



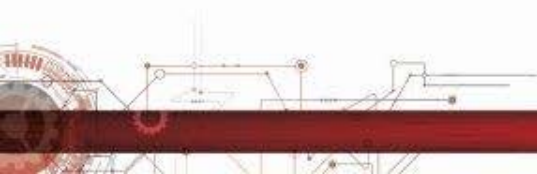
Procedimiento para medir las características de fricción en una carretera mediante una modificación de la Fórmula Mágica

Cabrera, J.A.; Castillo, J.J.; Pérez, J.; Velasco, J.; Guerra, A.J.
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA
Hernández, P.
DEMARCACIÓN DE CARRETERA DEL ESTADO (MURCIA)

19-21
SEP 2018 **madrid**

INDICE:

- INTRODUCCIÓN
- MODELO NEUMÁTICO
- VEHÍCULO DE ENSAYO
- ENSAYOS Y RESULTADOS
- CONCLUSIONES

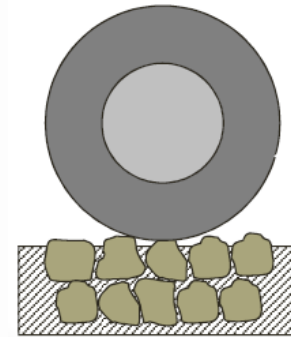


INTRODUCCIÓN

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DETERMINACIÓN DE LA ADHERENCIA EN UNA CARRETERA:



NEUMÁTICO



Neumático

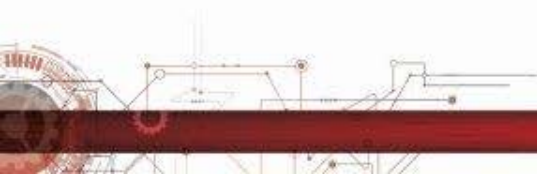
Arido

Bitumen

COMPOSICIÓN Y TIPO CARRETERA



OTROS FACTORES



INTRODUCCIÓN

PROCEDIMIENTOS PARA LA MEDICIÓN ADHERENCIA:

MÉTODOS DIRECTOS:

- PÉNDULO BRITÁNICO (ASTM E303) → CRD
- SCRIM (ASTM E274) → CRT
- MU-METER (ASTM E670)
- LOCKED-WHEEL SKID TRAILER (ASTM E274)

MÉTODOS INDIRECTOS:

- CÍRCULO DE ARENA (ASTM E965) → MTD
- CIRCULAR TRACK METER (ASTM E2157) → MPD
- MEDIDA MICROTEXTURA MEDIANTE MICROSCOPIO

PROBLEMÁTICA ARMONIZACIÓN MEDIDAS:

- ÍNDICE INTERNACIONAL DE FRICCIÓN (IFI)



NEUMÁTICO

MÉTODOS MEDIDA ADHERENCIA NO INCLUYEN EL NEMÁTICO



MODELOS DE NEUMÁTICOS



MODELO DE LA FÓRMULA MÁGICA (PACEJKA)

$$F_x = \left[D_x \cdot \sin \left[C_x \cdot \operatorname{atan} \left\{ B_x \cdot (s + S_{hx}) - E_x \cdot \left(B_x \cdot (s + S_{hx}) - \operatorname{atan} (B_x \cdot (s + S_{hx})) \right) \right\} \right] \cdot \lambda_{\mu x} + S_{vx} \right]$$

$$F_y = \left[D_y \cdot \sin \left[C_y \cdot \operatorname{atan} \left\{ B_y \cdot (\alpha + S_{hy}) - E_y \cdot \left(B_y \cdot (\alpha + S_{hy}) - \operatorname{atan} (B_y \cdot (\alpha + S_{hy})) \right) \right\} \right] \right] + S_{vy}$$

