

	DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORENSES ORGANISMO DE INVESTIGACIÓN JUDICIAL (OIJ) PODER JUDICIAL, COSTA RICA	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN NORMADO ESPECIFICO
	DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UN VEHÍCULO	P-DCF-ECT-ING-31
VERSIÓN: 02	Rige desde: 20/Mayo/2022	PAGINA: 1 de 18

Elaborado o modificado por: Ing. Luis Amores Cambronero Perito Judicial 1, Unidad de Accidentología	Revisado por Líder Técnico: Ing. Luis Amores Cambronero Líder Técnico, Unidad de Ingeniería y Accidentología
Visto Bueno Encargado de Calidad: Ing. Harley Chacón Núñez Encargado de Calidad de la Sección de Ingeniería Forense	Aprobado por: Ing. Adolfo Rodríguez Loría Jefatura, Sección de Ingeniería Forense

CONTROL DE CAMBIOS A LA DOCUMENTACIÓN

Versión	Fecha de Aprobación	Fecha de Revisión	Descripción del Cambio	SCD	Solicitado por
01	12/06/2020	20/05/2022	Versión inicial del procedimiento	005-SCD-ING-2020	ARL
02	20/05/2022		Inclusión de nuevos modelos físicos-matemáticos	002-SCD-ING-2022	ARL

**ESTE PROCEDIMIENTO ES UN DOCUMENTO CONFIDENCIAL
PARA USO INTERNO DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORENSES
SE PROHÍBE CUALQUIER REPRODUCCIÓN QUE NO SEA PARA ESTE FIN**

La versión oficial digital es la que se mantiene en la ubicación que la Unidad de Gestión de Calidad defina. La versión oficial impresa es la que se encuentra en la Unidad de Gestión de Calidad. Cualquier otro documento impreso o digital será considerado como copia no controlada

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORENSES	VERSIÓN 02	PAGINA: 2 de 18
DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UN VEHÍCULO	P-DCF-ECT-ING-31	

1 Objetivo:

Presentar una guía para calcular la velocidad de circulación de un vehículo mediante varios modelos físicos-matemáticos de aplicación en la Reconstrucción de Hechos de Tránsito.

2 Alcance:

Este PON es de acatamiento obligatorio para el personal de la Sección de Ingeniería Forense, que cuente con la competencia en la Reconstrucción Analítica de un Hecho de Tránsito, y específicamente en el análisis de cálculo de velocidad de un vehículo.

3 Referencias:

Procedimiento para cálculo de velocidad, versión 01, P-DCF-ECT-ING-01.

Best Practice Manual for Road Accident Reconstruction ENFSI-BPM-RAA-01 Versión 01 – Noviembre 2015 (www.enfsi.com)

Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods, Second Edition. Raymon M. Brach and R. Matthew Brach. SAE International.

Traffic Accident Reconstruction. Volume 2 of The Traffic Accident Investigation Manual. Lynn B. Fricke. Northwestern University Traffic Institute.

Critical Speed Yaw: Theory & Special Situations. Wade Bartlett, PE. 2021 Joint Conference hosted by MDATAI.

“Cálculo de velocidad en base a huellas de derrape”. Luis Marcelo Ance. Octubre 2003. Congreso Iberoamericano de Accidentología Vial.

Modelos Físicos para Accidentología Vial. Editorial Doctos. 1a. ed, 2012. Gustavo A. Enciso.

Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method. JCGM 101:2008. 1 ed. 2008.

Conducting Monte Carlo Analysis with Spreadsheet Programs. SAE Technical Paper Series. 2003-01-0487. Wade Bartlett. Mechanical Forensics Engineering Services, LLC.

Monte Carlo Analysis for Accident Reconstruction. 2007. Wade Bartlett. Mechanical Forensics Engineering Services, LLC.

Uncertainty Analysis in Forensic Practice: How to Apply It Wherever Scientific Integrity Demands Its Use. Jurisprudence Section – 2012. American Academy of Forensic Sciences.

4 Equipos y Materiales:

Parte Oficial de Tránsito

Croquis de sitio del suceso

Informe policial

Hoja de cálculo: “H-DCF-ECT-ING-02 (Velocidad)” en su versión vigente

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORENSES	VERSIÓN 02	PAGINA: 3 de 18
DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UN VEHÍCULO	P-DCF-ECT-ING-31	

Computadora aportada por la institución con un procesador de texto y un programa de dibujo asistido por computadora, o similar

Clinómetro digital con una graduación a cada grado sexagesimal ($\pm 0.5^\circ$), o similar

Cámara digital Canon EOS 30D o similar

Navegador GNSS

Nivel

Formulario de inspección de ingeniería forense Tipo C

Libro de control de equipo (en el caso que el equipo utilice)

Lápiz o portaminas y borrador

Estación Total Topográfica aportada por la institución y equipo auxiliar

Formulario de verificación de equipo correspondiente al equipo a utilizar

Libreta de campo o tabla de dibujo

Chalecos retroreflectivos

Conos viales de seguridad

Radios de frecuencia corta

Skidman

Base de datos de coeficientes de fricción

Odómetro

Medidor láser

Cinta métrica

[PON "Uso y manejo del Skidman P-DCF-ECE-ING-02" en su versión vigente](#)

5 Reactivos y Materiales de Referencia:

N/A

6 Condiciones Ambientales:

En caso de tormenta eléctrica: no se recomienda realizar ningún tipo de medición.

Fuerte precipitación: no se recomienda realizar o continuar con el proceso de medición, se deberá retirar el equipo y resguardarlo en un lugar seco y seguro.

Débil precipitación: para este aspecto se recomienda resguardar el equipo bajo un paraguas o capa protectora y de ser necesario, detener funcionamiento. Valore las condiciones del lugar, el personal y determine si es factible continuar con la medición.

