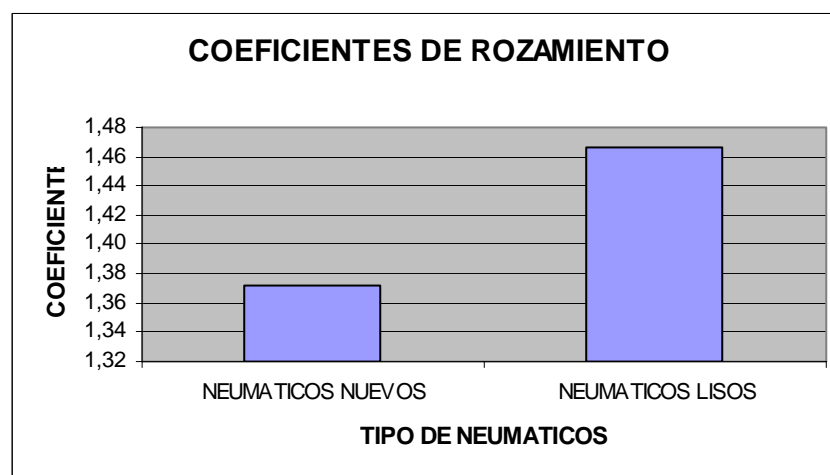


FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

En el caso de coeficiente de rozamiento se puede observar que:

- Los coeficientes obtenidos con neumáticos lisos fueron, en la mayoría de los casos, superiores a los obtenidos con neumáticos nuevos.
- En ningún caso, el coeficiente obtenido con neumáticos lisos fue inferior al obtenido con los nuevos.
- En el 65% de los casos, la diferencia de coeficiente entre ambos tipos de neumáticos no logró superar la décima.

**Gráfico N° 2.2:** Coefficientes de rozamiento promedio obtenidos con neumáticos nuevos y lisos

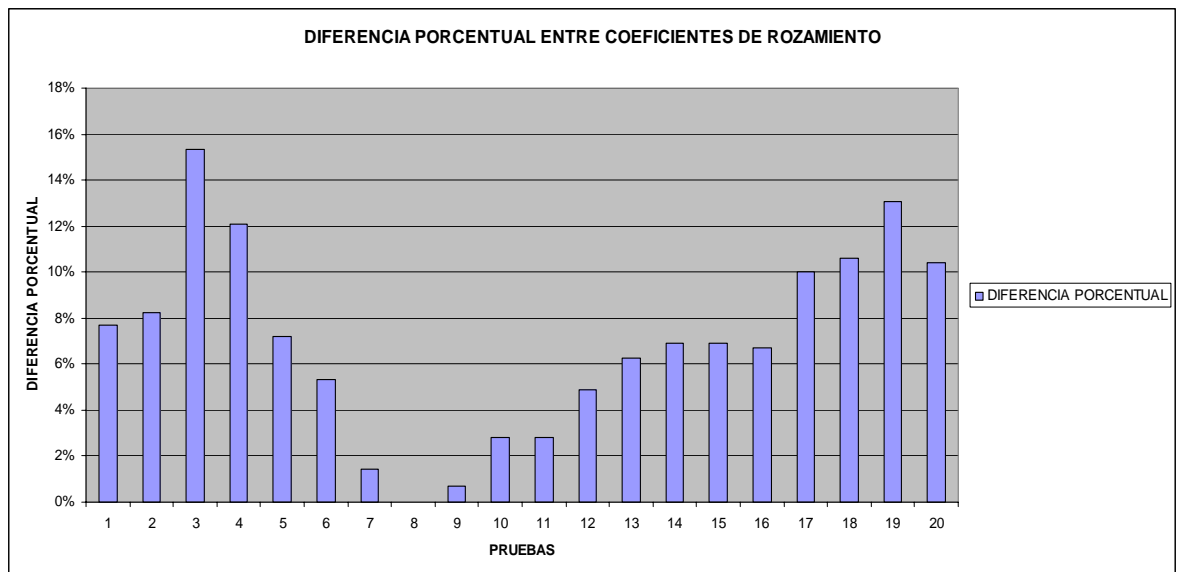


FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

En este gráfico se muestran, comparativamente, los coeficientes de rozamiento promedio obtenidos con ambos tipo de neumáticos.

