

Frenado Vehicular

Guido Salazar



Indice

- 01** Introducción
- 02** Modelo general
- 03** Variables y Parametros
- 04** Modelo Propuesto
- 05** Recolección de Datos
- 06** Validación
- 07** Conclusión
- 08** Referencias

Introducción



Imagina que te encuentras en una situación de peligro inminente: un choque parece inevitable, pero podría haberse evitado si hubieras tenido un poco más de espacio para maniobrar. ¿Qué distancia es suficiente para evitar un accidente en estos casos? ¿Cómo podemos calcular el espacio necesario para detener un vehículo antes de que ocurra una catástrofe? Estas son solo algunas de las preguntas que abordaremos en esta presentación, utilizando un análisis matemático riguroso para determinar la distancia de frenado adecuada y así evitar accidentes fatales.

Modelo general

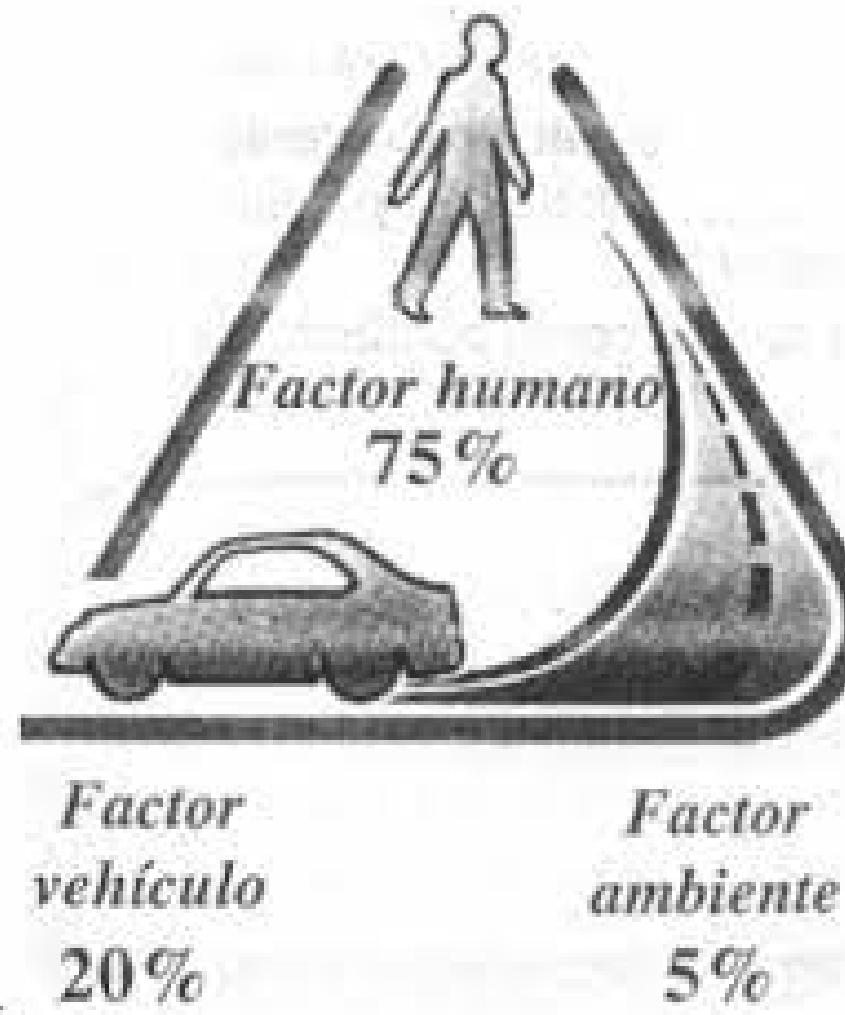
$$f(x) = g(x) + h(x)$$

- $g(x)$, la distancia de reacción
- $h(x)$, La distancia de frenado

Variables y Parámetros

Familias de variables y parámetros

Todos los factores



Familias de parámetros

Internos

Externos

Variables y Parámetros

Variables

- Velocidad en la fase de reacción
- Velocidad inicial en la fase de frenado

Variables y Parámetros

Parámetros Externos

- Visibilidad
- Condiciones climáticas
- Inclinación de la carretera
- Coeficiente de fricción de la carretera
- Contaminación Visual

Variables y Parametros

Parametros Internos

- ***Vehiculo***

- Estado de los Neumaticos
- Masa del vehiculo
- Estado de los frenos
- Ayudas de frenado automatico

- ***Humanas***

- Experiencia
- Nivel de Cansancio
- Embriagues
- Drogas
- Edad
- Genero

Variables y Parámetros

Depuración de Parámetros

- **Tiempo de reacción**
 - Factor cansancio
 - Nivel de Cansancio
 - Embriaguez
 - Drogas
 - Factores humanos
 - Edad
 - Genero
 - Experiencia
 - Factores Ambientales
 - Visibilidad
 - Contaminación Visual
 - Ayudas de frenado automático
- **Coeficiente de Fricción Ajustado**
 - Materiales
 - Coeficiente de fricción de la carretera
 - Condiciones climáticas
 - Vehiculares
 - Estado de los Neumáticos
 - Estado de los frenos
- **Ángulo de Inclinación**

Modelo Propuesto

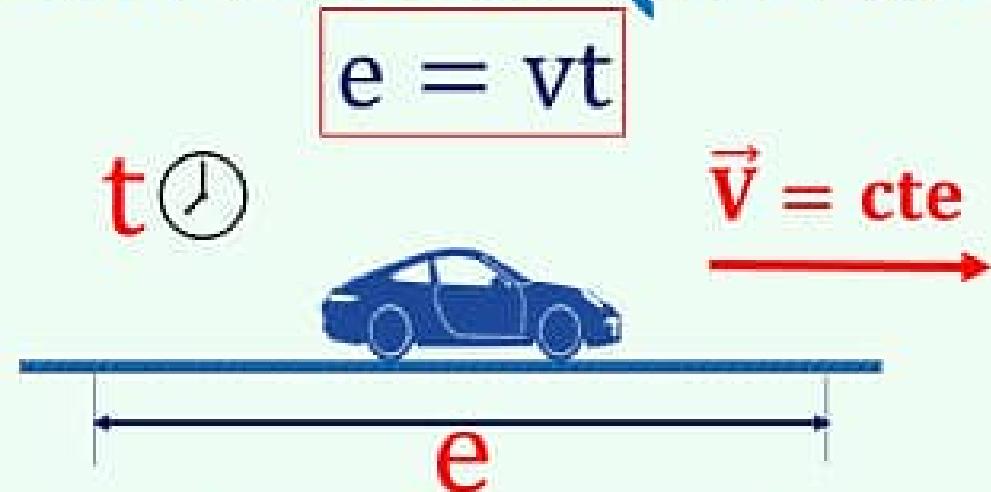
Modelo Propuesto

Distancia de reacción

$$g(v) = tr^*v$$

- **tr:** es el tiempo de reacción de una persona
- **v:** velocidad al momento del estímulo

Movimiento rectilíneo uniforme (M.R.U)