7 Procedimiento:

Recepción de solicitud de indicios

7.1 Reciba como perito, la Solicitud de Dictamen Pericial y los documentos adjuntos en el Sistema Automatizado del Departamento de Ciencias Forenses (SADCF), verifique si los datos son concordantes con los ingresados al SADCF.

7.2 En caso de que la información recibida en el SADCF, no sea concordante con la señalada en la Solicitud de Dictamen Pericial (número único, tipo de caso, nombres de las partes, etc), envíe un correo electrónico al personal administrativo a cargo de corregir dicha situación, detallando la incongruencia detectada en la documentación.

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORENSES	VERSIÓN 02	PAGINA: 4 de 18
DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UN VEHÍCULO	P-DCF-ECT-ING-31	

Estudio de la documentación recibida

7.3 Si los documentos y/o la información recibida (entre ellos los videos, capturas fotográficas, etc) en el legajo digital no están legibles o imposibilitan su análisis, envíe un [Informe Pericial](#) describiendo la anomalía y la limitante para desarrollar la diligencia solicitada.

Nota No. 01: Si el caso no cuenta con el Reporte de Admisibilidad en el legajo del caso, es responsabilidad del personal pericial asignado proceder con el estudio de la información aportada.

7.4 Si en el parte oficial de tránsito o informe del O.I.J., no se consignó el dato de la longitud de la huella de frenado, fricción, derrape, distancia de parada u otras variables necesarias para el cálculo de la velocidad del vehículo, envíe un Informe Pericial solicitando la información requerida y/o señalando las razones por las cuales no es posible realizar la diligencia solicitada.

Nota No. 02: las variables necesarias para el cálculo de velocidad de un vehículo, se encuentran definidas para cada modelo matemático como Datos de entrada y además se encuentran sombreadas en color amarillo.

Ejemplo:

DATOS DE ENTRADA PARA EL CÁLCULO DEL RADIO DE CURVATURA		
Cálculo del Radio de Curvatura		
Longitud de la cuerda de la curva:	C	88 m
Longitud de sagita:	M	6,50 m
RESULTADO:		
Radio de Curvatura:	R	135,7 m

Selección del modelo Físico-Matemático a utilizar

Nombre	Aplicación
<p>1. Cálculo de la velocidad de un vehículo por medio del teorema de trabajo y energía</p> <p>(Basado en la huella de frenado, distancia de parada y/o fricción)</p>	<p>Se debe utilizar en los casos donde existan huellas de frenado, procesos de desaceleración de vehículos equipados con sistemas de frenos ABS donde se visualicen huellas segmentadas, para distancias recorridas en el proceso de parada de un vehículo, así como para el caso de marcas de fricción generadas por el vuelco de las motocicletas.</p> <p>Nota: para el caso de las motocicletas se debe reportar el valor calculado al inicio de las huellas sin considerar la velocidad al inicio del proceso de frenado, ya que para este último se utiliza un valor de respuesta mecánica de 0,5 segundos que no está validada su aplicación para el caso de las motocicletas.</p>

MODELO TEÓRICO

Modelo con pendiente (positiva o negativa)

$$V_{i_{HF}} = (\sqrt{2 * g * d_{HF} * (\mu \pm \rho)}) * 3,6$$

Modelo sin pendiente

$$V_{i_{HF}} = (\sqrt{2 * g * d_{HF} * \mu}) * 3,6$$

Modelo con una respuesta mecánica de 0,5 segundos

$$V_{i_{HF+d_{RM}}} = (\sqrt{2 * g * (d_{HF} + d_{RM}) * (\mu \pm \rho)}) * 3,6$$

Donde:

- $V_{i_{HF}}$ = velocidad al inicio de la huella de frenado
- $V_{i_{HF+d_{RM}}}$ = velocidad al inicio de la acción de frenado
- i_{HF} = inicio de la huella de frenado
- d_{RM} = distancia recorrida debido a la respuesta mecánica
- d_{HF} = distancia de la huella de frenado
- μ = coeficiente de fricción
- g = gravedad
- ρ = pendiente en notación decimal (tangente del ángulo en grados)

$$d_{RM} = [\sqrt{2 * g * d * (\mu \pm \rho)}] * 0,5_{RM}$$

Consideraciones:

- a) En la formula utilizada se toma en cuenta un tiempo de respuesta mecánica con un valor conservador de 0,5 segundos previo a la generación de las huellas.
- b) Para el caso de los cálculos de velocidad por huellas dejadas por motocicletas, así como en el caso de huellas o marcas de fricción por vuelco de motocicletas y para procesos de desaceleración, se debe indicar el valor que reporta la Hoja de Cálculo en la línea que se nombró como "Velocidad al inicio de las huellas de frenado, fricción o desaceleración".

Ejemplo:

RESULTADOS		
Velocidad al inicio de las huellas de frenado, fricción o desaceleración:	80	km/h

- c) Para el caso de vehículos particulares, livianos y pesados, se reporta el valor de la línea que indica "**VELOCIDAD DEL VEHÍCULO AL INICIO DEL PROCESO DE FRENADO (km/h)**".

Ejemplo:

VELOCIDAD DEL VEHÍCULO AL INICIO DEL PROCESO DE FRENADO (km/h)	76	km/h
Incertidumbre k=2 (2σ)	6	km/h

- d) La incertidumbre a reportar tanto en los casos que se describen en el punto b) como en el c), se toma de la línea denominada "Incertidumbre k=2 (2σ)", la cual se aprecia en la imagen del Ejemplo del punto c).

- e) Para el caso de los valores de pendiente que se deben registrar en la hoja, los mismos se ingresan con el valor en grados, y la hoja realiza la conversión a notación decimal para su correspondiente uso en la fórmula.