Analizando de manera porcentual las diferencias generadas entre los coeficientes obtenidos con cada tipo de neumático, se realizaron las siguientes observaciones:

**Gráfico N° 2.3:** Diferencias porcentuales entre coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos nuevos y lisos



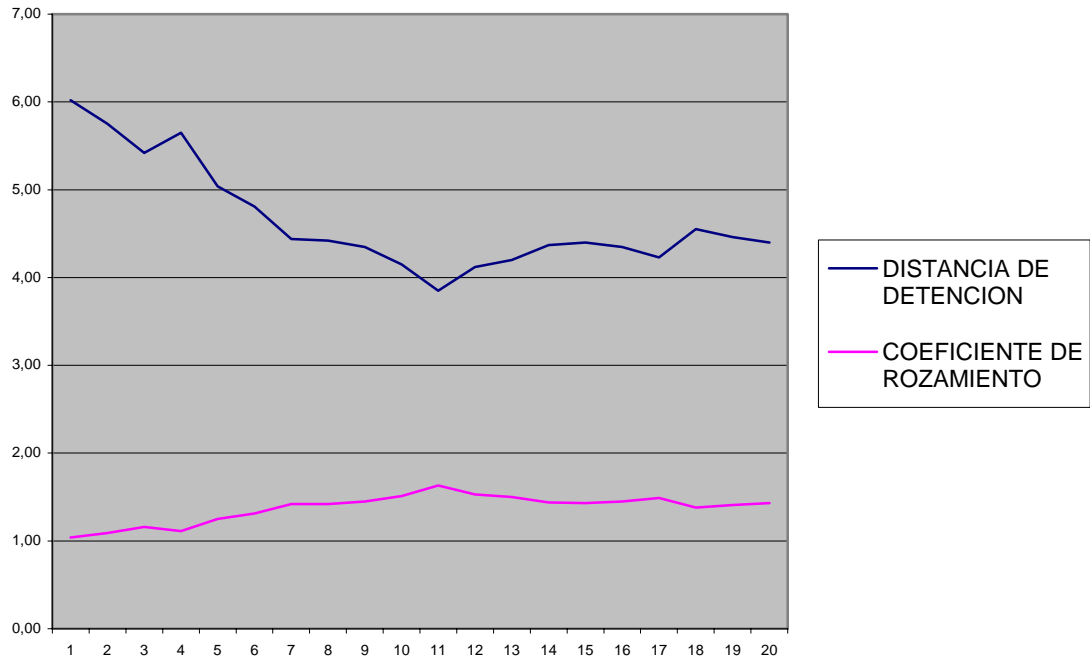
FUENTE: Datos obtenidos en ensayos de frenado

En un caso se observó que el coeficiente de rozamiento obtenido por ambos tipos de neumáticos fue de igual valor, mientras que en los casos restantes, los coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos lisos superaron a los obtenidos con neumáticos nuevos.

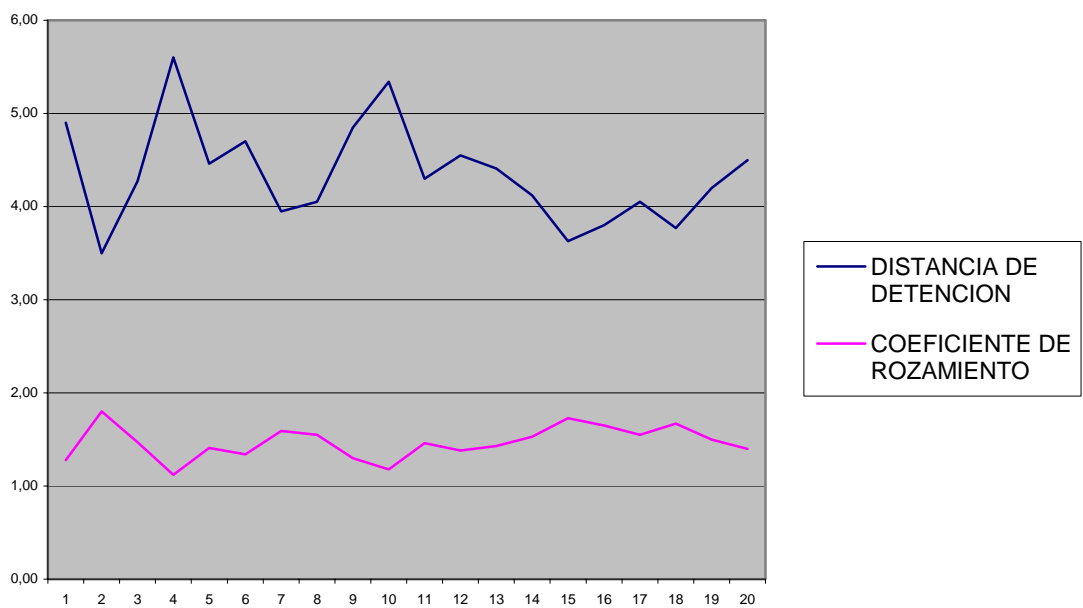
En promedio, la diferencia porcentual fue de 7%, observándose una diferencia máxima del 15%.

Posteriormente, haciendo un análisis comparativo entre las distancias de detención y sus respectivos coeficientes de rozamiento, se observó que el comportamiento del coeficiente de rozamiento es exactamente opuesto al de las distancias de frenado, por lo tanto el coeficiente de rozamiento es inversamente proporcional a la distancia de frenado.