Enfisica.com

Modelo Propuesto

Distancia de Frenado

$$h(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + d_0$$

con $d_0 = 0$. A su vez, $t = \frac{v_f - v_0}{a}$, por lo que la ecuación queda como

$$h(v_i) = \frac{1}{2}a\left(\frac{v_f - v_0}{a}\right)^2 + v_0\frac{v_f - v_0}{a}$$

$$h(v_i) = \frac{(v_f - v_0)^2}{2a} + v_0\frac{v_f - v_0}{a}$$

$$h(v_i) = \left(\frac{v_f - v_0}{a}\right)\left(\frac{v_f - v_0}{2} + v_0\right)$$

$$h(v_i) = \left(\frac{v_f - v_0}{a}\right)\left(\frac{v_f - v_0 + 2v_0}{2}\right)$$

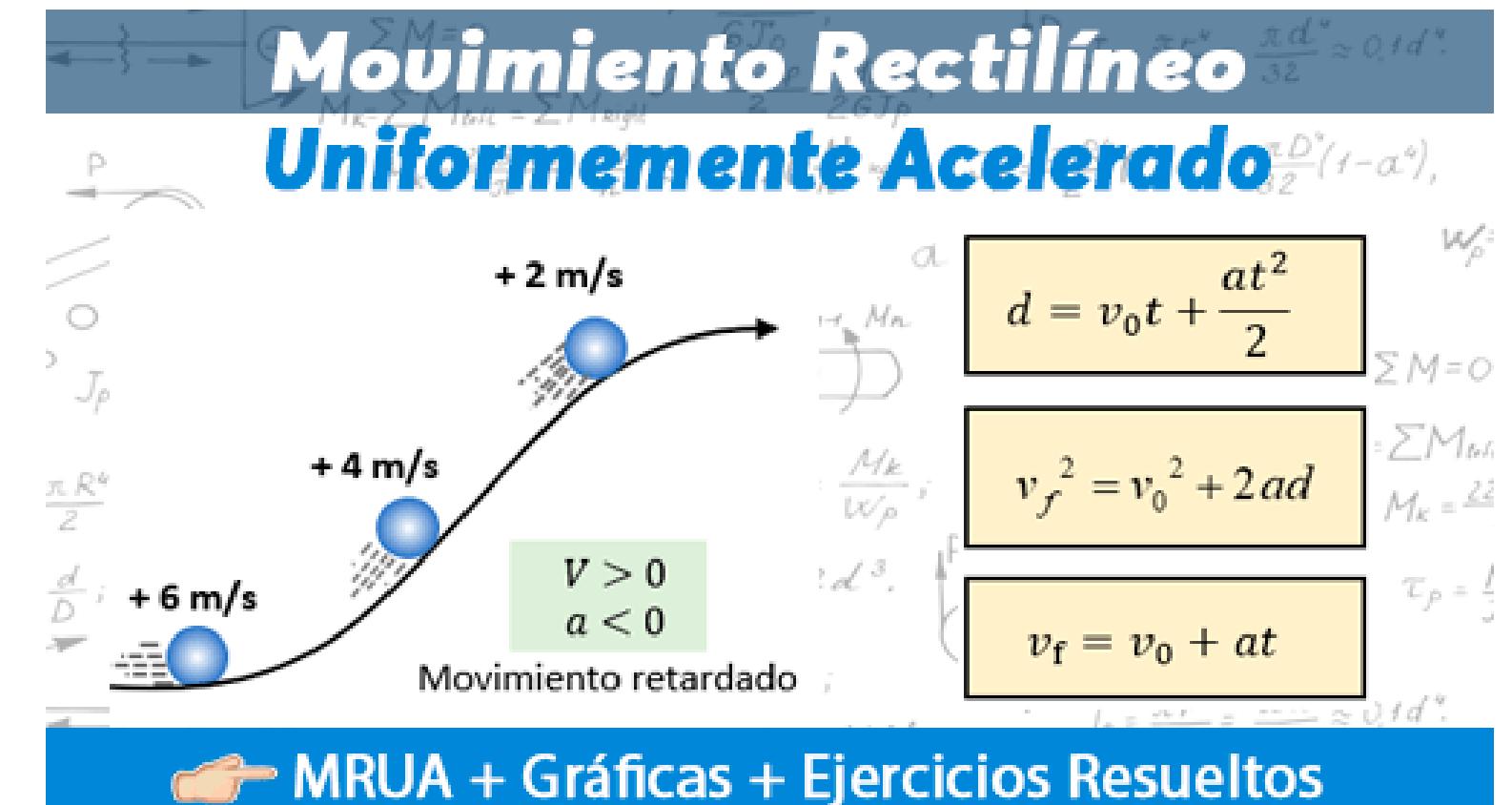
$$h(v_i) = \left(\frac{v_f - v_0}{a}\right)\left(\frac{v_f + v_0}{2}\right)$$

$$h(v_i) = \frac{(v_f - v_0)(v_f + v_0)}{2a}$$

$$h(v_i) = \frac{v_f^2 - v_0^2}{2a}$$

donde $v_f = 0$. Por eso, la ecuación resulta en

$$h(v_i) = \frac{-v_0^2}{2a}$$



Modelo Propuesto

Calculo de a

$$0 = F_\mu + F_t - F$$

$$F = F_\mu + F_t$$

$$ma = \mu_{act}N + W \sin \alpha$$

$$ma = \mu_{act}W \cos \alpha + W \sin \alpha$$

$$ma = W (\mu_{act} \cos \alpha + \sin \alpha)$$

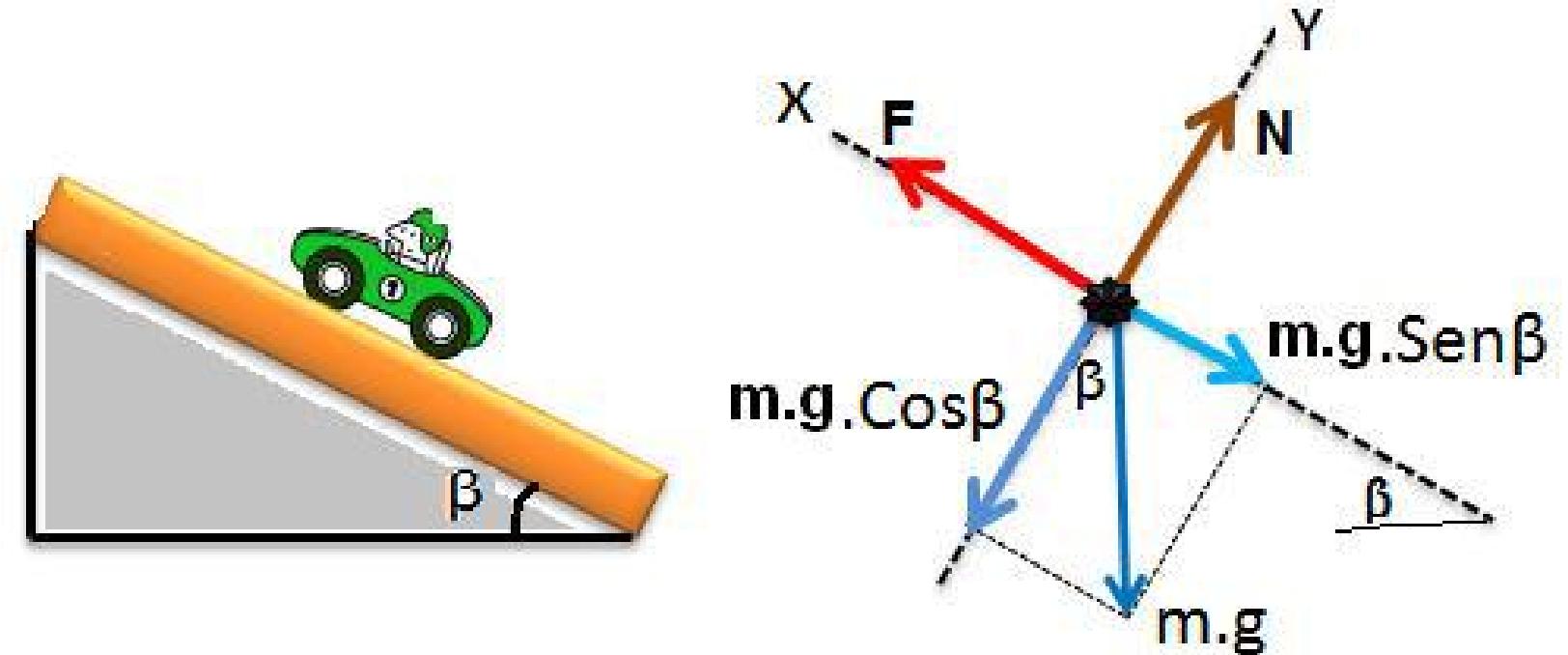
$$ma = mg (\mu_{act} \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$a = g (\mu_{act} \cos \alpha + \sin \alpha)$$