- f) Para el caso donde se selecciona la opción de "MEDICION DIRECTA" del coeficiente de fricción, es necesario que se agreguen los datos que fueron medidos en la pestaña "Valores" en el espacio de "INGRESAR VALORES DE COEFICIENTES".

Ejemplo:

	Vehículo	Superficie / Estado / Condición
Coeficiente de fricción:	LIVIANO	MEDICION DIRECTA

HF - UNA SUPERFICIE
 HF - DOS SUPERFICIES
 DISTANCIA PARADA
 ROTO-TRASLACIÓN
 VELOCIDAD CRITICA CURVA
 VELOCIDAD POR DERRAPE
 SUMATORIA DE VELOCIDADES
 Valores
 Analisis de Incertidumbre

INGRESAR VALORES DE COEFICIENTES				
0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
0,600	0,600	0,600	0,600	0,600

Mediciones directas (Indicar tipo de superficie)		
	0,600	0,0000
Promedio	dispersión	

g) Para el caso donde se selecciona la opción de "MOTO-OTRA SUPERFICIE" del coeficiente de fricción, es necesario que se agregue los datos en la pestaña "Valores" en el espacio de "Rango" del apartado para "Motocicleta (otras superficies)", siendo necesario aclarar que dicha opción se utiliza cuando se tiene un respaldo bibliográfico donde se especifica un rango para una superficie en específico.

Ejemplo:



h) Para los casos de cálculo de velocidad de las motocicletas, se utiliza un valor de coeficiente de fricción que corresponde al 50% del coeficiente de fricción determinado para vehículos livianos (según referencia de Lynn B. Fricke), por lo tanto se reportará una velocidad de circulación no menor a la estimada por la hoja de cálculo. Dicha estimación se realiza debido a que los sistemas de frenos en las motocicletas son independientes y al momento de la generación de una huella, no siempre es posible establecer si se realizó con el accionamiento de frenos en ambas ruedas o solamente en una de ellas.

i) Para los casos donde se requiera estimar una velocidad relacionada a un proceso de desaceleración por parte de los vehículos, se debe realizar el cálculo considerando los valores extremos. Siendo el valor de 0,1 un coeficiente asociado al sistema de transmisión y el valor de 0,6 como coeficiente máximo (donde deberían existir huellas visibles), los cuales serán seleccionados en la línea de datos de entrada de coeficientes de fricción, donde se encuentran de la siguiente forma: "DESACELERACIÓN $\mu=0,1$ " y "DESACELERACIÓN $\mu=0,6$ ".

Se deberá reportar el resultado como el valor máximo y mínimo posibles a los cuales circulaba el vehículo, siendo que el dato o resultado a utilizar será el valor que reporta la hoja en la línea donde indica "Velocidad al inicio de las huellas de frenado, fricción o desaceleración" que para este caso sería la Velocidad al inicio del proceso de desaceleración y que está comprendido entre estos dos resultados.

Ejemplo:

DATOS DE ENTRADA					
			metros	Dato tomado de:	
Longitud de la huella de frenado, fricción o desaceleración (m):	d_{HF}	15		Croquis de Tránsito / OIJ	
	Vehículo	Superficie / Estado / Condición	μ	Desv. Std.	
Coeficiente de fricción:	LIVIANO	DESACELERACIÓN $\mu=0,1$	0,100	0,000	adimensional
Pendiente:	0,0	0,0	0,00	0,00	grados
	Positiva(Subiendo) indica		dicar [-]	0,00	STD

Resultado para un coeficiente de 0,1 (se reporta el valor que señala la flecha roja)

RESULTADOS		
Velocidad al inicio de las huellas de frenado, fricción o desaceleración:	19	km/h 
Respuesta mecánica	0,5	segundos
Distancia recorrida durante la repuesta mecánica d_{RM}	2,7	metros
Distancia total recorrida durante la acción de frenada ($d_{RM} + d_{HF}$)	17,7	metros
VELOCIDAD DEL VEHÍCULO AL INICIO DEL PROCESO DE FRENADO (km/h)	21	km/h
Incertidumbre $k=2$ (2σ)	2,2	km/h
Punto de PDR (Percepción-Decisión-Reacción) /Para un tiempo de 1s (un segundo)	6	metros

	Vehículo	Superficie / Estado / Condición	μ	Desv. Std.	
Coeficiente de fricción:	LIVIANO	DESACELERACIÓN $\mu=0,6$	0,600	0,000	adimensional

Resultado para un coeficiente de 0,6 (se reporta el valor que señala la flecha roja)

RESULTADOS		
Velocidad al inicio de las huellas de frenado, fricción o desaceleración:	48	km/h 
Respuesta mecánica	0,5	segundos
Distancia recorrida durante la repuesta mecánica d_{RM}	6,6	metros
Distancia total recorrida durante la acción de frenada ($d_{RM} + d_{HF}$)	21,6	metros
VELOCIDAD DEL VEHÍCULO AL INICIO DEL PROCESO DE FRENADO (km/h)	57	km/h
Incertidumbre $k=2$ (2σ)	5,4	km/h
Punto de PDR (Percepción-Decisión-Reacción) /Para un tiempo de 1s (un segundo)	16	metros

Por tanto: para este tipo de casos se reportará (según el ejemplo expuesto) que el vehículo circulaba entre los 19 km/h y los 48 km/h cuando inició el proceso de desaceleración hasta la detención del vehículo.

2. Cálculo de la velocidad de un vehículo por medio del teorema de trabajo y energía

(Para el análisis de dos superficies y/ o variaciones del coeficiente de fricción)

Se debe utilizar en los casos donde existan variaciones de coeficientes de fricción en el recorrido del vehículo, ya sea por acciones de frenada en dos superficies, así como en el caso de las motocicletas donde se presenta la generación de una huella de frenado seguida por un vuelco de la misma que genera marcas de fricción.

