



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

CIBIM 2017

XIII Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica



Control Regenerativo para Motocicleta Eléctrica

J. A. Cabrera Carrillo, J. Pérez, J.M. Velasco, J.J. Castillo Aguilar

Área de Ingeniería Mecánica.

Departamento de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos

Universidad de Málaga.

Octubre, 2017



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

CIBIM 2017

XIII Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica



ÍNDICE

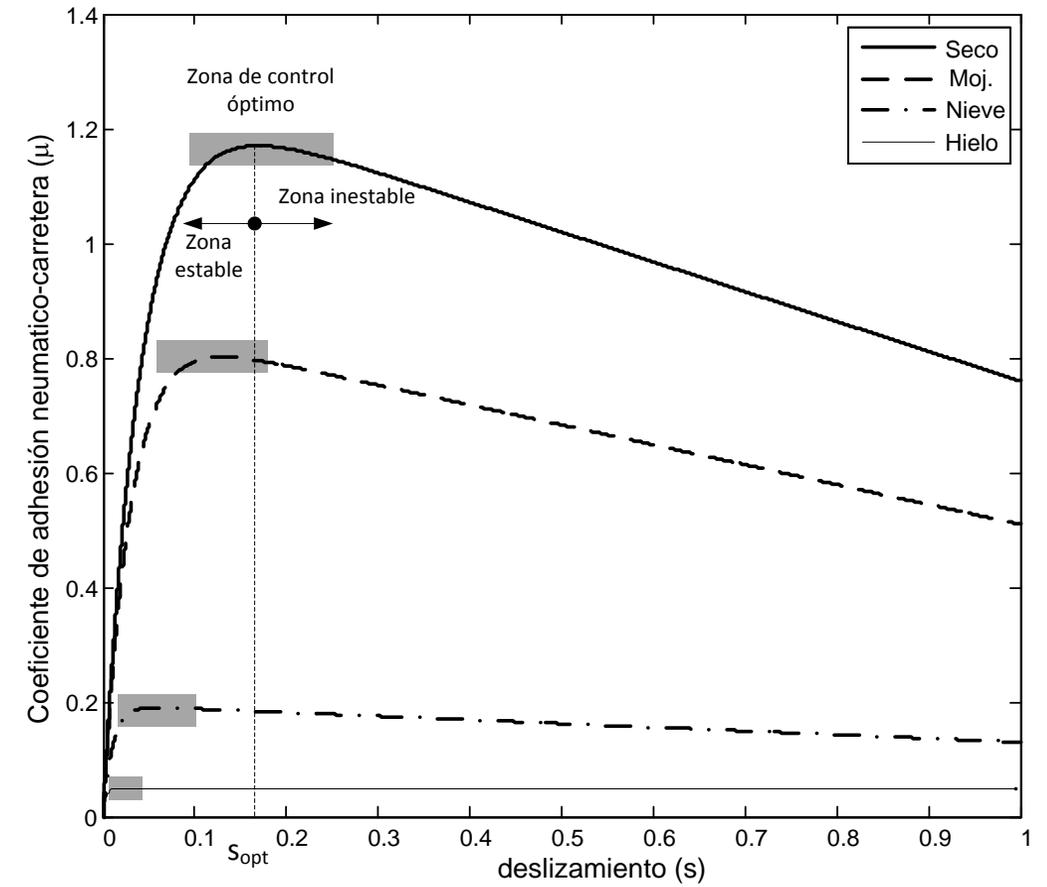
- **Introducción**
- **Bucle de control**
- **Modelo motor eléctrico**
- **Estimación parámetros y tipo de carretera**
- **Control regenerativo**
- **Resultados**
- **Conclusiones**

PROBLEMAS DEL CONTROL REGENERATIVO

Tasa regeneración fija

- Conocer el deslizamiento entre rueda y carretera en cada instante.
 - Posibilidad de inestabilidad en la motocicleta.
 - No se tiene la misma capacidad de regeneración
- Conocer el tipo de carretera por donde circula el vehículo en cada instante.
 - Posibilidad de inestabilidad en la motocicleta.
 - No se tiene la misma capacidad de regeneración