VEHÍCULO DE ENSAYO



Vehículo sensorizado IMMA



Neumático Hankook 205/65R15

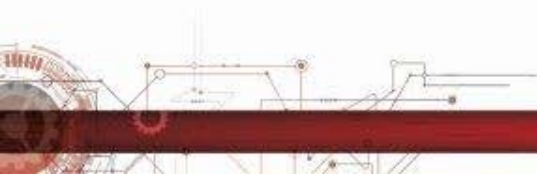
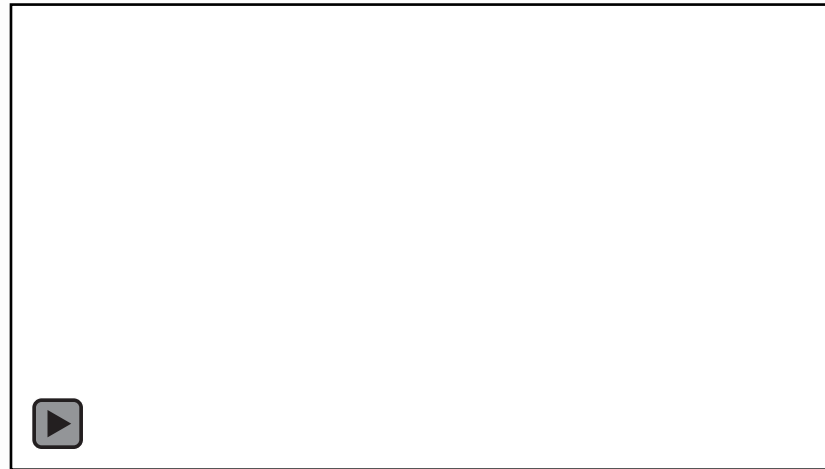
Longitudinal coefficients	Value [18]
PCX1: C_{Fx} shape factor for longitudinal force	1.39708965
PDX1: μ_x longitudinal friction at F_{znom}	1.10206790
PDX2: μ_x friction variation with load	-0.18524061
PEX1: E_{Fx} longitudinal curvature at F_{znom}	-0.45925516
PEX2: E_{Fx} curvature variation with load	-1.49950140
PEX3: E_{Fx} curvature variation with squared load	-2.46964541
PEX4: Factor in E_{Fx} curvature while driving	-0.90674124
PKX1: K_{Fx}/F_z longitudinal slip stiffness at F_{znom}	38.50310903
PKX2: K_{Fx}/F_z slip stiffness variation with load	2.03196267
PKX3: Exponent in K_{Fx}/F_z slip stiffness with load	-0.59108577
PHX1: S_{hx} horizontal shift at F_{znom}	-0.00227143
PHX2: S_{hx} shift variation with load	0.00193554
PVX1: S_{vy}/F_z vertical shift at F_{znom}	0.05759227
PVX2: S_{vy}/F_z shift variation with load	-0.02874956

Lateral coefficients	Value [18]
PCY1: C_{Fy} shape factor for lateral force	1.276760
PDY1: μ_y lateral friction	0.932775
PDY2: μ_y friction variation with load	-0.128085
PDY3: μ_y friction variation with square camber	1.019803
PEY1: Lateral E_{Fy} curvature at F_{znom}	-1.399340
PEY2: E_{Fy} curvature variation with load	-0.074863
PEY3: Zero order camber dependency of E_{Fy} curvature	0.178860
PEY4: E_{Fy} curvature variation with camber	-8.252847
PKY1: K_{Fy}/F_{znom} stiffness maximum value	-17.36182
PKY2: Load at which K_{Fy}/F_{znom} reaches maximum value	2.293896
PKY3: K_{Fy}/F_{znom} variation with camber	-0.110362
PHY1: S_{hy} horizontal shift at F_{znom}	0.001696
PHY2: S_{hy} shift variation with load	0.003882
PVY1: S_{vy}/F_z vertical shift at F_{znom}	0.006931
PVY2: S_{vy}/F_z shift variation with load	0.018685