Nota: para el caso de las motocicletas se debe reportar el valor calculado al inicio de las huellas sin considerar la velocidad al inicio del proceso de frenado, ya que para este último se utiliza un valor de respuesta mecánica de 0,5 segundos que no está validada su aplicación para el caso de las motocicletas.

MODELO TEÓRICO

Modelo con pendiente (positiva o negativa)

$$V_{iHF} = (\sqrt{2 * g * [(d_1 * \mu_1 \pm \rho) + (d_2 * \mu_2 \pm \rho)]}) * 3,6$$

Modelo sin pendiente

$$V_{iHF} = (\sqrt{2 * g * [(d_1 * \mu_1) + (d_2 * \mu_2)]}) * 3,6$$

Modelo con una respuesta mecánica de 0,5 segundos

$$d_{RM} = [\sqrt{2 * g * [(d_1 * \mu_1 \pm \rho) + (d_2 * \mu_2 \pm \rho)]}] * 0,5_{RM}$$

$$V_{i_{HF12+d_{RM}}} = (\sqrt{2 * g * [(d_1 + d_{RM}) * \mu_1 \pm \rho] + (d_2 * \mu_2 \pm \rho)}) * 3,6$$

Donde:

 V_{iHF} = velocidad **al inicio de la huella** de frenado $V_{HF12+d_{RM}}$ = velocidad **al inicio de la acción** de frenado i_{HF} = inicio de la huella de frenado (i_{HF12} = en dos superficies) d_{RM} = distancia recorrida debido a la respuesta mecánica d_1 y d_2 = distancia de la huella de frenado en cada superficie μ = coeficiente de fricción g = gravedad ρ = pendiente en notación decimal
(tangente del ángulo en grados)**Consideraciones:****a)** Tomar en cuenta todas las consideraciones del modelo anterior.**3. Cálculo de la distancia de parada**

Se debe utilizar para establecer la distancia requerida por un conductor para detener el vehículo de forma segura, al determinar una situación de peligro en su recorrido

Para dicho cálculo se reporta el dato para 1s y 2,5 segundos de tiempo de Percepción, Decisión y Reacción (PDR). Y además permite evaluar la distancia de parada con otros tiempos de PDR cuando se cuente con respaldo bibliográfico o producto del proceso de investigación del caso.

MODELO TEÓRICO

$$D_p = V_o * T_{PDR} + \frac{V_o^2}{(\mu \pm p) * g}$$

Donde

 D_p = distancia de parada V_o = velocidad inicial o velocidad diseño en m/s (km/h / 3,6) T_{PDR} = tiempo de (Percepción-Decisión-Reacción) μ = coeficiente de fricción g = gravedad p = pendiente en notación decimal

Notación decimal: tangente del ángulo en grados

Consideraciones:**a)** Durante la inspección en sitio se debe identificar la zona de colisión y establecer para cada uno de los vehículos involucrados la distancia desde donde puede percibir la zona donde se da el hecho.**b)** Compare el valor calculado de distancia de parada con respecto al espacio disponible por el vehículo para percibir la zona del hecho. Con la información anterior y el análisis integral del caso, proceda a establecer la evitabilidad del hecho de Tránsito.

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORENSES	VERSIÓN 02	PAGINA: 9 de 18
DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UN VEHÍCULO		P-DCF-ECT-ING-31

c) En el caso de ésta fórmula, se indica utilizar un valor de T_{PDR} de 1s y 2,5 segundos, tomando en cuenta la referencia bibliográfica de Lynn B. Fricke pag.64-17, donde se indica: Que en muchas reconstrucciones se asume un tiempo de respuesta del conductor de 1,0 segundos para la reacción del conductor y la entrada en control, sin embargo dicho valor puede aumentar a razón de la condición que presenta el conductor. Además se indica que en los cálculos de distancia de visibilidad de parada para los diseños de carretera, se toma en cuenta el tiempo de reacción del conductor más lento posible (1 de cada 100 000) y por lo tanto se utiliza un tiempo de 2,5 segundos.

d) La hoja de cálculo permite la variación de los tiempos de T_{PDR} (Percepción - Decisión - Reacción), sin embargo se aclara que el uso de otros valores distintos a 1s y 2,5s, queda a criterio del perito con base a un análisis sustentado ya sea bibliográficamente u otros, que permitan establecer otros valores de T_{PDR} .

4. Cálculo de la velocidad de un vehículo que presenta una roto-traslación durante una acción de frenada

Se utiliza para el caso de vehículos particulares y livianos que al momento de realizar una acción de frenada o proceso de desaceleración, experimentan una roto traslación en su recorrido hasta su posición final de parada.

MODELO TEÓRICO	
<p>Modelo con pendiente (positiva o negativa)</p> $V_{iHF} = \sqrt{2 * g * (\mu \pm \rho) * [d_{HF} + 0,5 * \theta * \sqrt{(B^2 + T^2)}]}$	<p>Donde:</p> <p>V_{iHF} = velocidad al inicio de la huella de frenado</p> <p>$V_{iHF+dRM}$ = velocidad al inicio de la acción de frenado</p> <p>i_{HF} = inicio de la huella de frenado</p> <p>d_{RM} = distancia recorrida debido a la respuesta mecánica</p> <p>d_{HF} = distancia de la huella de frenado</p> <p>μ = coeficiente de fricción</p> <p>g = gravedad</p> <p>p = pendiente en notación decimal</p> <p>(Notación decimal: tangente del ángulo en grados)</p> <p>θ = Rotación del vehículo en radianes</p> <p>B = Batalla o distancia entre ejes</p> <p>T = Trocha / Via / o distancia entre las llantas de un eje</p>
<p>Modelo sin pendiente</p> $V_{iHF} = \sqrt{2 * g * \mu * [d + 0,5 * \theta * \sqrt{(B^2 + T^2)}]}$	
<p>Modelo con una respuesta mecánica de 0,5 segundos</p> $d_{RM} = [\sqrt{2 * g * (\mu \pm \rho) * (d + 0,5 * \theta * \sqrt{(B^2 + T^2)})}] * 0,5_{RM}$	
$V_{i_{HF+d_{RM}}} = (\sqrt{2 * g * (\mu \pm \rho) * [(d_{HF} + d_{RM}) + 0,5 * \theta * \sqrt{(B^2 + T^2)}]}) * 3,6$	