- μ : es el coeficiente de fricción actualizado
- α : ángulo de inclinación
- g : gravedad

Diagrama de fuerzas

Un auto sube por una carretera inclinada



Modelo Propuesto

Final

$f(x) = g(x) + h(x)$ donde $x = v_{ie} = v_{if} = v$ como

$$f(v) = t_r v + \frac{-v^2}{2a}$$

$$f(v) = t_r v + \frac{-v^2}{2(-g(\mu_{act} \cos \alpha + \sin \alpha))}$$

$$f(v) = t_r v + \frac{v^2}{2g(\mu_{act} \cos \alpha + \sin \alpha)}$$

$$f(v) = t_r v + \frac{v^2}{2g \cos \alpha (\mu_{act} + \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha})}$$

$$f(v) = t_r v + \frac{v^2}{2g \cos \alpha (\mu_{act} + \tan \alpha)}$$

Recolección de Datos

Recolección de Datos

Materials	μ_s	μ_k
Steel on steel	0.74	0.57
Aluminum on steel	0.61	0.47
Copper on steel	0.53	0.36
Rubber on concrete (dry)	1.0	0.8
Rubber on concrete (wet)	0.3	0.25
Wood on wood	0.25-0.5	0.2
Glass on glass	0.94	0.4
Teflon on Teflon	0.04	0.04
Teflon on steel	0.04	0.04
Waxed wood on wet snow	0.14	0.1
Waxed wood on dry snow	0.10	0.04
Metal on metal (lubricated)	0.15	0.06
Ice on ice	0.1	0.03
Synovial joints in humans	0.01	0.003
Very rough surfaces		1.5

[Crede, V. General Physics A - Fall 2019 Studio. Florida State University.](#) [Online 13/08/2024]

The effect perception-reaction time and speed have on a driver's capability can be illustrated by braking. The average driver requires approximately 1.5 seconds to perceive, react, and apply the brakes. The brakes are not being applied and the vehicle continues to move at the same speed and on the same path toward the hazard during this 1.5 seconds. The distance the vehicle travels during the 1.5 seconds depends upon the speed. Perception-reaction time is only the beginning of the problem. Once the brakes are applied, time elapses before the vehicle comes to a complete stop. The faster the vehicle is moving, the longer it will take to stop. Vehicles moving at higher speeds have more momentum than vehicles at lower speeds. More braking force must be applied to vehicles traveling at high speeds:

[Speed-Measuring Device Operator Training. National Highway Traffic Safety Administration, part of the U.S. Department of Transportation](#)

Table 1. Driver's reaction time.

Age categories, years	Sex	Able to work as usual	In the state of alcohol intoxication 0.3%	In the state of alcohol intoxication 0.5%
18–20	m	0.67	0.86	0.89
	f	0.74	0.84	0.88
21–25	m	0.67	0.86	0.90
	f	0.69	0.91	0.97
26–30	m	0.69	0.80	0.83
	f	0.69	0.84	0.87
31–35	m	0.69	0.89	0.91
	f	0.78	0.81	0.86
36–40	m	0.79	0.89	0.92
	f	0.79	0.90	1.03
41–45	m	0.79	1.03	1.18
	f	0.77	0.99	1.06
46–50	m	0.83	1.09	1.15
	f	0.85	1.17	1.19
51–60	m	0.87	1.09	1.16
	f	0.95	1.21	1.27

[Podoprigora N, Stepina P., Dobromirov V. & Kotikov J. \(2020\). Determination of driver's reaction time in expert studies of road traffic accidents using software and hardware complex. Transportation Research Procedia, 50, 538-544.](#)

Table 3. Dependence of the vehicle speed on the driver's reaction time in different states.

Vehicle speed (km/h)	Distance covered during the driver's reaction time when a person is able to work as usual, m		Distance covered during the driver's reaction time in the state of alcohol intoxication, s	
	0.3‰	0.5‰	0.3‰	0.5‰
10	3.25		3.55	3.65
20	7.62		8.23	8.40
30	13.13		14.05	14.30
40	19.77		20.99	21.33
50	27.54		29.07	29.49
60	36.45		38.28	38.78
70	46.48		48.62	49.20
80	57.64		60.09	60.75
90	69.94		72.69	73.44
100	83.37		86.42	87.26
110	97.93		101.29	102.20

[Podoprigora N, Stepina P., Dobromirov V. & Kotikov J. \(2020\). Determination of driver's reaction time in expert studies of road traffic accidents using software and hardware complex. Transportation Research Procedia, 50, 538-544.](#)

TABLE 1 Coefficients of friction and braking distance from the Danish Road Standards and Guidelines and braking distances from AASHTO Green Book

Speed (km/h)	Danish Road Standards and Guidelines		AASHTO Green Book
	Coefficient of friction	Braking distance (m)	
50	0.38	26	29
60	0.36	39	41
70	0.35	55	56
80	0.34	74	73
90	0.33	97	93
100	0.31	127	115
110	0.30	157	139
120	0.29	195	165
130	0.28	234	194

[Greibe, Poul. \(2014\). DETERMINATION OF BRAKING DISTANCE AND DRIVER BEHAVIOUR BASED ON BRAKING TRIALS. \[Online 13/08/2024\]](#)

validación

Primer Conjunto de datos

Table 3. Dependence of the vehicle speed on the driver's reaction time in different states.

Vehicle speed (km/h)	Distance covered during the driver's reaction time when a person is able to work as usual, m	Distance covered during the driver's reaction time in the state of alcohol intoxication, s	
		0.3‰	0.5‰
10	3.25	3.55	3.65
20	7.62	8.23	8.40
30	13.13	14.05	14.30
40	19.77	20.99	21.33
50	27.54	29.07	29.49
60	36.45	38.28	38.78
70	46.48	48.62	49.20
80	57.64	60.09	60.75
90	69.94	72.69	73.44
100	83.37	86.42	87.26
110	97.93	101.29	102.20

Podoprigora N., Stepina P., Dobromirov V. & Kotikov J.
(2020). Determination of driver's reaction time in expert studies of road
traffic accidents using software and hardware complex. Transportation
Research Procedia, 50, 538-544.