**Gráfico N° 2.4:** Gráficos comparativos entre distancias de frenado efectuadas con neumáticos nuevos y coeficientes de rozamiento obtenidos con los mismos neumáticos



**Gráfico N° 2.5:** Gráficos comparativos entre distancias de frenado efectuadas con neumáticos lisos y coeficientes de rozamiento obtenidos con los mismos neumáticos



En estos gráficos se puede observar que:

- El comportamiento del coeficiente de rozamiento es exactamente opuesto al de las distancias de frenado.
- El coeficiente de rozamiento es inversamente proporcional a la distancia de frenado.
- Los coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos nuevos crecen hasta estabilizarse.
- Los coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos lisos presentan un comportamiento más irregular.

### **3. Determinación de la variación entre la velocidad obtenida por aplicación de la Ecuación Fundamental y la velocidad real**

Con el propósito de determinar la variación entre la velocidad calculada de manera teórica y la velocidad real, se procedió a realizar el cálculo de la misma a través de la Ecuación Fundamental utilizando, como variables, los coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos nuevos y las distancias efectuadas con neumáticos lisos. Posteriormente se realizó nuevamente el cálculo, esta vez utilizando los coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos lisos y las distancias efectuadas con neumáticos nuevos.

Debido a que el coeficiente de rozamiento es inversamente proporcional a la distancia de frenado, los valores de las distancias de detención fueron ordenados de manera creciente mientras que los coeficientes de rozamiento lo hicieron de manera decreciente.

En primer lugar, se realizó el cálculo en base a las distancias de detención efectuadas con neumáticos lisos pero aplicando los coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos nuevos. De esta manera, el resultado que se obtuvo se comparó con el valor real y se determinó su variación.

En segundo lugar, se realizó el cálculo en base a las distancias de detención efectuadas con neumáticos nuevos pero aplicando los coeficientes de rozamiento

obtenidos con neumáticos lisos. El resultado obtenido también fue comparado con el valor real, determinando su variación.

### 3.1. Cálculo de velocidad para distancias de detención con neumáticos lisos

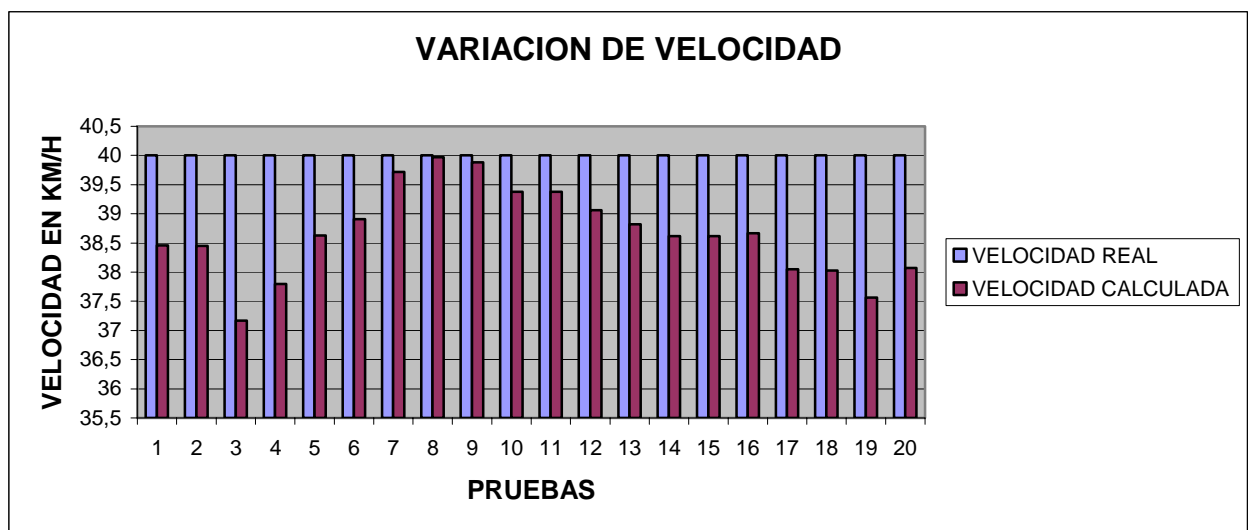
**Tabla N° 1.1:** Velocidad calculada en base a la distancia de detención generada con neumáticos lisos y al coeficiente de rozamiento obtenido con neumáticos nuevos

DISTANCIAS DE DETENCION NEUMATICOS LISOS	COEFICIENTES DE ROZAMIENTO NEUMATICOS NUEVOS	VELOCIDAD CALCULADA
5,6	1,04	38
5,34	1,09	38
4,9	1,11	37
4,85	1,16	38
4,7	1,25	39
4,55	1,31	39
4,5	1,38	40
4,46	1,41	40
4,41	1,42	40
4,3	1,42	39
4,27	1,43	39
4,2	1,43	39
4,12	1,44	39
4,05	1,45	39
4,05	1,45	39
3,95	1,49	39

3,8	1,5	38
3,77	1,51	38
3,63	1,53	38
3,5	1,63	38

FUENTE: Datos obtenidos por aplicación de la Ecuación Fundamental con los datos recogidos de los ensayos de frenado.