Necesidad de utilizar los sensores existentes en los vehículos actuales



Obtención deslizamiento (s)
coeficiente adherencia (μ_x)

$$s = 1 - \frac{\omega R_r}{v_x} \quad \mu_x = \frac{F_x}{F_z}$$

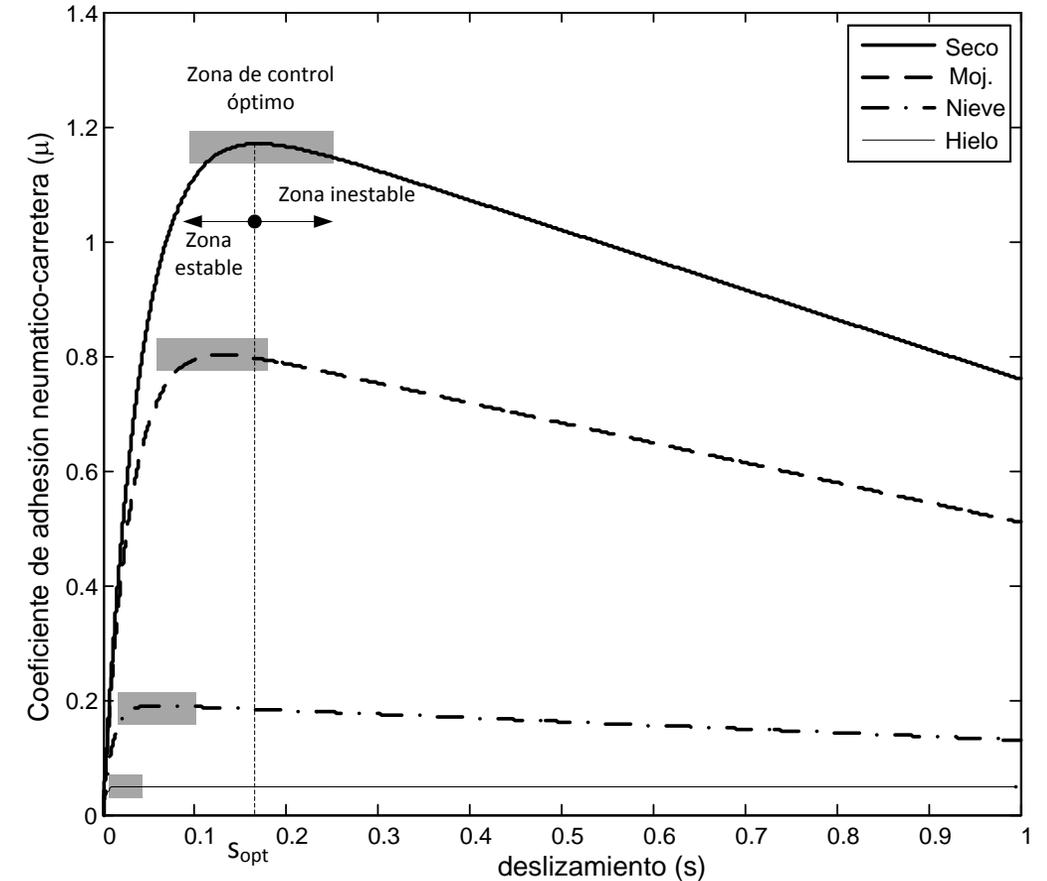


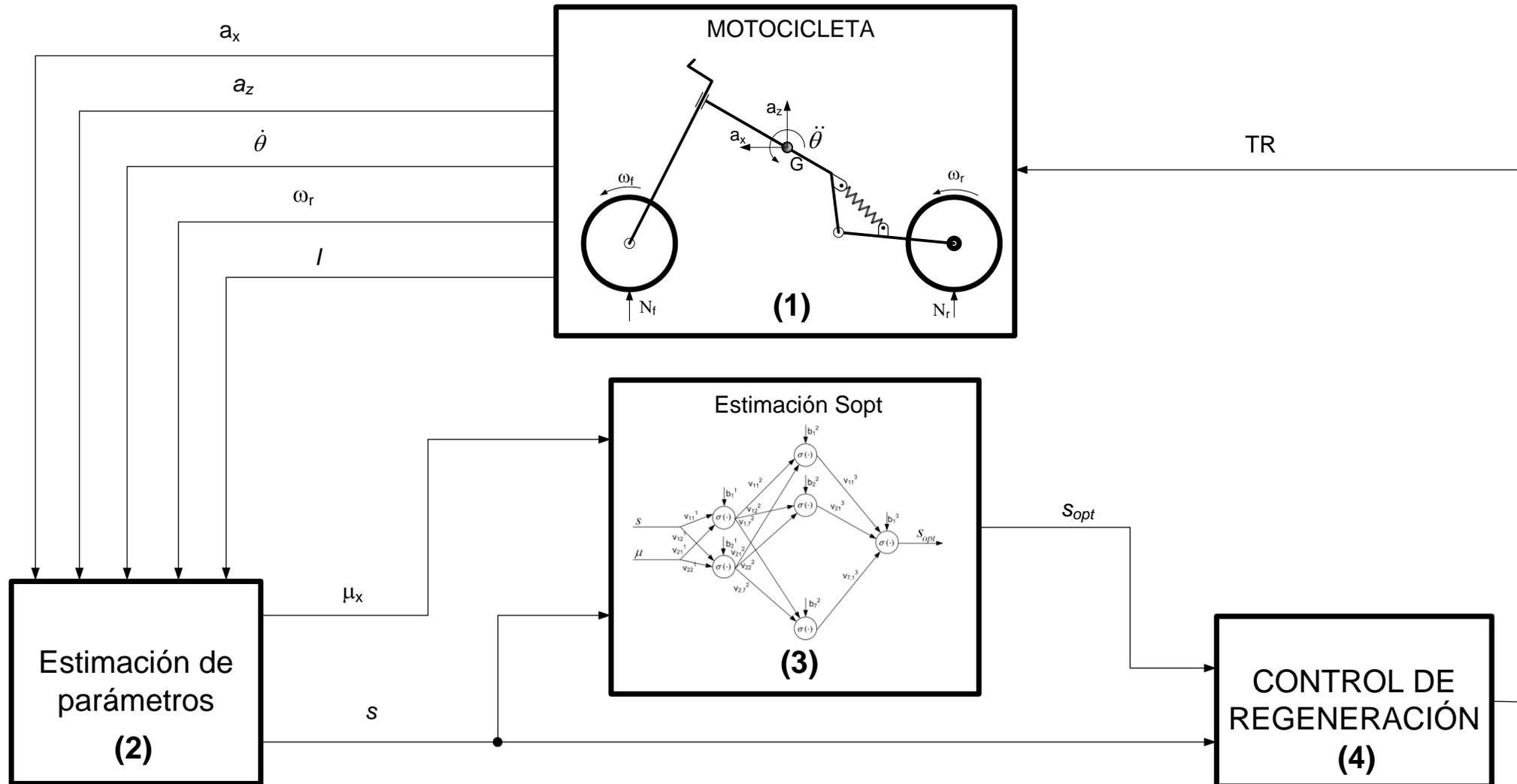
NECESIDAD DE ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

- Velocidad y deslizamiento
- Fuerza verticales y horizontales
- Coeficientes de adherencia

MÉTODOS MÁS UTILIZADOS

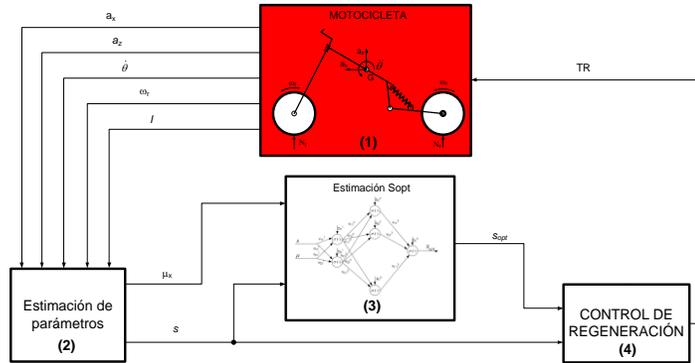
- Mínimos cuadrados recursivos (RLS)
- Observadores en modos deslizante
- Filtros de Kalman (KF, EKF y UKF)