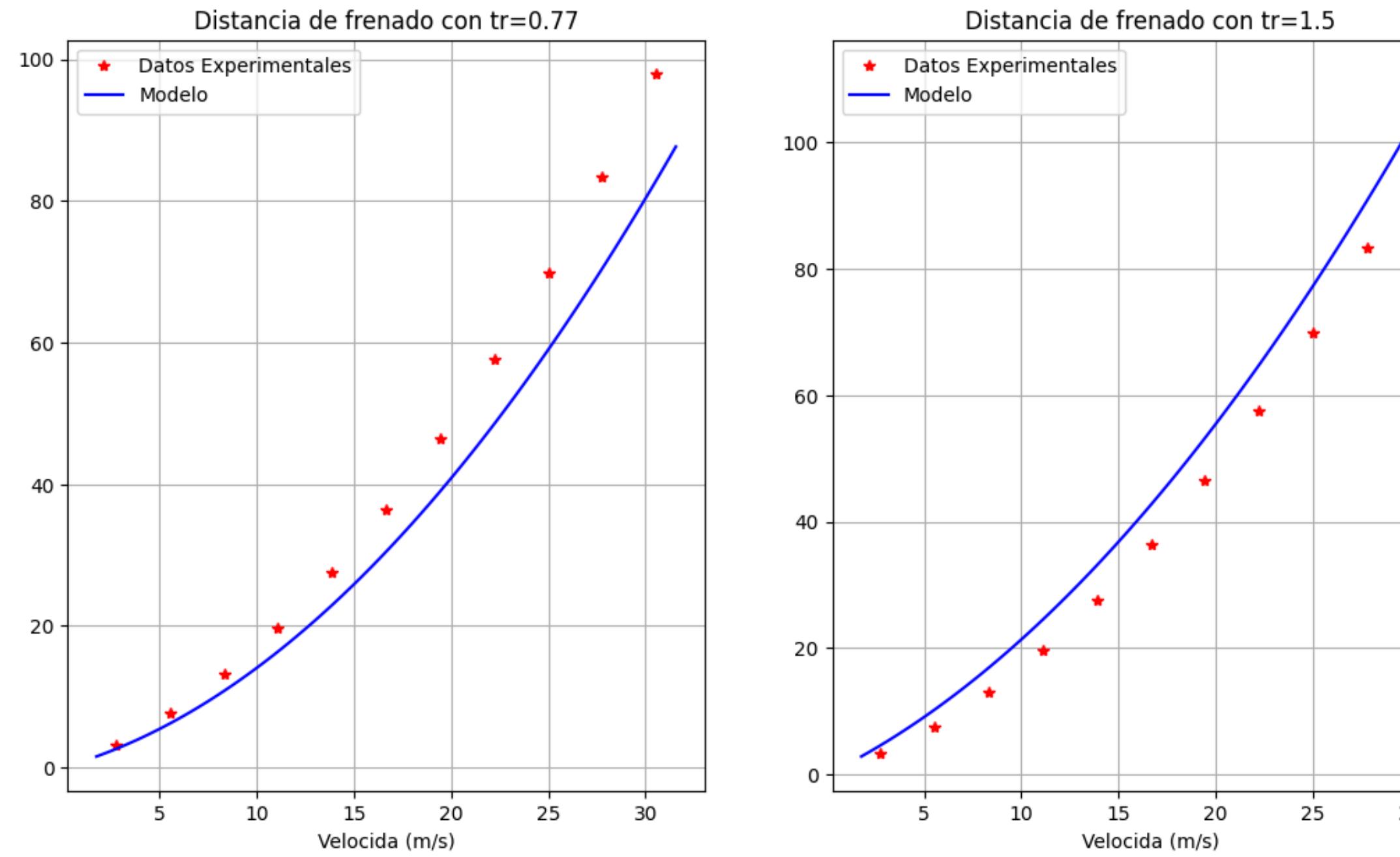
Validación

Primer Conjunto de datos

Parametros

- μ : 0.8
- α : 0°

Modelos para el primer conjunto de datos

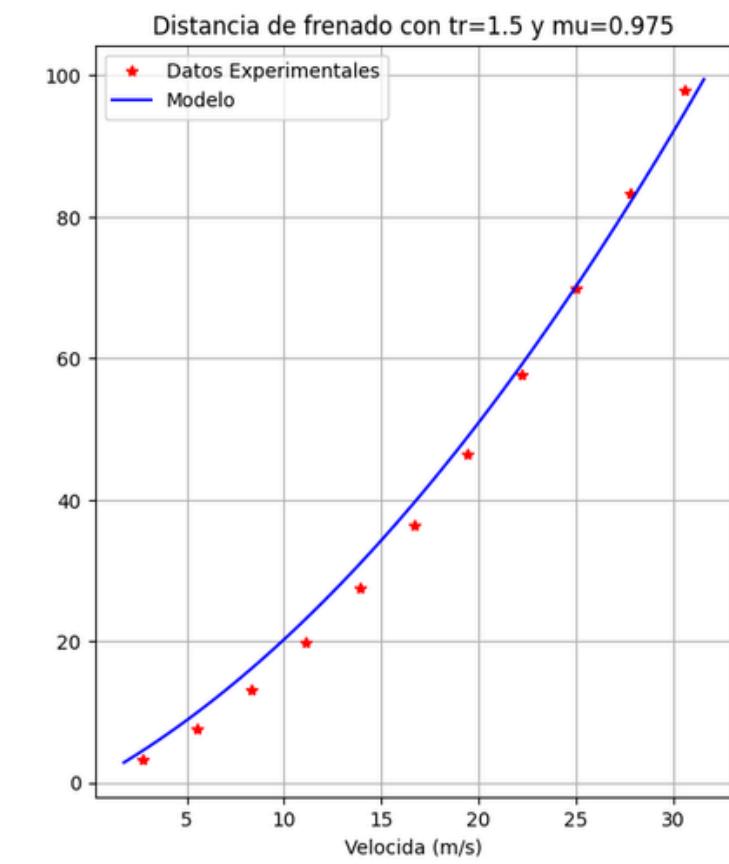
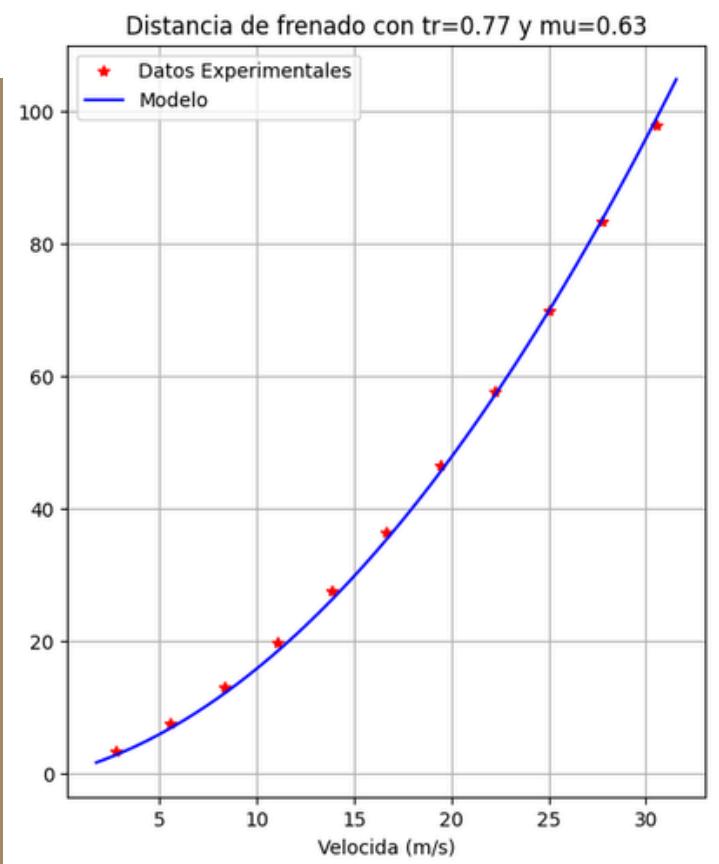