Consideraciones:

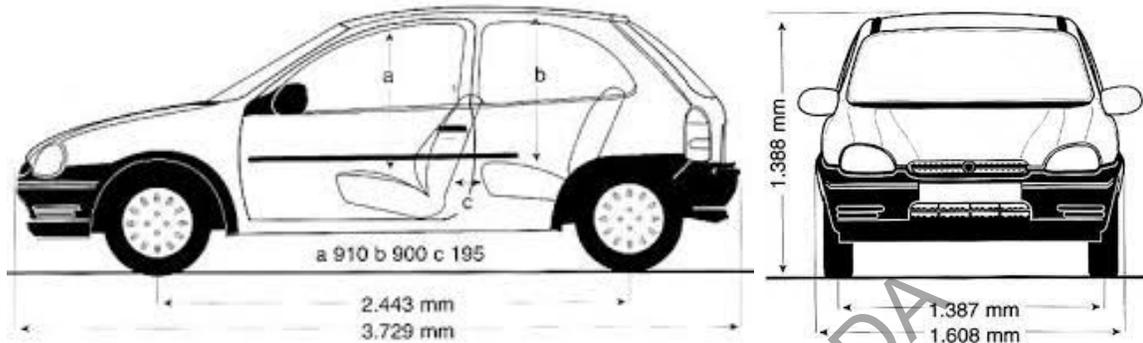
- a)** El modelo es para su uso en vehículos particulares y livianos.
- b)** Para el ángulo de rotación, el mismo se obtendrá del plano a escala y se ingresará la información de rotación en grados, ya que la hoja realizará la conversión a radianes que requiere la fórmula.
- c)** En la fórmula utilizada se toma en cuenta un tiempo de respuesta mecánica con un valor conservador de 0,5 segundos previo a la generación de las huellas.
- d)** Para la obtención de los valores de dimensión de la Batalla y Trocha del vehículo involucrado en el hecho de tránsito, se debe utilizar la ficha técnica del vehículo o la medición directa en un vehículo con las mismas características.

Ejemplo:

Información tomada de internet para un vehículo Chevrolet Corsa 2001:

Batalla: 2,443 metros

Trocha: 1,387 metros



En la imagen anterior se puede observar los puntos desde donde se deben realizar las mediciones para obtener los valores de la Batalla y Trocha. Además, la información puede ser consultada con el distribuidor autorizado de la marca a nivel nacional.

5. Cálculo de la velocidad crítica de una curva

Se utiliza para establecer la velocidad a partir de la cual un vehículo que se desplaza por una curva puede experimentar una pérdida de control y por ende la salida de la vía. Dicho cálculo se utiliza para establecer la velocidad que debió superar un vehículo al tomar la curva de tal forma que se propiciara la salida del carril de circulación.

MODELO TEÓRICO

Radio de curvatura

$$R = \frac{C^2}{8M} + \frac{M}{2}$$

Velocidad crítica de una curva

$$V_{cr} = \left(\sqrt{\frac{(\mu + \tan \alpha) * g * R}{1 - \mu * \tan \alpha}} \right) * 3,6$$

Donde:

V_{cr} = velocidad crítica de una curva

μ = coeficiente de fricción longitudinal

α = peralte en grados

g = gravedad

ρ = pendiente en notación decimal (tangente del ángulo)

R = radio de curvatura

C = cuerda

M = sagita

Consideraciones:

a) El análisis de velocidad crítica de una curva se utilizará para establecer la velocidad de circulación que pudo sobrepasar un vehículo que al tratar de tomar una curva pierde el control y se sale de la misma.

b) "Se trata de un modelo estático de equilibrio donde no se considera la influencia del sistema de suspensión, ni la influencia de la elasticidad de los neumáticos." Gustavo A. Enciso.

c) Los valores de la cuerda y sagita de la curva pueden ser utilizados de la medición directa en campo, o de la información de campo procesada y representada en un plano a escala, para lo cual en dicho plano se deberá trazar la cuerda y la sagita al centro de la calzada o superficie de rodamiento.

6. Cálculo de velocidad con base a las huellas de derrape

Se utiliza para establecer la velocidad a la que debía circular el vehículo al momento que pierde el control y genera las marcas que son comúnmente curvas y asociadas a procesos de derrape.

MODELO TEÓRICO

Velocidad con base a las huellas de derrape
(con acción de frenado)

$$V = (\sqrt{2 * (\mu + \rho) * g * D_{hd}}) * 3,6$$

Velocidad con base a las huellas de derrape
(con rotación libre de las ruedas)

$$V = (\sqrt{2 * (\mu' + \rho) * g * D_{hd}}) * 3,6$$

Donde:

V = al inicio de las huellas de derrape

μ = coeficiente de fricción longitudinal

μ' = coeficiente de fricción corregido (para derrape)

g = gravedad

ρ = pendiente en notación decimal (tangente del ángulo)

D_{hd} = distancia de la huella de derrape

Consideraciones:

a) En los casos donde se determine que la huella presenta características de rotación libre, se debe reportar el resultado que corresponde a "Velocidad con base a huella de derrape sin acción de frenada".

b) En los casos donde se determine que la huella presenta características de una acción de frenado, se debe reportar el resultado que corresponde a "Velocidad con base a huella de derrape con acción de frenada".