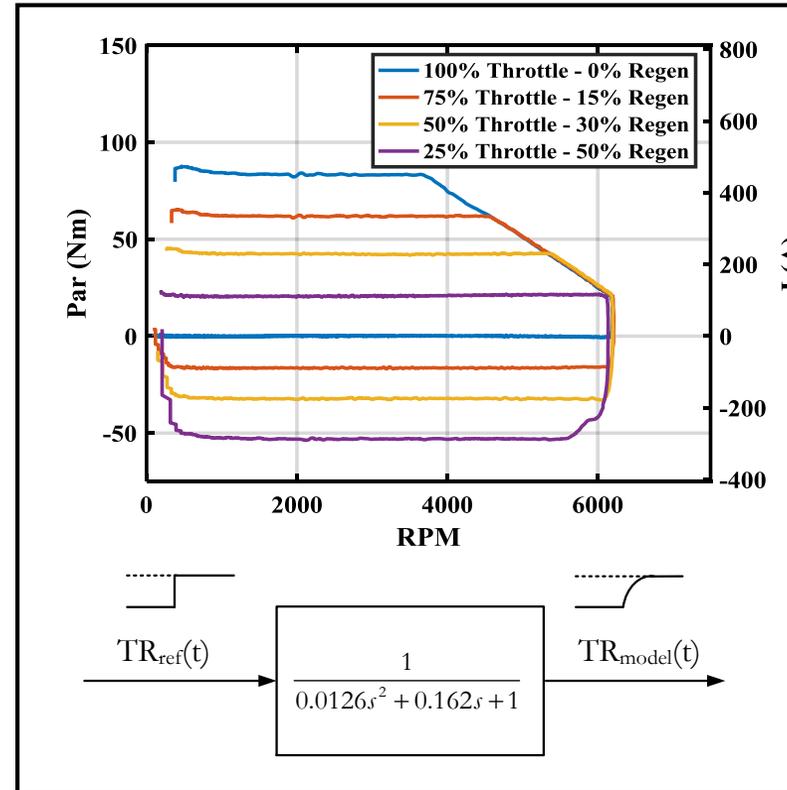
SIMULACIONES SISTEMA MEDIANTE BIKESIM®

- PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y DINÁMICOS MOTOCICLETA
- MODELADO MOTOR ELÉCTRICO



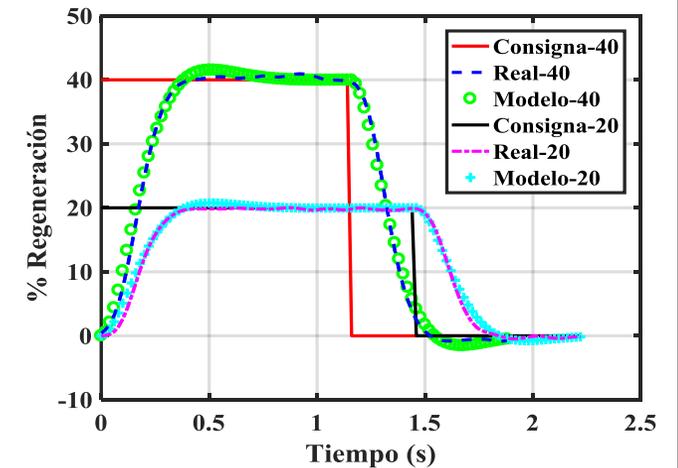
Descripción	Valor
Masa total	205 kg
Radio de rueda	0.3 m
Momento de inercia de rueda	0.5 kg.m ²
Distancia cdg eje delantero	0.67 m
Distancia cdg eje trasero	0.7 m
Altura cdg	0.4 m
Área frontal	0.6 m ²
Coefficiente aerodinámico	0.55

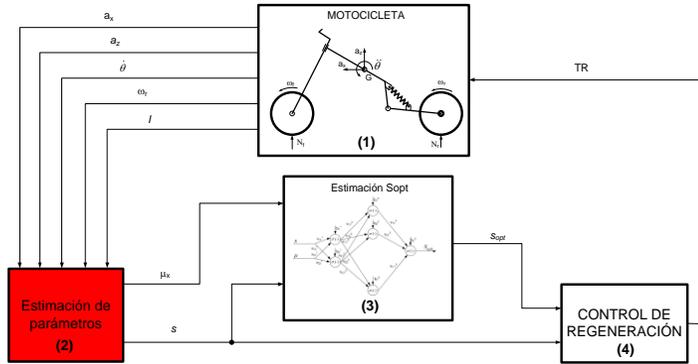
PARÁMETROS MOTOCICLETA



MODELADO MOTOR ELÉCTRICO

$$T = \varphi \cdot f(\omega_m, TR)$$





Obtención deslizamiento (s) coeficiente adherencia (μ_x)