Validación

Primer Conjunto de datos Busqueda de parametros

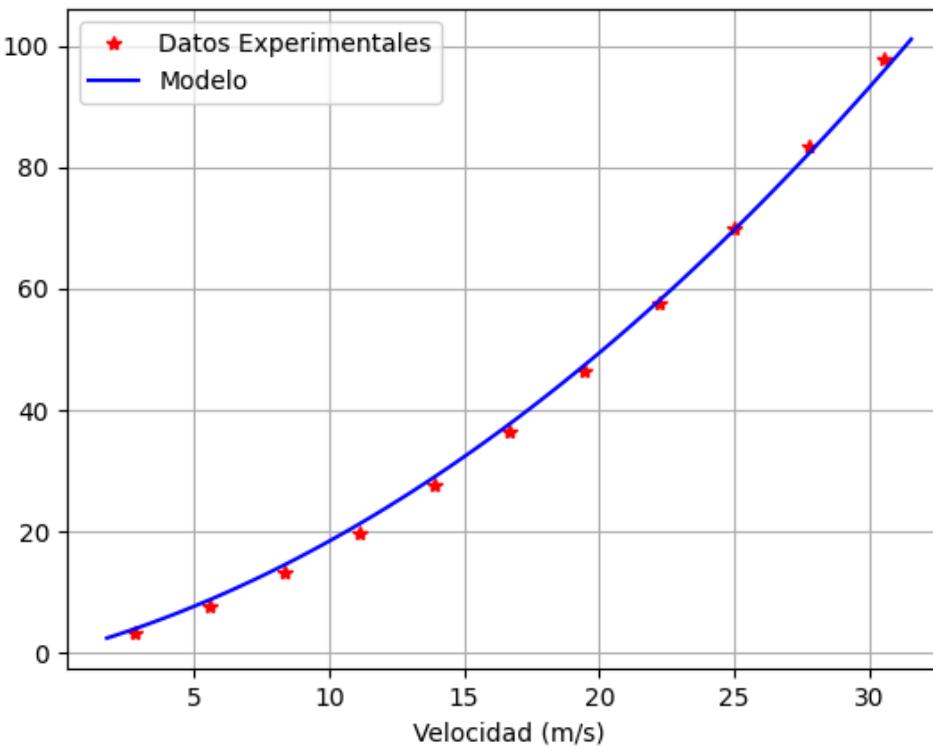
Busqueda μ

Distancia de frenado con minimos cuadrados no lineales para el primer conjunto de datos sobre mu



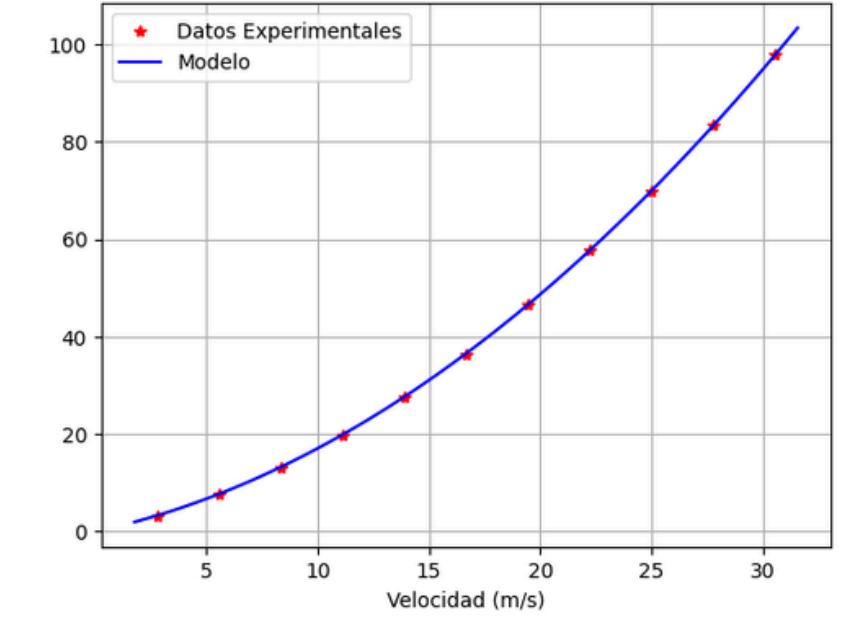
Busqueda tr

Distancia de frenado con $tr=1.19$ usando minimos cuadrados no lineales



Busqueda tr y μ

Distancia de frenado con $\mu=0.702$ y $tr=0.98$ usando minimos cuadrados no lineales



Segundo Conjunto de datos

TABLE 1 Coefficients of friction and braking distance from the Danish Road Standards and Guidelines and braking distances from AASHTO Green Book

Speed (km/h)	Danish Road Standards and Guidelines		AASTHO Green Book
	Coefficient of friction	Braking distance (m)	
50	0.38	26	29
60	0.36	39	41
70	0.35	55	56
80	0.34	74	73
90	0.33	97	93
100	0.31	127	115
110	0.30	157	139
120	0.29	195	165
130	0.28	234	194

Greibe, Poul. (2014). DETERMINATION OF BRAKING DISTANCE AND DRIVER BEHAVIOUR BASED ON BRAKING TRIALS. [Online 13/08/2024]