**Gráfico N° 1.1:** Comparación entre la velocidad calculada y la velocidad real



FUENTE: Datos obtenidos por aplicación de la Ecuación Fundamental con los datos recogidos de los ensayos de frenado.

Se puede observar que la velocidad mínima fue de 37,0 km/h, mientras que la velocidad promedio es 39,0 km/h. En algunos casos, la velocidad calculada coincidió con la velocidad real de circulación. También encontramos que el 50% de los coeficientes de rozamiento fue inferior a 39,0, mientras que el 50% restante igualó ó superó ese valor.

Debido a que las pruebas se efectuaron a 40 km/h, entonces se procedió a determinar la variación porcentual entre las velocidades calculadas y la velocidad real.

**Tabla N° 1.2:** Variación porcentual producida entre velocidad real y velocidad calculada

VARIACION PORCENTUAL
-4%
-4%
-7%
-6%
-3%
-3%
-1%
0%
0%
-2%
-2%
-2%
-3%
-3%
-3%
-3%
-5%
-5%
-6%
-5%

FUENTE: Datos obtenidos por aplicación de la Ecuación Fundamental con los datos recogidos de los ensayos de frenado.

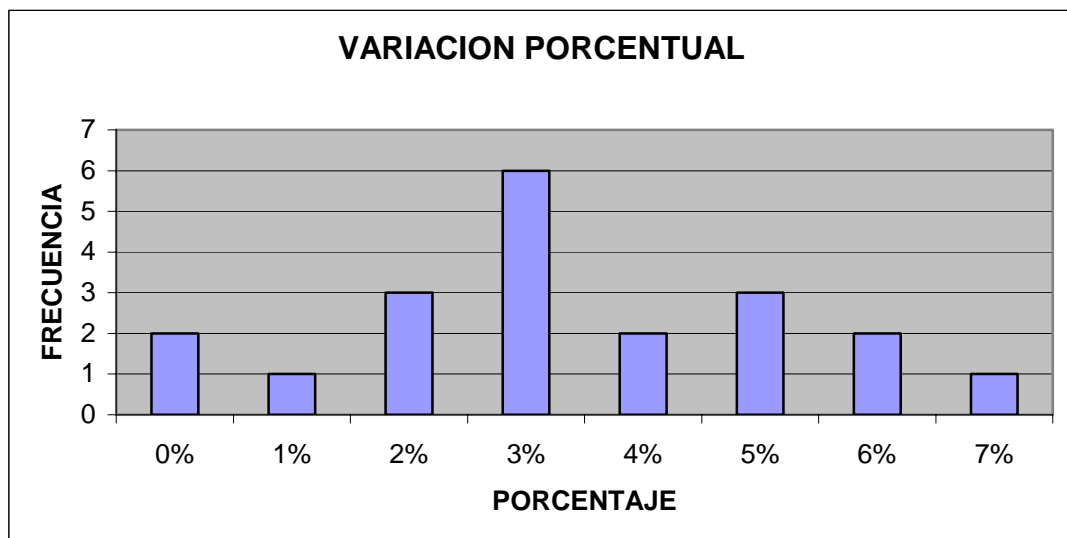
En la tabla anterior se puede observar que la variación máxima fue de -7%, mientras que el promedio de las variaciones fue de -3%.



**Tabla N° 1.3:** Distribución de frecuencias para la variación porcentual de velocidad

<b>DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA LA VARIACION DE VELOCIDAD</b>				
<b>PORCENTAJE</b>	<b>FRECUENCIAS ABSOLUTAS</b>	<b>FRECUENCIAS ABSOLUTAS ACUMULADAS</b>	<b>FRECUENCIAS RELATIVAS</b>	<b>FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS</b>
0%	2	2	0,1	0,1
- 1%	1	3	0,05	0,15
- 2%	3	6	0,15	0,3
- 3%	6	12	0,3	0,6
- 4%	2	14	0,1	0,7
- 5%	3	17	0,15	0,85
- 6%	2	19	0,1	0,95
- 7%	1	20	0,05	1

FUENTE: Datos obtenidos por aplicación de la Ecuación Fundamental con los datos recogidos de los ensayos de frenado.

**Gráfico N° 1.2:** Variación porcentual producida entre velocidad real y velocidad calculada

FUENTE: Datos obtenidos por aplicación de la Ecuación Fundamental con los datos recogidos de los ensayos de frenado.