$$s = 1 - \frac{\omega_r R_r}{v_x} \quad \mu_x = \frac{F_{x,r}}{N_r}$$

Modelo motocicleta

$$M a_x = M(\ddot{x} + \dot{\theta} \dot{z}) = F_{xr} - C \dot{x}^2$$

$$M a_z = M(\ddot{z} - \dot{\theta} \dot{x} + g) = N_f + N_r$$

$$I_y \ddot{\theta} = N_r l_r - N_f l_f - F_{x,z}$$

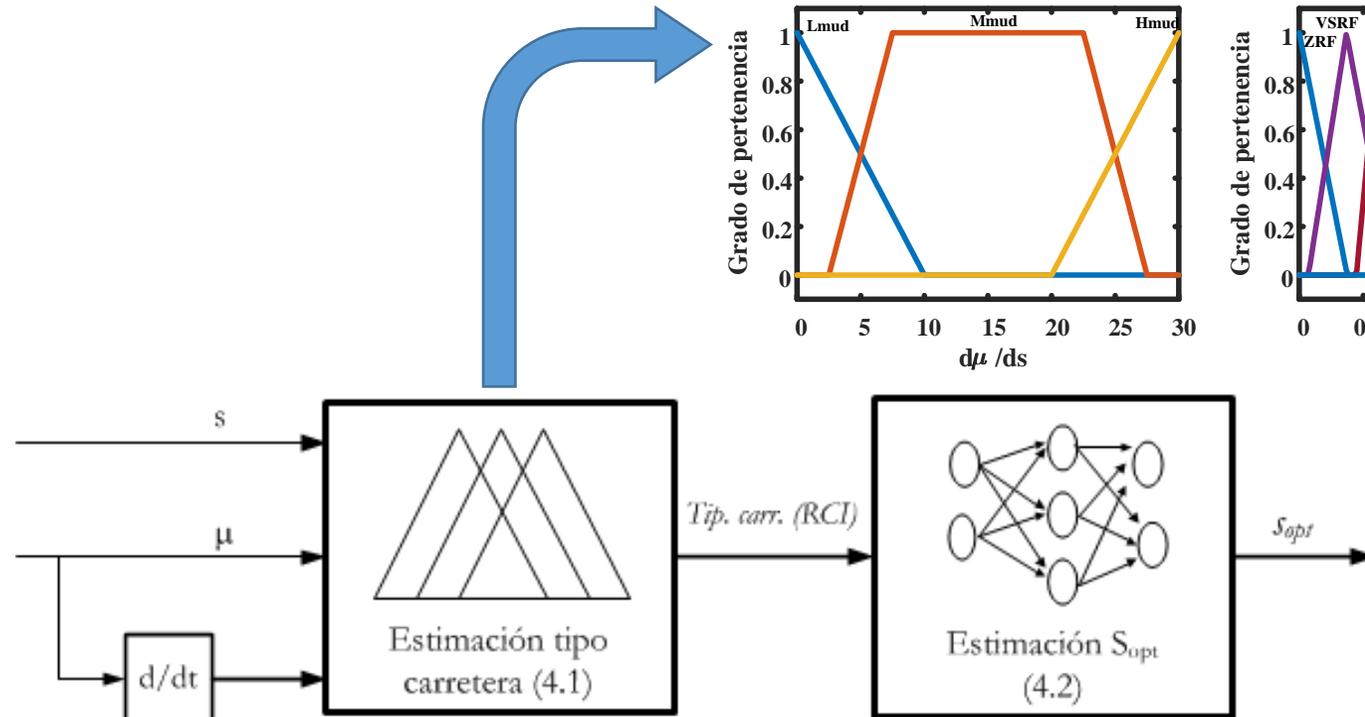
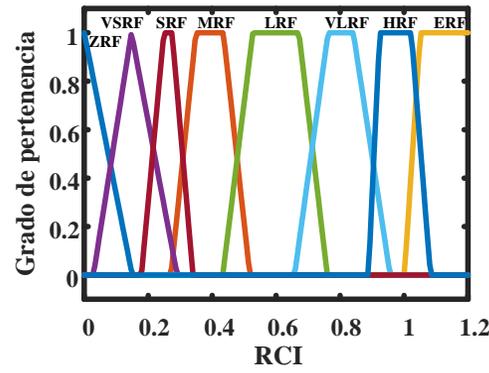
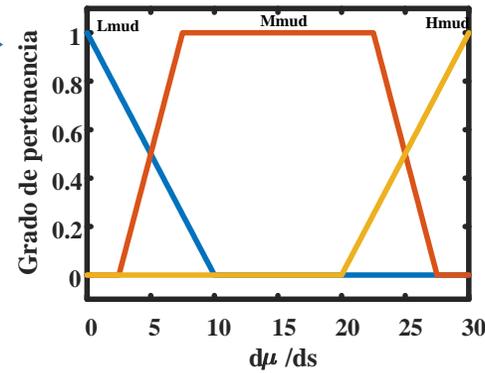
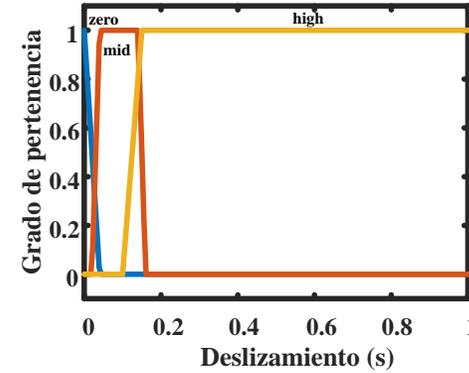
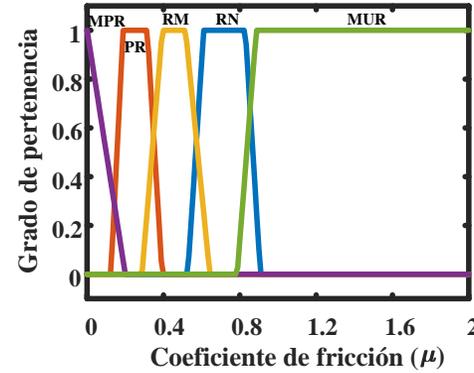
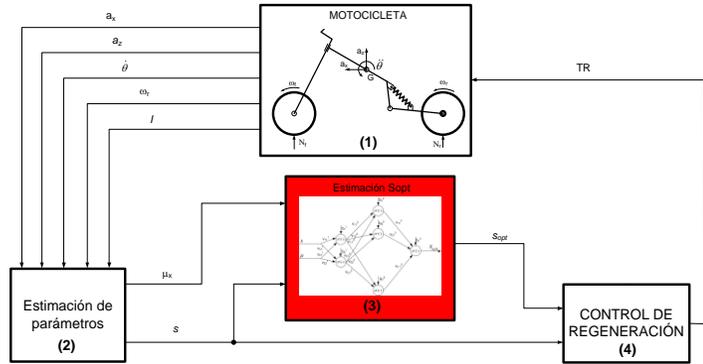
$$J \dot{\omega}_r = T - F_{xr} R_r$$