VELOCIDAD CON BASE A HUELLA DE DERRAPE <u>CON ACCIÓN DE FRENADA</u> (km/h)	84	km/h
Incertidumbre k=2 (2 σ)	1	km/h
VELOCIDAD CON BASE A HUELLA DE DERRAPE <u>SIN ACCIÓN DE FRENADA</u> (km/h)	59	km/h
Incertidumbre k=2 (2 σ)	1	km/h

c) Para el análisis de la huella de derrape, se debe dividir la trayectoria adoptada por el vehículo en un máximo de 10 posiciones, donde se debe aproximar la posición del vehículo en relación a la huella (ver imágenes a continuación) y con ello establecer el coeficiente de fricción lateral para cada punto en específico.

Nota: el valor de 10 posiciones se limita a la programación de la hoja de cálculo.

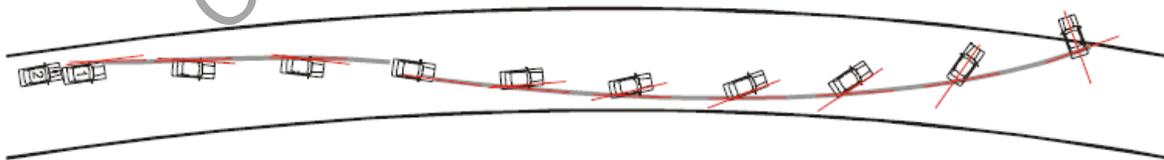


Imagen tomada del documento "Calculo de velocidad en base a huellas de derrape", por el Ingeniero Mecánico Luis Marcelo Ance del Congreso Iberoamericano de Accidentología Vial

Ejemplo:

A continuación se muestra un ejemplo de la aproximación de la posición del vehículo que se debe realizar en relación con la huella, así como el ingreso de datos a la hoja de cálculo para la corrección del coeficiente de fricción.

Vehículo		Superficie / Estado / Condición		μ	Desv. Est.	dimensional
Coeficiente de fricción: LIVIANO		ASFALTO USADO SECO		0,685	0,056	

Posición No.	1	2	3	4	5
Ángulo θ	0	10	14	24	31
Seno θ (ó μ corregido) ¹	0,100	0,174	0,242	0,407	0,515

Posición No.	6	7	8	9	10
Ángulo θ	50				
Seno θ (ó μ corregido) ¹	0,766				

$$\mu' = \frac{\mu * \sum \sin(\theta)}{n}$$

μ'

0,244

Imágen de la izquierda tomada de la presentación "Critical Speed Yaw: Theory de Wade Bartlett en la "2021 Joint Conference hosted by MDATAI

d) Establecer el tipo de huella relacionada al proceso de derrape, para lo cual se debe conocer lo siguiente:

"Huellas de derrape: Presenta la particularidad de que las estrías no siguen el sentido longitudinal de la huella. La huella de derrape es provocada generalmente por una rueda que se mantiene rodando pero que al mismo tiempo desliza lateralmente en mayor o menor grado; Esta huella es frecuentemente curva, y se presenta más oscura en el lado exterior,

Se vincula normalmente con fenómenos de giro o de dificultades de tenida en curva, pero no es exclusivo de ello, pudiendo aparecer en diversas situaciones, que deben ser estudiadas en particular."

Características típicas de una marca de derrape y su relación con el proceso de generación de las marcas: sean éstas por aceleración, frenado en curva o de rotación libre.

Sentido de Avance ←

A su vez, es habitual encontrar que una huella de neumático se transforma de un tipo en otro a lo largo de su recorrido. Podemos hallar una huella de frenado que en su curso da origen a otra de derrape diagonal (típica cuando se produce frenados severos en tramos curvos), o viceversa, como muestra el esquema siguiente:

También la huella de derrape puede evidenciar el giro completo del vehículo sobre su eje. En este caso, además de información hacia dentro de la huella, también nos encontraremos con cruces entre las huellas de distintas ruedas.

Las imágenes e información del punto e) fueron tomadas del documento "Calculo de velocidad en base a huellas de derrape" del Ingeniero Mecánico Luis Marcelo Ance (Congreso Iberoamericano de Accidentología Vial).

e) Cuando no se cuente con suficiente información (*tales como fotografías o inspección directa de la huellas*) que permitan establecer si el vehículo se encontraba con el sistema de frenos bloqueado o con rotación libre de las ruedas al momento de la generación de las huellas de derrape, es necesario reportar ambos resultados tal como se establece en el siguiente ejemplo:

RESULTADOS		
VELOCIDAD CON BASE A HUELLA DE DERRAPE CON ACCIÓN DE FRENADA (km/h)	93	km/h
Incertidumbre k=2 (2σ)	8	km/h
VELOCIDAD CON BASE A HUELLA DE DERRAPE SIN ACCIÓN DE FRENADA (km/h)	65	km/h
Incertidumbre k=2 (2σ)	10,7	km/h

Dándose respuesta de la siguiente forma:

Debido a que no se cuenta con información que permita establecer si el vehículo se encontraba con el sistema de frenos bloqueado o con rotación libre de las ruedas al momento de la generación de la huella de derrape, es posible indicar que el mismo debió circular entre los 65 km/h y los 93 km/h.

Siendo la velocidad de 65 km/h si el vehículo presentaba una rotación libre de las ruedas, y de 93 km/h si el vehículo se encontraba realizando una acción de frenada con bloqueo de las ruedas.