En este gráfico se puede observar que la mayor parte de los cálculos arrojan como resultados una diferencia negativa 3% respecto de la velocidad real.

### 3.2. Cálculo de velocidad para distancias de detención con neumáticos nuevos

En segundo lugar se realizó el cálculo en base a las distancias de detención efectuadas con neumáticos nuevos pero aplicando los coeficientes de rozamiento obtenidos con neumáticos lisos. A continuación se podrá observar la tabla completa con los datos obtenidos:

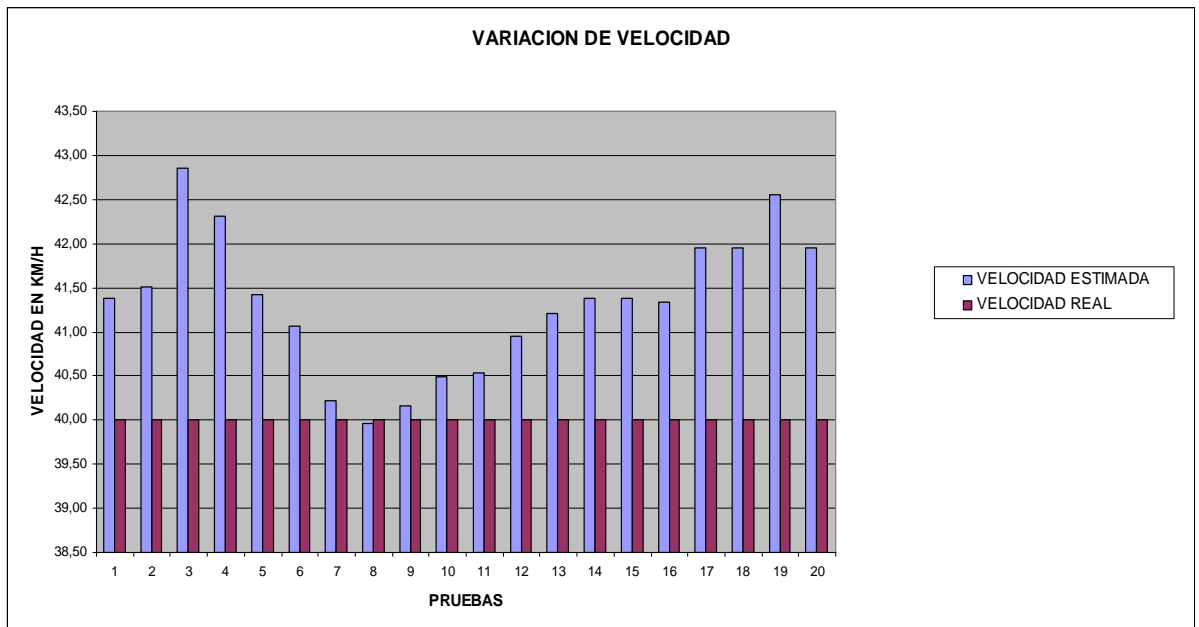
**Tabla N° 2.1:** Velocidad calculada en base a la distancia de detención generada con neumáticos nuevos y al coeficiente de rozamiento obtenido con neumáticos lisos

DISTANCIAS DE DETENCION NEUMATICOS NUEVOS	COEFICIENTES DE ROZAMIENTO NEUMATICOS LISOS	VELOCIDAD CALCULADA
6,02	1,12	41
5,75	1,18	42
5,65	1,28	43
5,42	1,30	42
5,04	1,34	41
4,81	1,38	41
4,55	1,40	40
4,46	1,41	40
4,44	1,43	40
4,42	1,46	40
4,40	1,47	41
4,40	1,50	41
4,37	1,53	41
4,35	1,55	41
4,35	1,55	41

4,23	1,59	41
4,20	1,65	42
4,15	1,67	42
4,12	1,73	43
3,85	1,80	42

FUENTE: Datos obtenidos por aplicación de la Ecuación Fundamental con los datos recogidos de los ensayos de frenado.

**Gráfico N° 2.1:** Comparación entre la velocidad calculada y la velocidad real



FUENTE: Datos obtenidos por aplicación de la Ecuación Fundamental con los datos recogidos de los ensayos de frenado.

Se puede observar que la velocidad máxima fue de 43,0 km/h, mientras que la velocidad promedio es 41,0 km/h. En algunos casos, la velocidad calculada coincidió con la velocidad real de circulación. También encontramos que el 50% de los coeficientes de rozamiento fue inferior a 41,0, mientras que el 50% restante igualó ó superó ese valor.