$$T = \varphi \cdot K_m \cdot I$$

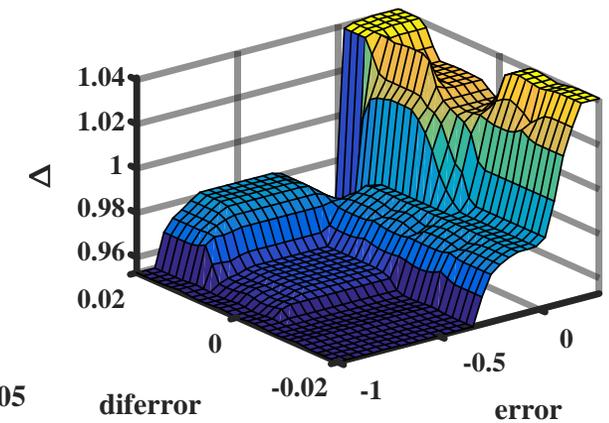
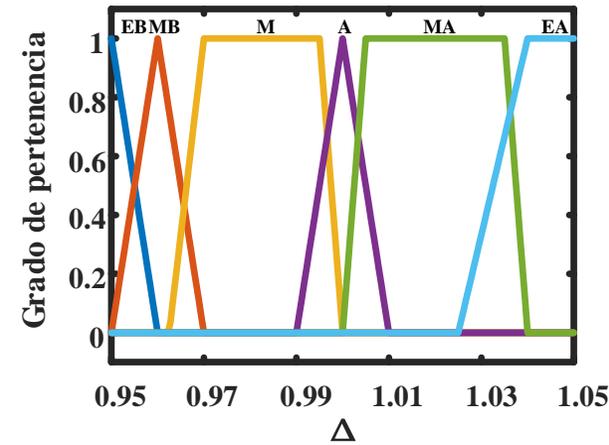
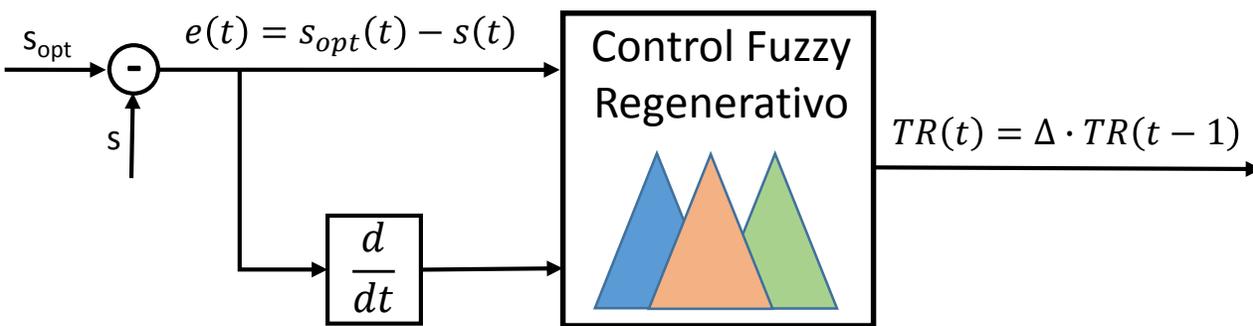
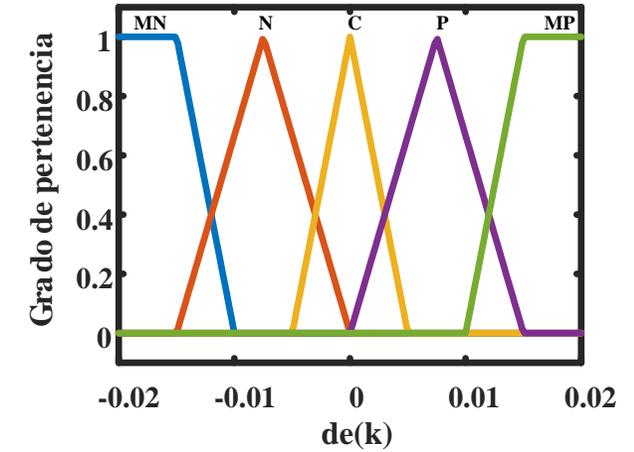
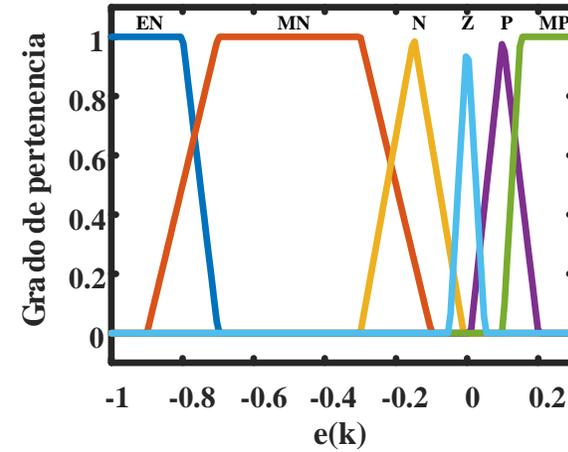
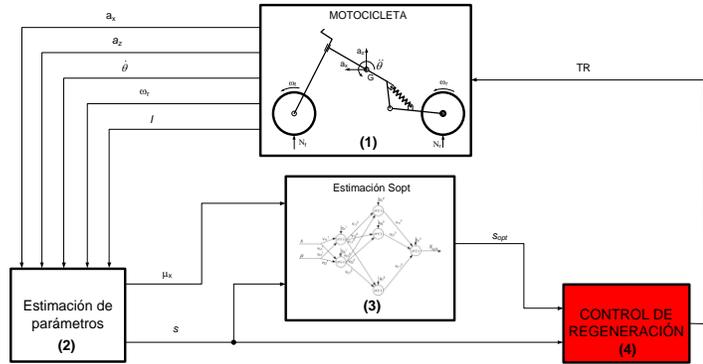
Medidas sensores
 $j(k) = [a_x, a_z, \dot{\theta}, \omega_r, I]^T$

Filtro Kalman
 Extendido
 (EKF)