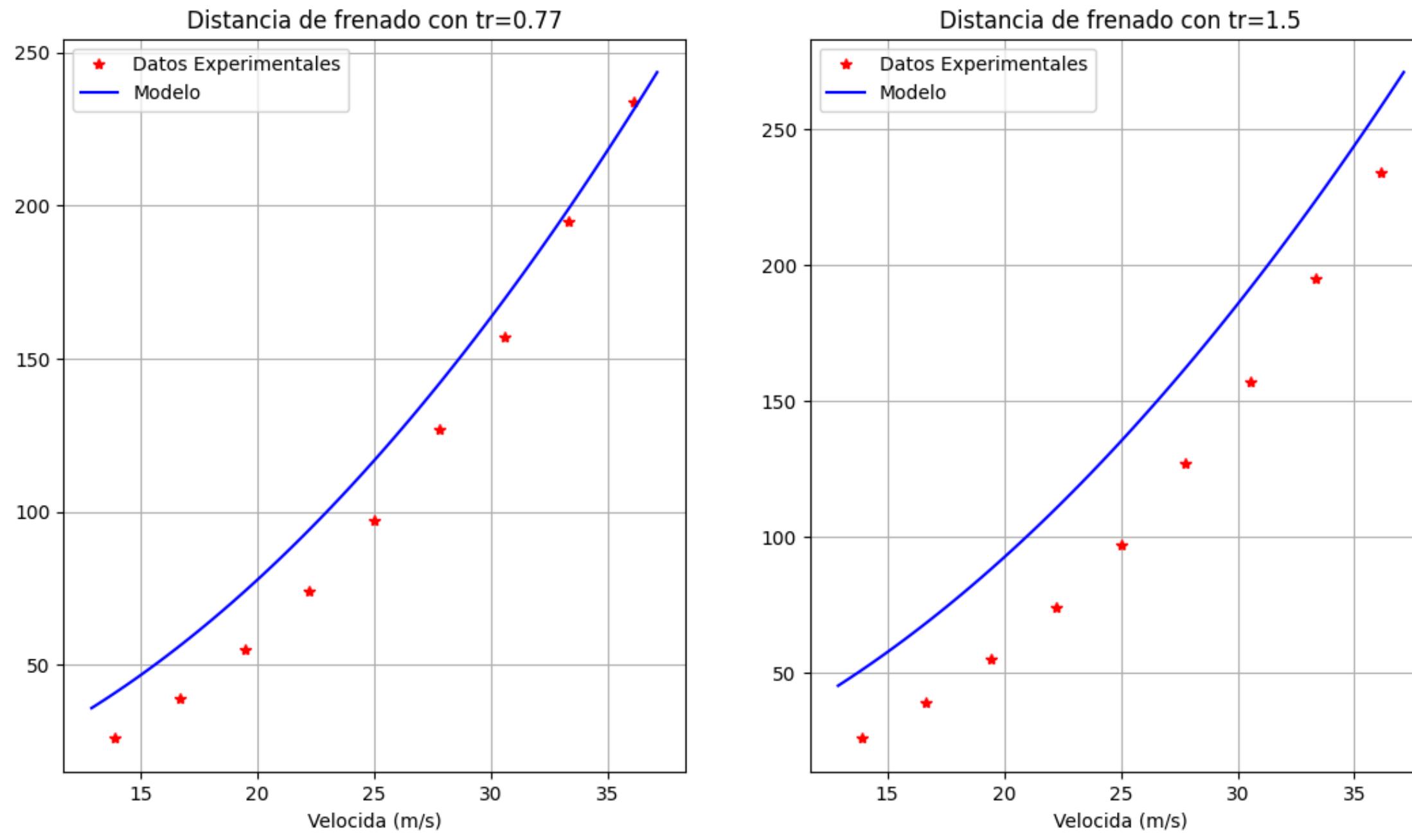
Validación

Segundo Conjunto de datos

Parametros

- μ : 0.33
- α : 0°

Modelos para el segundo conjunto de datos

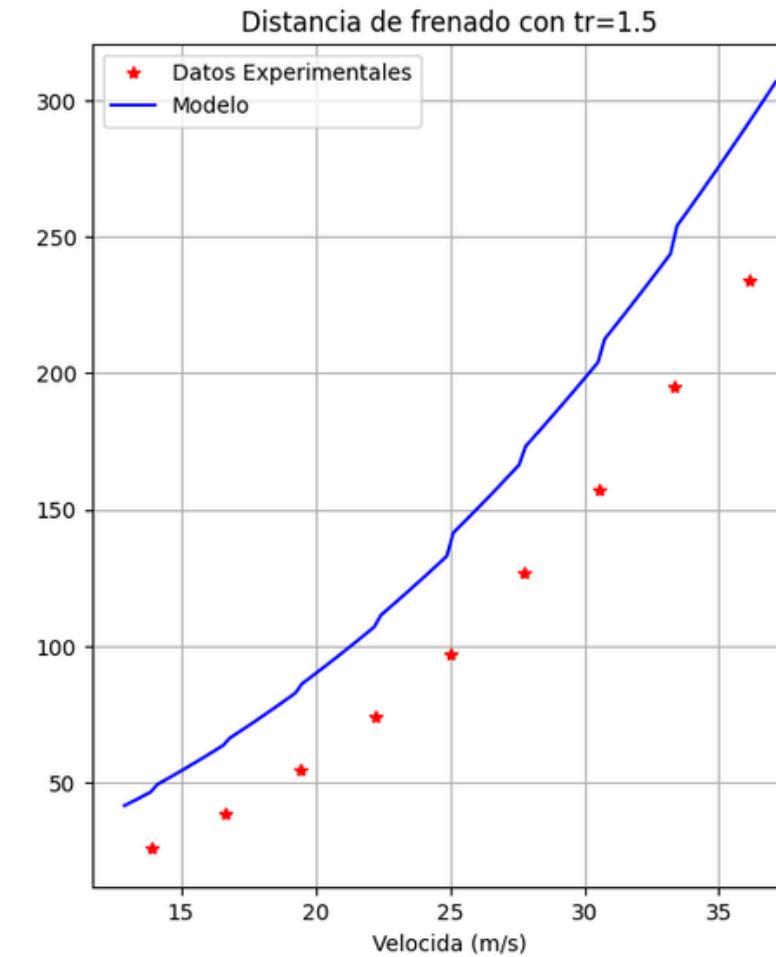
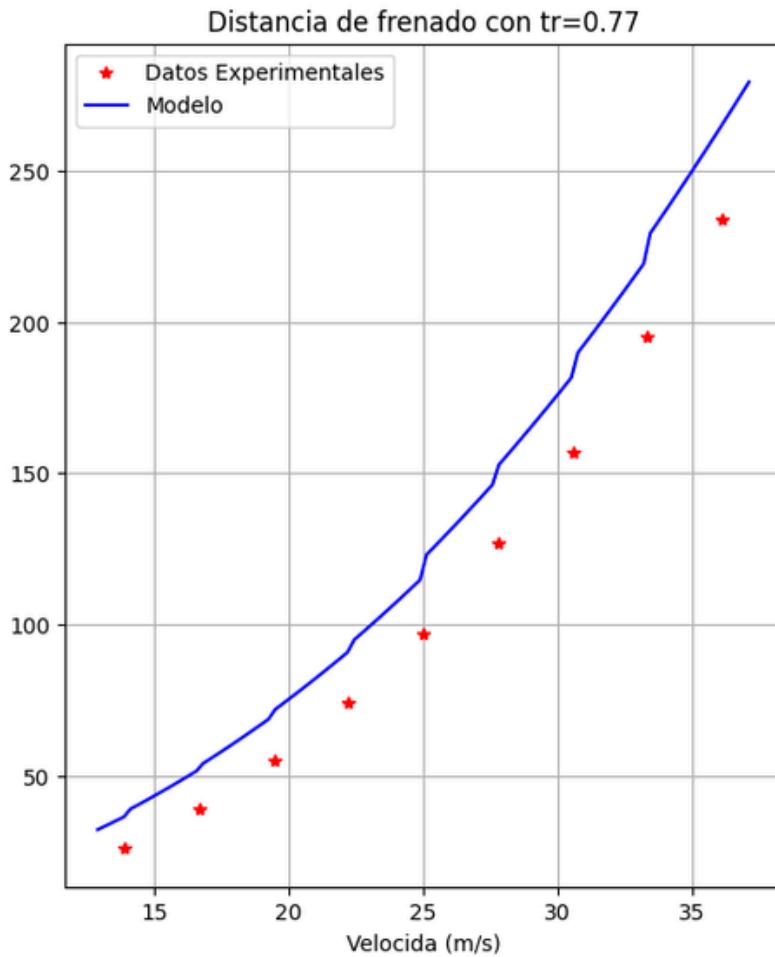