**Tabla N° 1.2:** Variación porcentual producida entre velocidad real y velocidad calculada

VARIACION PORCENTUAL
3%
4%
7%
6%
4%
3%
1%
0%
0%
1%
1%
2%
3%
3%
3%
3%
5%
5%
6%
5%

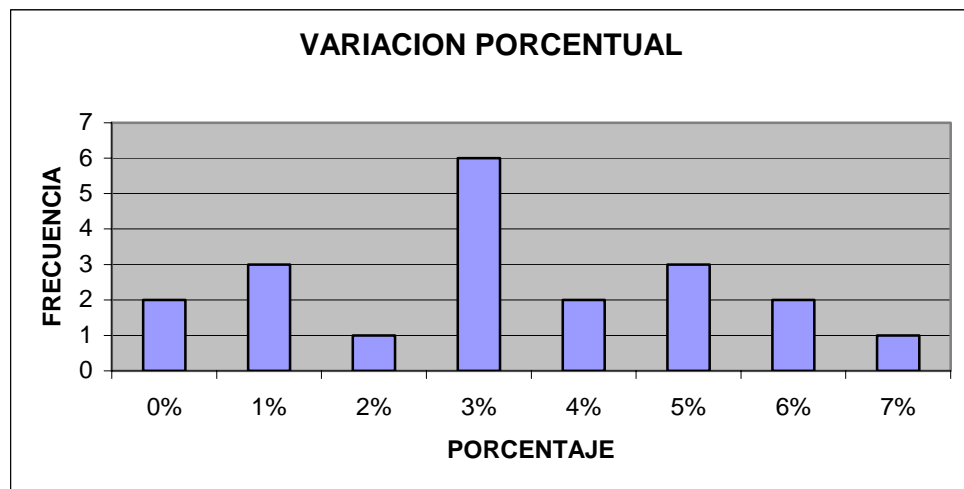
FUENTE: Datos obtenidos por aplicación de la Ecuación Fundamental con los datos recogidos de los ensayos de frenado.

En esta tabla se puede observar que la variación máxima fue de 7%, mientras que el promedio de las variaciones fue de 3%.

**Tabla N° 1.3:** Distribución de frecuencias para la variación porcentual de velocidad

<b>DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA LA VARIACION DE VELOCIDAD</b>				
<b>PORCENTAJE</b>	<b>FRECUENCIAS ABSOLUTAS</b>	<b>FRECUENCIAS ABSOLUTAS ACUMULADAS</b>	<b>FRECUENCIAS RELATIVAS</b>	<b>FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS</b>
0%	2	2	0,1	0,1
1%	3	5	0,15	0,25
2%	1	6	0,05	0,3
3%	6	12	0,3	0,6
4%	2	14	0,1	0,7
5%	3	17	0,15	0,85
6%	2	19	0,1	0,95
7%	1	20	0,05	1

FUENTE: Datos obtenidos por aplicación de la Ecuación Fundamental con los datos recogidos de los ensayos de frenado.

**Gráfico N° 1.2:** Variación porcentual producida entre velocidad real y velocidad calculada

FUENTE: Datos obtenidos por aplicación de la Ecuación Fundamental con los datos recogidos de los ensayos de frenado.

En este gráfico se puede observar que la mayor parte de los cálculos arrojan como resultados una diferencia positiva del 3 % respecto de la velocidad real.

## **Discusión de los resultados**

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

### **- Distancias de detención y coeficiente de rozamiento**

Las distancias de detención generadas por ambos tipos de neumáticos presentaron una variación promedio de 7 % a favor de los neumáticos lisos, lo que equivale a una distancia de 30 cm, observándose una variación máxima de 15 %, equivalente a una distancia de 75 cm, también a favor de los neumáticos lisos. Esto significa que, en general, los neumáticos lisos logran detener al vehículo en una distancia menor que los neumáticos nuevos.

Respecto de los coeficientes de rozamiento, también se obtuvo una variación promedio de 7 % y una variación máxima de 15 % a favor de los neumáticos lisos. Esto significa que el coeficiente de rozamiento obtenido con neumáticos lisos sobre asfalto seco es mayor que el obtenido con neumáticos nuevos sobre la misma superficie.

### **- Variación entre la velocidad calculada a través de la Ecuación Fundamental y velocidad real de circulación**

Entre la velocidad calculada a través de la Ecuación Fundamental y la velocidad real de circulación, al no tener en cuenta el desgaste de los neumáticos como fuente de error, se observaron las siguientes variaciones:

La variación porcentual promedio entre velocidad calculada y velocidad real es, de  $\pm 3$  % que a una velocidad de circulación de 40 km/h, representa 1 km/h, estableciéndose en consecuencia un parámetro de velocidad de entre 39 y 41 km/h.

No obstante ello, se observaron variaciones de velocidad de  $\pm 7$  %, lo cual nos otorga un rango de velocidad entre los 37 y los 43 km/h.

- **Análisis de sensibilidad**

En este trabajo se pudo comprobar que, los datos obtenidos se ajustan al análisis de sensibilidad aportado por la Ingeniera Berardo en su libro “Accidentes de tránsito. Análisis pericial técnico-científico”; ya que, un error del 7% en la distancia de detención generó una variación en el cálculo de velocidad del 3%. Así también, un error del 15% en dicha distancia, generó una variación del 7% en el mencionado cálculo.