7. Sumatoria de velocidades	Se utiliza para establecer la velocidad de un vehículo, si al evaluar su desplazamiento se calculó de forma individual velocidades disipadas en varios tramos por diferentes acciones o circunstancias.
------------------------------------	---

MODELO TEÓRICO
$V_o = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2}$
Donde V _o = velocidad inicial V ₁ = velocidad calculada en tramo o sector 1 V ₂ = velocidad calculada en tramo o sector 2 V _n = velocidad calculada en tramo o sector n

Notificación de la diligencia y coordinación con autoridad solicitante.

7.5 En caso de tratarse de un lugar muy transitado o peligroso, coordine con la autoridad judicial solicitante la colaboración para contar con la presencia de la policía de tránsito, fuerza pública y/o el OIJ de la zona.

Análisis del sitio

7.6 Determine las condiciones y características de la carretera, mediante una inspección ocular del sitio, para ello utilice el Formulario de Inspección Tipo C (Accidentología) que puede ser descargado del Gestor Documental.

7.7 Realice un levantamiento planimétrico del sitio del suceso, el cual contenga toda la información necesaria para la aplicación del Modelo Físico-Matemático seleccionado para el caso en estudio.

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORENSES	VERSIÓN 02	PAGINA: 14 de 18
DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UN VEHÍCULO	P-DCF-ECT-ING-31	

Nota No. 03: los datos de entrada necesarios en cada uno de los modelos Físico-Matemáticos se encuentran identificados como datos de entrada y sombreados en color amarillo en la Hoja de Calculo H-DCF-ECT-ING-02, así mismo en el apartado de "**Selección del modelo Físico-Matemático a utilizar**" del presente procedimiento, se hacen las indicaciones sobre las "**Consideraciones**" que se deben tomar en cuenta para la aplicación del modelo y/o información requerida.

7.8 Verifique la información requerida durante la inspección de sitio (pendiente, peralte, coeficiente de fricción o tipo de superficies, cuerda, sagita, etc) y documente la información en el formulario Tipo C y/o por lo medios de registro de información de aplicación en una Inspección Forense (ej: respaldo digital del levantamiento).

7.9 Realice cinco mediciones de la pendiente con el medidor láser o clinómetro digital o en caso de utilizar estación total extraiga la información del levantamiento.

Nota No. 04: La medición de la pendiente se debe realizar en el punto exacto donde se fijó la huella de frenado, fricción, derrape, etc y las mediciones de la misma se deben distribuir a lo largo del recorrido donde quedó la huella.

7.10 Realice cinco mediciones del peralte con el medidor láser o clinómetro digital o en caso de utilizar estación total extraiga la información del levantamiento, esto para los casos con existencia de curva en la zona donde ocurrieron los hechos.

Nota No. 05: La medición del peralte se debe realizar en el tramo de la carretera previo al punto de salida del vehículo y específicamente por el carril de circulación del mismo. Realizando una distribución de las cinco medidas en el tramo curvo de la vía.

Elaboración del reporte

7.11 Descargue del Gestor Documental la hoja de cálculo de Excel H-DCF-ECT-ING-02 (Velocidad) en su versión vigente y registre la información correspondiente del caso.

7.12 Incorpore en la hoja de Excel H-DCF-ECT-ING-02 la información recolectada en campo (sea por atención de la escena y/o análisis del sitio posterior a los hechos), así como todos aquellos datos de entrada que requiera el modelo físico-matemático a emplear.

7.13 Determine (para los casos que así lo requieran) la longitud total de la huella de frenado indicada en el parte, croquis de tránsito y/o croquis de OIJ, para lo cual tome en cuenta lo siguiente:

- Utilice la longitud total de las huellas de frenado, en los casos donde se registran dos huellas paralelas de igual longitud.
- Utilice la longitud más larga, en los casos donde las huellas registradas presenten una diferencia en la longitud reportada.
- Considere la distancia de frenado como la distancia total registrada de la huella de frenado, esto para los casos donde se presente una sola huella de frenado.

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORENSES	VERSIÓN 02	PAGINA: 15 de 18
DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UN VEHÍCULO	P-DCF-ECT-ING-31	

Nota No. 06: La medición de la longitud de la huella de frenado, se debe realizar sobre la marca claramente visible por el observador al recorrer la misma, no se debe buscar marcas tenues o fricciones en la calzada, ya que la hoja de cálculo contempla un tiempo conservador de respuesta mecánica de 0,5 segundos.

7.14 Seleccione el coeficiente de fricción que corresponde al tipo de superficie en estudio y el tipo de vehículo (liviano, pesado o motocicleta) que realizó dicha huella (sea esta de frenado, fricción, etc). En los casos donde no se tenga definido los valores para el tipo de superficie en estudio, o por criterio técnico del perito, proceda a realizar una medición de los coeficientes de fricción en campo por medio del Skidman, para lo cual se debe tomar en cuenta que el vehículo a utilizar debe contar con un sistema de frenos convencional que produzca el bloqueo de las ruedas y generación de huellas de frenado al aplicar los frenos, a excepción de los casos de estudio donde se determine la existencia de huellas segmentadas o procesos de desaceleración por un vehículo equipo con sistema de frenos ABS, para lo cual si es necesario realizar las pruebas con un vehículo equipado con dicho sistema.

Nota No. 07: Tomar en cuenta el PON "Uso y manejo del Skidman P-DCF-ECE-ING-02" en su versión vigente.

7.15 Verifique si la pendiente es positiva (ascendente) o negativa (descendente), según sea la trayectoria del vehículo y registre el dato en la hoja con su correspondiente signo. (ejemplo: -5 para una pendiente negativa de 5 grados).