Validación

Primer Conjunto de datos Busqueda de parametros

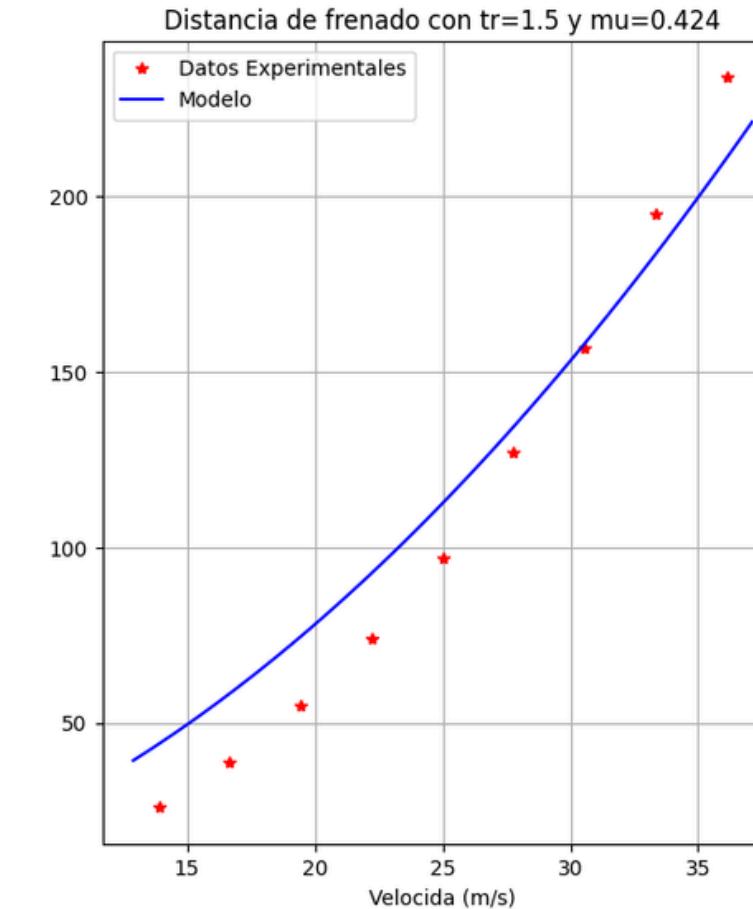
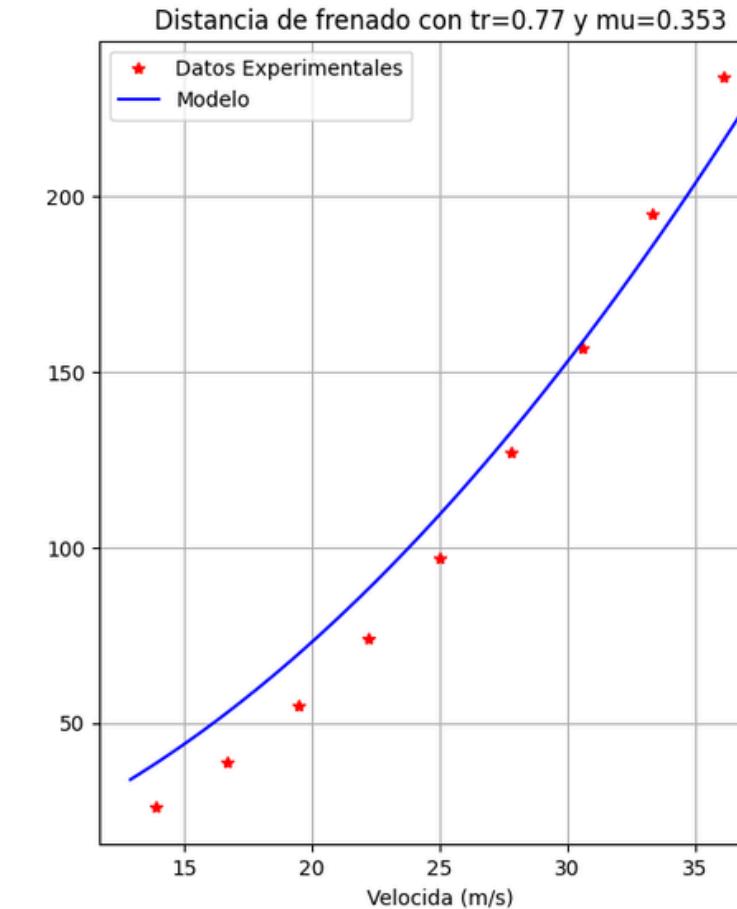
μ adaptables

Modelos para el segundo conjunto de datos con mu variable



Busqueda μ

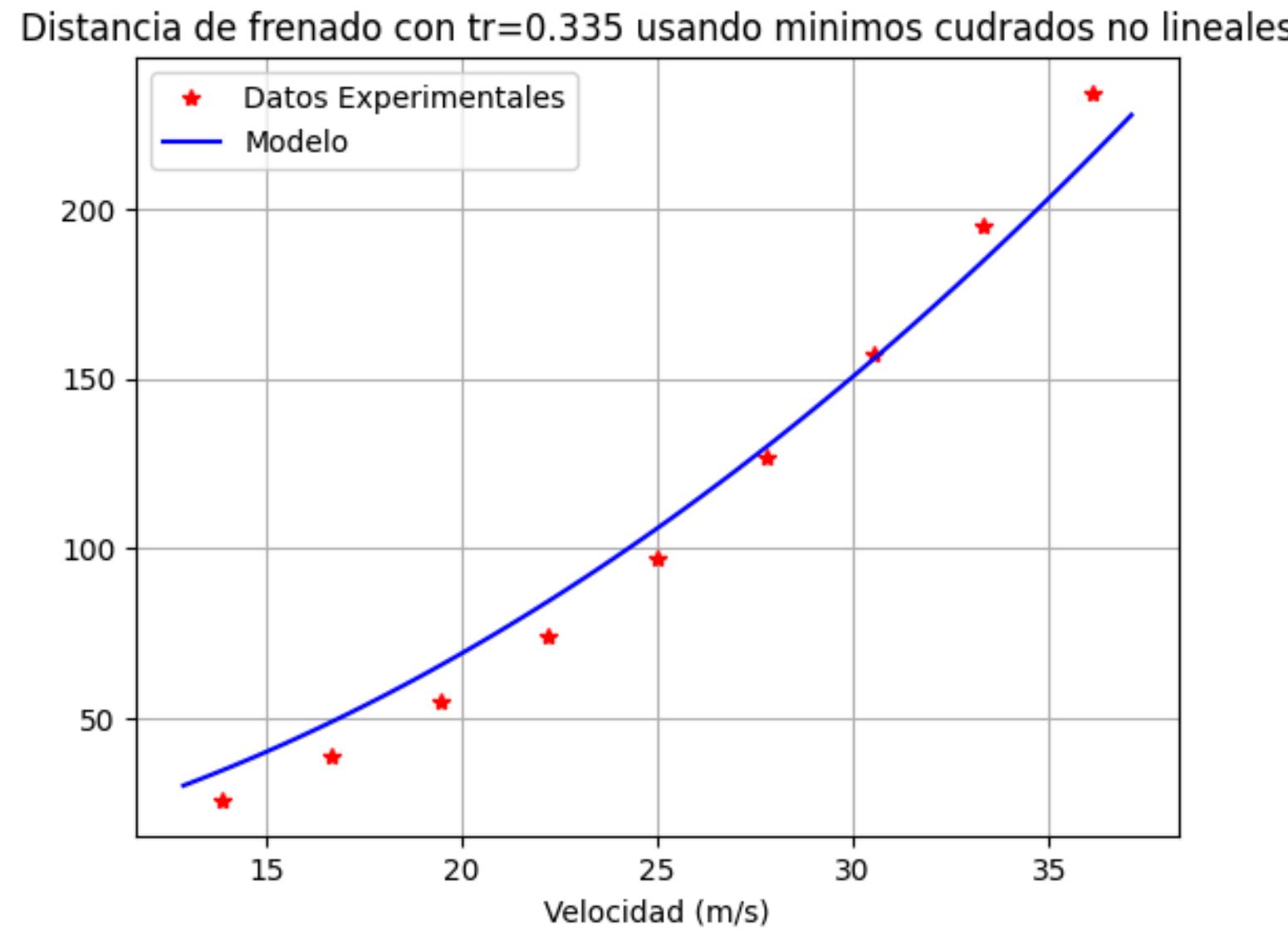
Distancia de frenado con minimos cuadrados para el segundo conjunto de datos sobre el mu