# CAPITULO V



## **Conclusión**

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

Se comprobó que el desgaste de la banda de rodamiento de los cuatro neumáticos marca Firestone, 185/70 R 13, utilizados en un automóvil Renault 11, modelo TS, luego de una frenada con rueda bloqueada a 40 km/h, sobre una superficie de asfalto seco, genera una influencia en el cálculo de la velocidad de circulación de dicho vehículo al momento de iniciar la acción de frenado.

Se obtuvo como resultado de las experiencias que dicha influencia generó fue, en promedio, de  $\pm 3\%$ , es decir, 1 km/h. No obstante ello, se observó una influencia máxima de  $\pm 7\%$ , equivalente a 3 km/h.

Se estableció que entre las distancias de detención generadas con neumáticos nuevos y las generadas con neumáticos lisos existe una diferencia, en promedio, de 30 cm.

Se verificó que, en el 95% de los casos, los neumáticos lisos lograron detener al vehículo en una distancia menor que la empleada por los neumáticos nuevos.

En el 5 % restante de los casos, la distancia de detención producida con neumáticos lisos fue igual que la obtenida con neumáticos nuevos.

Se determinó que el coeficiente de rozamiento obtenido entre neumáticos lisos sobre superficie de asfalto seco, a una velocidad de 40 km/h, en ningún caso es inferior al obtenido entre neumáticos nuevos y la misma superficie.

### **Aportes y Recomendaciones**

Esta tesina abre las puertas para realizar futuras investigaciones sobre diversos aspectos tales como:

- Verificar si a más de 40 km por hora se mantiene constante la variación entre velocidad calculada a través de la Ecuación Fundamental y la velocidad real de circulación; teniendo en cuenta el desgaste de los neumáticos.
- Estudiar si con otras marcas de neumáticos y sobre otro tipo de calzadas sucede lo mismo.
- Determinar la influencia que, en el cálculo de velocidad, poseen otros factores de incerteza, como pueden ser: temperatura ambiente, estado del sistema de frenos, etc.
- Indagar sobre la utilización de diferentes dispositivos, tales como tacógrafos y acelerómetros, para lograr una medición de mayor precisión en la longitud de la distancia de detención, en la determinación del coeficiente de rozamiento y en el cálculo de la velocidad.

El aporte realizado por esta investigación es de suma relevancia a la hora de realizar pericias accidentológicas, ya que, en el seno de una investigación judicial, donde un cálculo de velocidad adquiere gran protagonismo, es frecuente observar a las partes del proceso indagando hasta el más mínimo detalle con el objeto de obtener una resolución favorable del caso.

Es por ello que se recomienda continuar realizando investigaciones en el campo de la Accidentología Vial ya que, como expresan López, González y Pulla en su obra “Manual Básico de Investigación y Reconstrucción”:

Todo investigador debe ser consciente de que la tecnología de vehículos progresa día tras día y, por tanto, debe preocuparse por trabajar con parámetros de cálculo actualizados.



# **ANEXO**

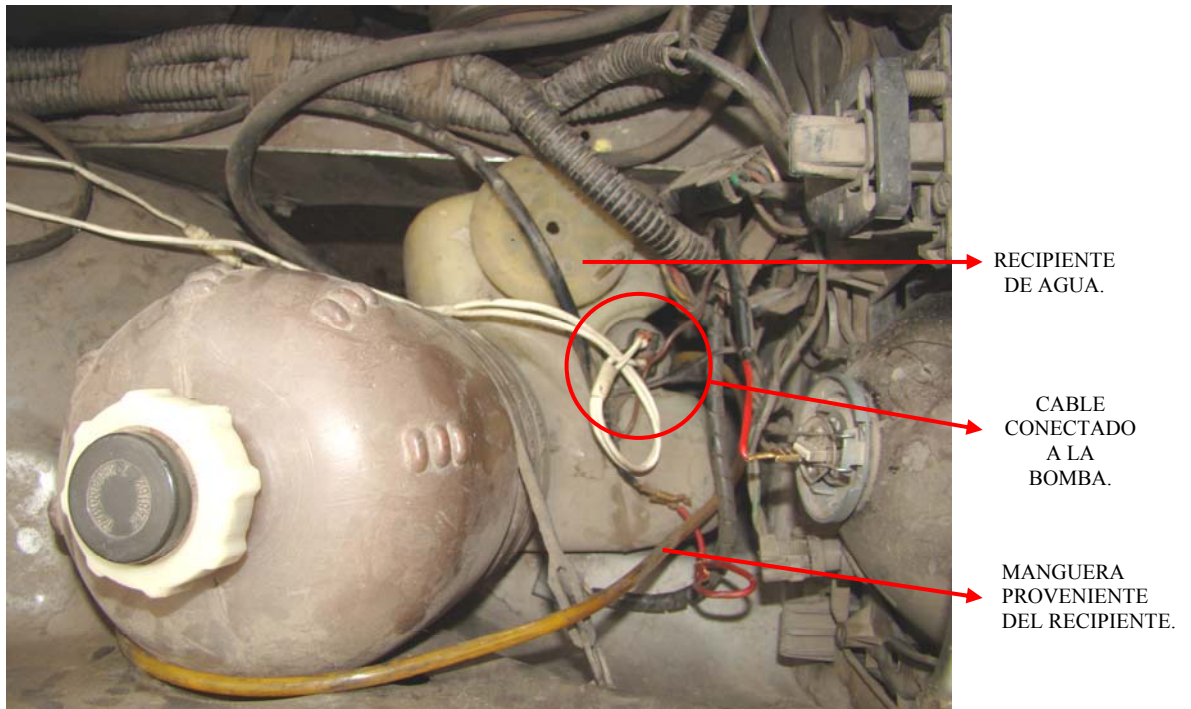
**Fotografías del dispositivo manante de líquido sobre la calzada**