ENSAYOS Y RESULTADOS

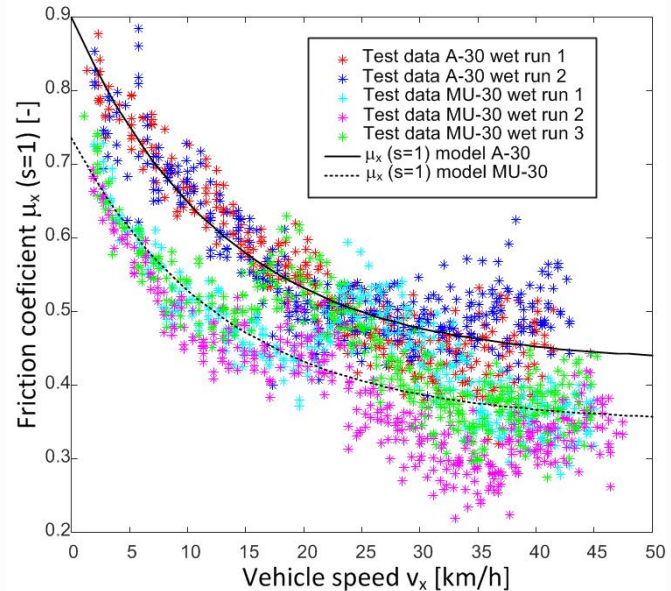
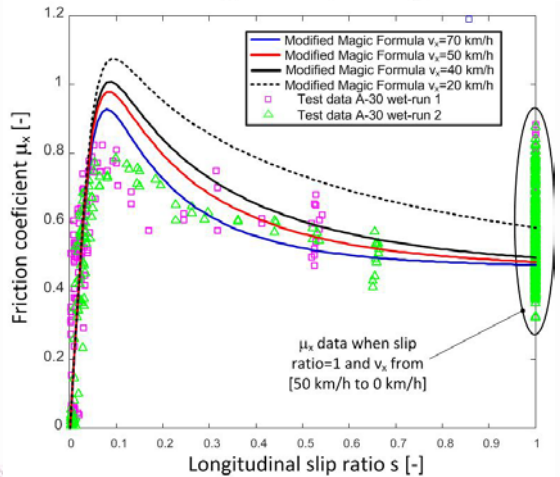
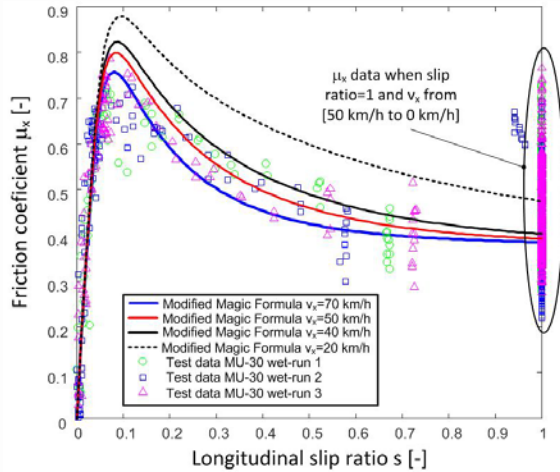
CONDICIONES ENSAYO:

- Ensayos en línea recta en mojado y seco (distintas carreteras)
- Frenada desde una velocidad determinada → solo ruedas delanteras
- Ruedas traseras se utilizan para la obtención velocidad vehículo
- Medidas → Fuerzas longitudinal y vertical. Velocidad angular ruedas



ENSAYOS Y RESULTADOS

Carreteras A-30 y MU-30:



Modelo Propuesto:

$$\lambda_{\mu x} = PLX1 + PLX2 \cdot e^{-PLX3 \cdot s \cdot v_x}$$

ENSAYOS Y RESULTADOS

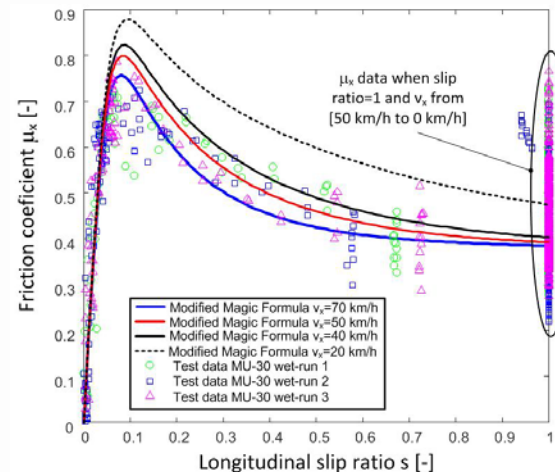
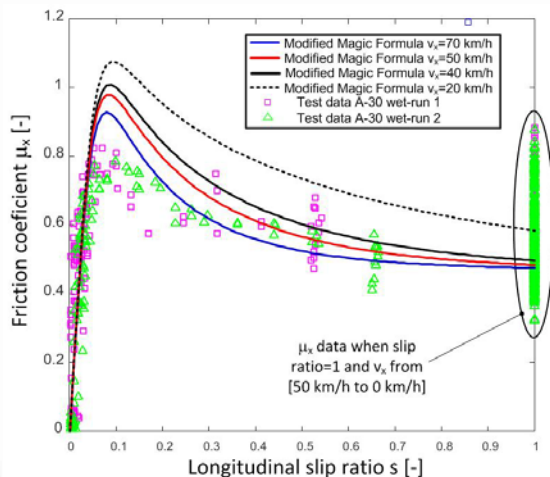
Carreteras A-30 y MU-30:

Modelo Propuesto:

$$F_x = \left[D_x \cdot \sin \left[C_x \cdot \operatorname{atan} \left\{ B_x \cdot (s + S_{hx}) - E_x \cdot \left(B_x \cdot (s + S_{hx}) - \operatorname{atan} (B_x \cdot (s + S_{hx})) \right) \right\} \right] \cdot \lambda_{\mu x} + S_{vx} \right]$$

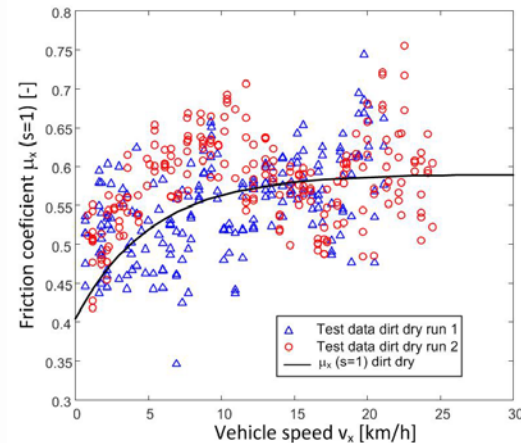
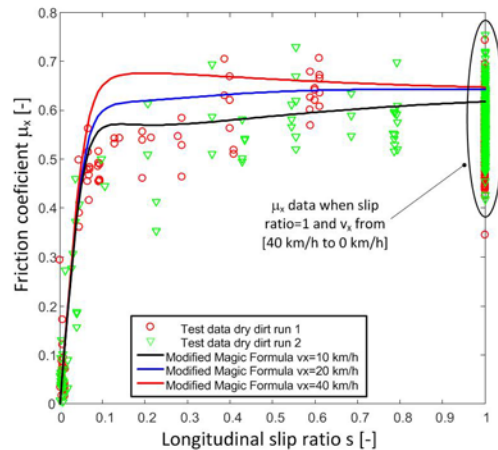
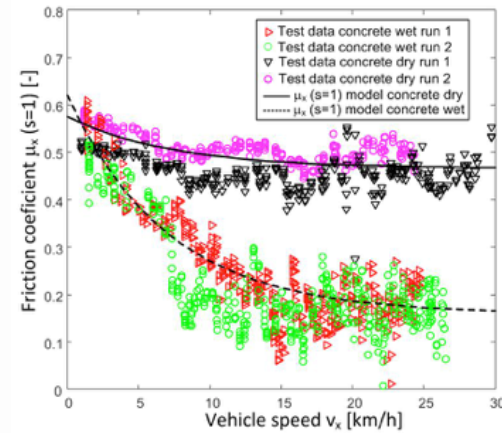
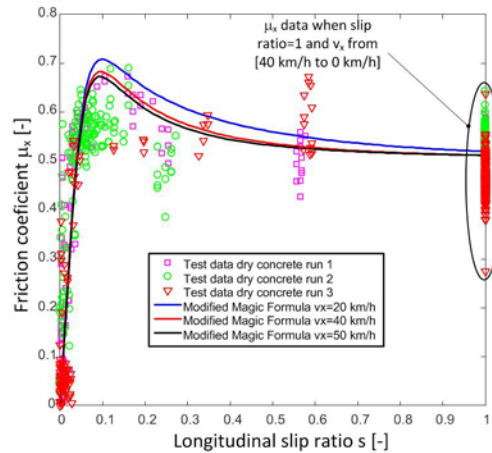
$$\lambda_{\mu x} = PLX1 + PLX2 \cdot e^{-PLX3 \cdot s \cdot v_x}$$