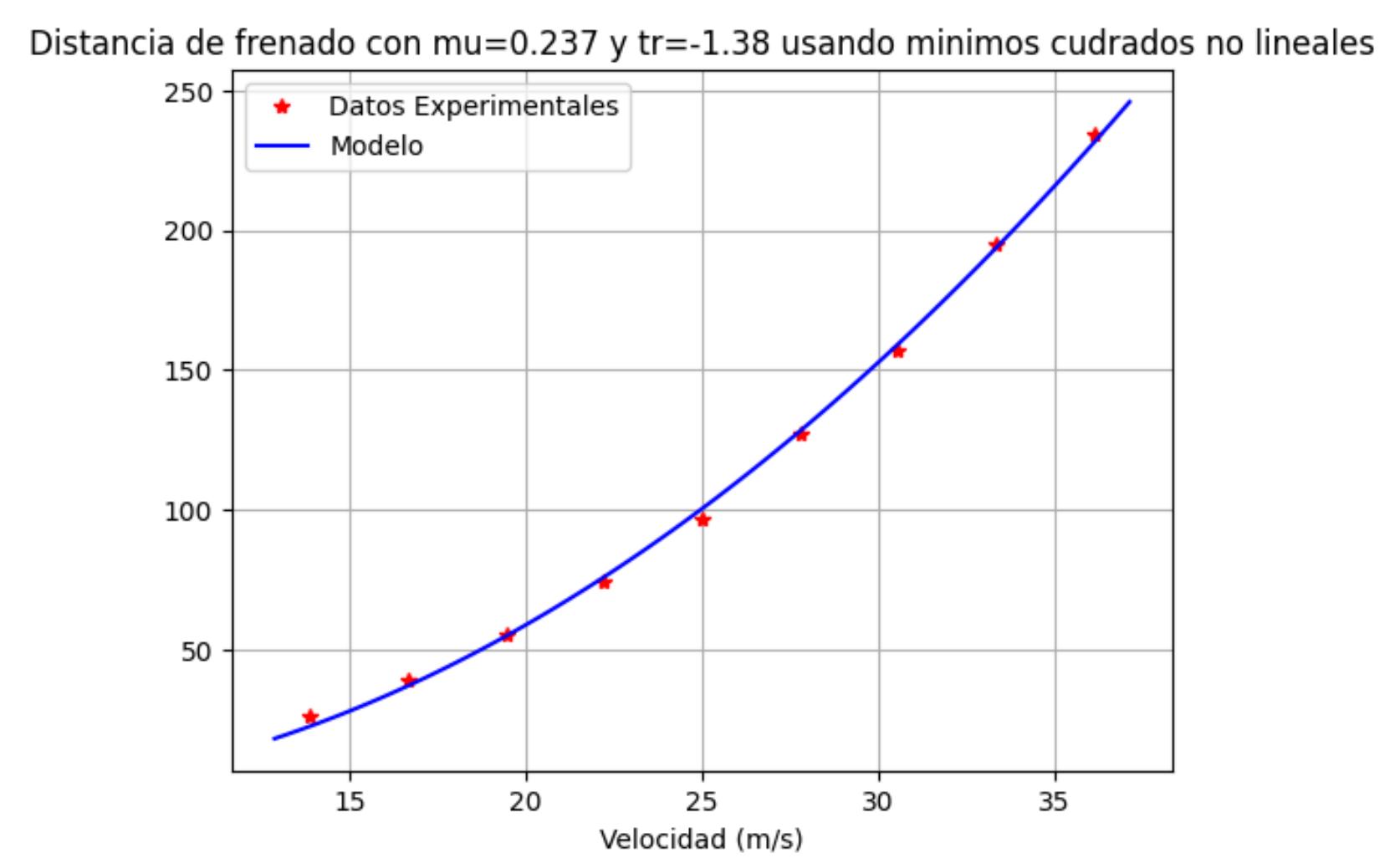
Validación

Primer Conjunto de datos Busqueda de parametros

Busqueda tr



Busqueda tr y μ



Conclusión

- **Estimación de parámetros compleja:** Trabajar con parámetros difíciles como el tiempo de reacción y el coeficiente de fricción.
- **Simplificación del modelo:** Ajuste mediante datos promedio, permitiendo una distancia de seguridad de 20-30 metros.
- **Aplicación en seguridad vial:** Estimación de la distancia adecuada entre vehículos en accidentes según el coeficiente de fricción.
- **Planificación de vías:** Determinación de la distancia de seguridad necesaria basada en el coeficiente de fricción estimado.
- **Evaluación en carreteras inclinadas:** Necesidad de probar el desempeño del modelo en diferentes condiciones de inclinación.

Referencias

01

Crede, V. General Physics A - Fall 2019 Studio. Florida State University. [Online 13/08/2024]

https://hadron.physics.fsu.edu/~crede/TEACHING/PHY2048C/Calendar/W6_D1/FrictionCoefficients.htm

02

Speed-Measuring Device Operator Training. National Highway Traffic Safety Administration, part of the U.S. Department of Transportation
https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/documents/core_participant_manual-smd-2018.pdf

03

Podoprigora N, Stepina P., Dobromirov V. & Kotikov J. (2020). Determination of driver's reaction time in expert studies of road traffic accidents using software and hardware complex. *Transportation Research Procedia*, 50, 538–544.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.064>

04

Greibe, Poul. (2014). DETERMINATION OF BRAKING DISTANCE AND DRIVER BEHAVIOUR BASED ON BRAKING TRIALS. [Online 13/08/2024]
https://www.researchgate.net/publication/242572582_DETERMINATION_OF_BRAKING_DISTANCE_AND_DRIVER_BEHAVIOUR_BASED_ON_BRAKING_TRIALS