AUTOMOVIL RENAULT 11 UTILIZADO EN LAS EXPERIENCIAS DE FRENADO.



EL EXTREMO DE UN CABLE FUE CONECTADO AL BULBO DE LA LUZ DE STOP.



EL EXTREMO RESTANTE FUE CONECTADO A LA BOMBA DEL RECIPIENTE DE AGUA DEL SISTEMA DE LIMPIAPARABRISAS.  
EL EXTREMO DE UNA MANGUERA FUE COLOCADO EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.



EL EXTREMO RESTANTE DE LA MANGUERA FUE SUJETADO AL SECTOR INFERIOR DEL GUARDABARRO DELANTERO DERECHO.



REGUERO LIQUIDO DEPOSITADO SOBRE LA CALZADA LUEGO DE UNA FRENADA.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Academia de tráfico de la Guardia Civil.** (1991). *Investigación de accidentes de tráfico*. Madrid: Dirección General de Tráfico.
  
2. **Alvea, E.** (2008). *Influencia del peso en la huella de frenado*. Tesis para optar al título de Licenciado en Criminalística, Facultad de Psicología, Universidad del Aconcagua, Mendoza, Argentina.
  
3. **Berardo, M. G.** (2004). *Accidentes de tránsito. Análisis pericial técnico-científico*. Córdoba: Editorial Mediterránea.
  
4. **Castro, G.** (2008). *Materiales y compuestos para la industria del neumático*.  
Extraído el 29 de agosto, 2010, de  
[http://materias.fi.uba.ar/6715/Material\\_archivos/Material%20complementario%2067.17/Materiales%20y%20Compuestos%20para%20la%20Industria%20del%20Neumatico.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Materiales%20y%20Compuestos%20para%20la%20Industria%20del%20Neumatico.pdf).
  
5. **Cenek, P., Jamieson, N. & McLarin, M.** (2005). *Frictional Characteristics of roadside grass types*. Extraído el 31 de agosto, 2009, de  
<http://www.nzta.govt.nz/resources/surface-friction-conference-2005/8/docs/frictional-characteristics-roadside-grass-types.pdf>
  
6. **Goudie, D.W., Bowler, J.J., Brown, C.A. & Heinrichs, B.E.** (2000). *Tire Friction During Locked Wheel Braking*. Extraído el 20 de septiembre, 2009, de  
<http://mfes.com/friction.html>.
  
7. **Irureta, V.** (1999). *Accidentología Vial y pericia*. Buenos Aires: Ediciones La Roca.

8. **López, J. J., González, J. M. y Pulla, A. I.** (2001). *Manual Básico de Investigación y Reconstrucción*. Zaragoza: Copy Center.
  
9. **Pisano, J. M.** (2007). *Producción de huellas de frenado en un automóvil con sistemas de frenos ABS, sobre hormigón*. Tesis para optar al título de Licenciado en Criminalística, Facultad de Psicología, Universidad del Aconcagua, Mendoza, Argentina.
  
10. **Sears, Zemansky & Young.** (1988). *Física Universitaria*. U.S.A.: Addison-Wesley Iberoamericana.
  
11. **Trooper, R. & Kwasnoski, J.** (2003). *Drag Factor Tests on grass using ABS and non ABS braking*. Extraído el 03 de noviembre, 2009, de <http://www.accidentreconstruction.com/newsletter/jul03/drag.asp>.
  
12. **Wallingford, J.G., Greenlees, W. & Christoffersen, S.** (1990). *Tire-roadway friction coefficients on concrete and asphalt surfaces applicable for accident reconstruction*. Extraído el 20 de septiembre de <http://mfes.com/friction.html>.