$\lambda_{\mu x}$ coefficients		A-30	MU-30
PLX1: microtexture longitudinal friction	[-]	0.430688	0.349478
PLX2: macrotexture longitudinal friction	[-]	0.469080	0.386194
PLX3: macrotexture shape factor	[h/km]	0.076649	0.076649



ENSAYOS Y RESULTADOS

Otras carreteras:

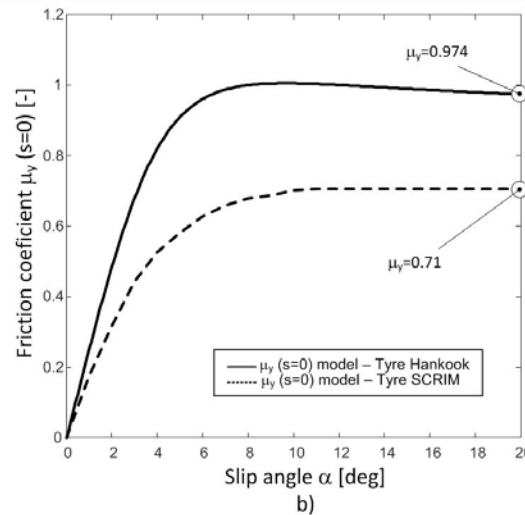
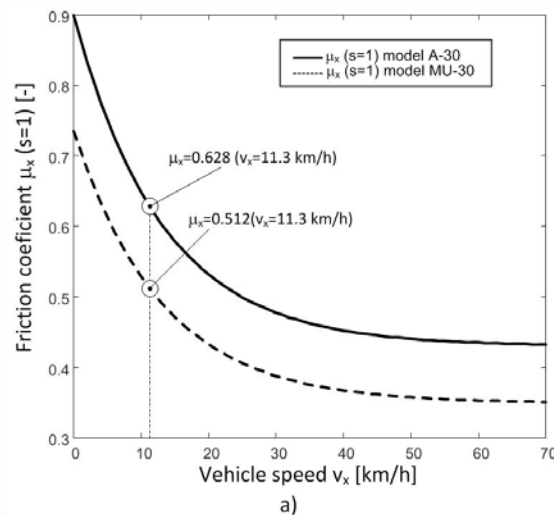


ENSAYOS Y RESULTADOS

Comparación medidas adherencia:

Test requirements	British Pendulum	SCRIM
Test speed	11.3 km/h	50 km/h
Test slip angle	0°	20°
Test slip ratio	s=1	s=0
Road condition	wet	wet

Road	British Pendulum/Hankook	SCRIM/Hankook
OP14 A-30 84+600	57/62.8	42.71/58.51
OP4 MU-30 El Palmar 0+800	37/51.2	27.78/38.06



$$LHS = \frac{\mu_y(\alpha = 20^\circ)_{HANKOOK}}{\mu_y(\alpha = 20^\circ)_{SCRIM}} = 1.37$$

CONCLUSIONES

- Las medidas de adherencia realizadas por los dispositivos estándares no tienen en cuenta el tipo de neumático.
- El tipo de neumático influye en la obtención de la adherencia entre la calzada y la rueda.
- El modelo de la Fórmula Mágica no incluye el tipo de carretera y la condición de la misma.
- El modelo de fuerza longitudinal propuesto tiene en cuenta el tipo de carretera y la condición de la misma, además de la velocidad y el deslizamiento.
- El modelo propuesto evalúa de forma más realistas las características de fricción longitudinal (influencia en la seguridad activa y distancia frenado).
- Las medidas de resistencia de fricción obtenidas con los dispositivos estándares dan valores inferiores a los del modelos propuesto (diseño de carreteras).

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