7.16 Seleccione en la hoja de Excel H-DCF-ECT-ING-02 el tipo de personal (Tránsito/OIJ o personal de Ingeniería) que realiza el levantamiento de la huella de frenado en sitio, así como de aquellos datos de entrada necesarios para la aplicación del modelo, lo cual genera una variación en la incertidumbre del resultado.

7.17 Imprima en formato pdf la pestaña utilizada en la hoja de cálculo de Excel H-DCF-ECT-ING-02 (Velocidad) y proceda a firmar de forma digital el documento como personal encargado de la pericia. Además, como siguiente paso solicite a una persona que cuente con la competencia en el análisis de cálculo de velocidad de un vehículo, que proceda a realizar la Verificación de Transferencia de Datos y que proceda a firmar el documento indicado anteriormente en el espacio destinado para dicho fin.

7.18 Incorpore al legajo digital del SADCF el documento pdf que se indica en el punto anterior.

8 Criterios de Aceptación o Rechazo de Resultados:

Casos de cálculos por huella de frenado: Indique en el Informe o Dictamen Pericial que no es posible realizar el cálculo respectivo por falta de los indicios necesarios, esto si en el croquis, parte oficial de tránsito u otro documento aportado al legajo del caso, no se describen las dimensiones de las huellas de frenado.

Para cualquier modelo físico-matemático que se aplique en la investigación: Indique en el Informe o Dictamen Pericial si no se cuenta con las variables de entrada necesarias para la aplicación de alguno de los modelos físico-matemáticos y solicite la información requerida para proceder con el respectivo análisis.

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORENSES	VERSIÓN 02	PAGINA: 16 de 18
DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UN VEHÍCULO	P-DCF-ECT-ING-31	

9 Cálculos y evaluación de la incertidumbre:

“Los métodos de reconstrucción de accidentes de tráfico se basan en ecuaciones específicas de la teoría de las colisiones y no son la causa de errores significativos por sí mismos. Los errores se producen por la necesidad de aproximar ciertos parámetros o de la forma en que se lleva a cabo el examen de la escena después del accidente”. Traducción al español del ENFSI-BPM-RAA-01 (vs. 01).

9.1 Cálculos

Los Modelos Teóricos se describen en el punto 7 del presente procedimiento y específicamente en el apartado de “**Selección del modelo Físico-Matemático a utilizar**”. De igual forma se pueden visualizar en la Hoja de cálculo: “H-DCF-ECT-ING-02” en su versión vigente.

9.2 Evaluación de la Incertidumbre

La evaluación de la incertidumbre se realiza por medio del Método Numérico de Monte Carlo el cual se programó en la Hoja de cálculo: “H-DCF-ECT-ING-02” en su versión vigente, donde se aplicó un tamaño de muestra de 10 000 iteraciones basadas en el proceso de validación de la metodología.

10 Reporte de Análisis y Resultados:

Proceda a reportar los resultados tal y como se establece en los formatos de dictamen establecidos en la versión vigente y que pueden ser localizados en la carpeta de Calidad 2.0 en la unidad de red G:/, en la sub-carpeta General Técnico/ Resultados y Conclusiones Accidentología, así como en la forma que se describe en el apartado de Conclusiones de la Hoja de Cálculo “H-DCF-ECT-ING-02”.

11 Medidas de Seguridad y Salud Ocupacional:

No realizar la pericia sin las condiciones de seguridad mínimas recomendadas, tales como:
Chaleco retro-reflectivo.
Conos de seguridad, para demarcar la zona en estudio, mínimo 5 conos.

12 Simbología:

N/A: No aplica
PON: Procedimiento de Operación Normado
DCF: Departamento de Ciencias Forenses
ING: Sección de Ingeniería Forense
m: metros
mm: milímetros
cm: centímetros
a: aceleración en metros por segundo al cuadrado (m/s^2)
g: aceleración de la gravedad ($9,8m/s^2$)
 μ : coeficiente de fricción, adimensional
Vi: Velocidad inicial
Vf: Velocidad final)

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORENSES	VERSIÓN 02	PAGINA: 17 de 18
DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UN VEHÍCULO	P-DCF-ECT-ING-31	

13 Terminología:

AASHTO: es un órgano que establece normas, pública especificaciones, además hace pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en los Estados Unidos. A pesar de su nombre, la asociación representa no sólo a las carreteras, sino también al transporte por aire, ferrocarril, agua y transporte público.

Aceleración: Es la variable de un cuerpo por unidad de tiempo al cuadrado y suele medirse en metros por segundo cuadrado.

Aceleración de la gravedad: Cambio de velocidad que experimenta un cuerpo al caer libremente en el vacío, por causa de la atracción que ejerce la Tierra, la cual tiene un valor aproximado de $9,81 \text{ m/s}^2$ y esta representado por la letra "g".

Clinómetro: Instrumento que sirve para medir la inclinación de un plano sobre el horizonte.

Coefficiente de fricción: "Constante de proporcionalidad que relaciona la fuerza de fricción con la fuerza normal, se representa con el signo μ . Esta constante, sin unidades, que depende de las superficies que intervienen, se determina experimentalmente".

Huella de frenado: Son las marcas que dejan las llantas de los vehículos sobre una superficie, luego de que las mismas han sido bloqueadas por la acción del conductor al aplicar los frenos.

SADCF: Sistema Automatizado del Departamento de Ciencias Forenses.

Velocidad: Distancia recorrida por un móvil en la unidad de tiempo.

Velocidad inicial: Para el presente procedimiento se toma como la velocidad a la que se desplaza el vehículo previo al proceso de desaceleración y detención del mismo.

14 Anexos

Anexo 01: Diagrama de flujo para el proceso de Cálculo de Velocidad de un vehículo.

Anexo 01:

Diagrama de flujo para el proceso de Cálculo de Velocidad de un vehículo