Vector estados
 $x(k) = [F_{x,r}, N_r, N_f, v_x, T]^T$

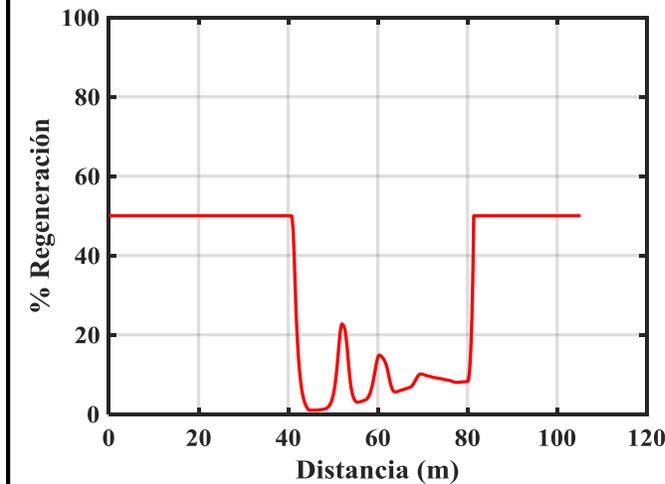
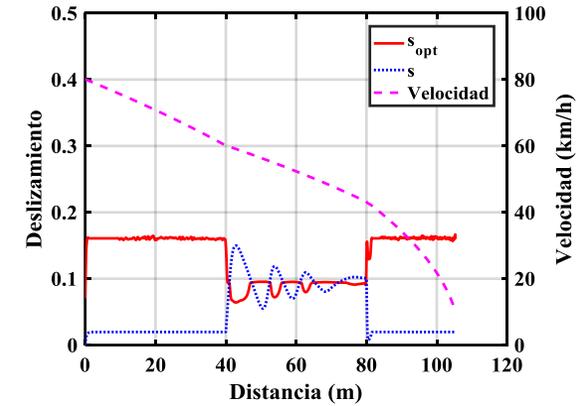
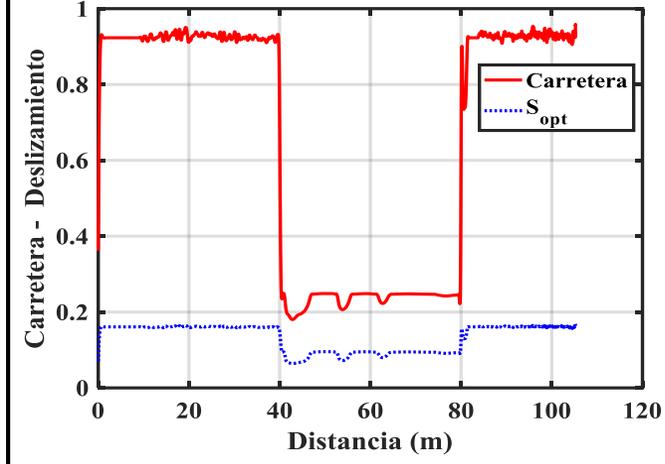
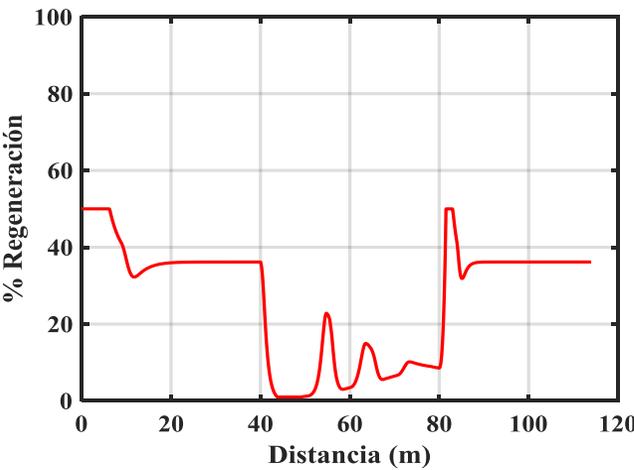
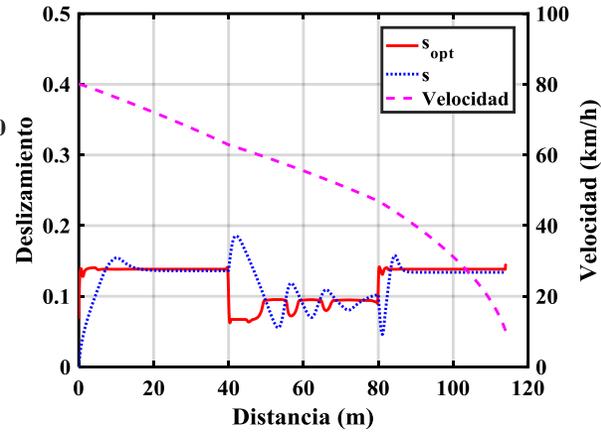
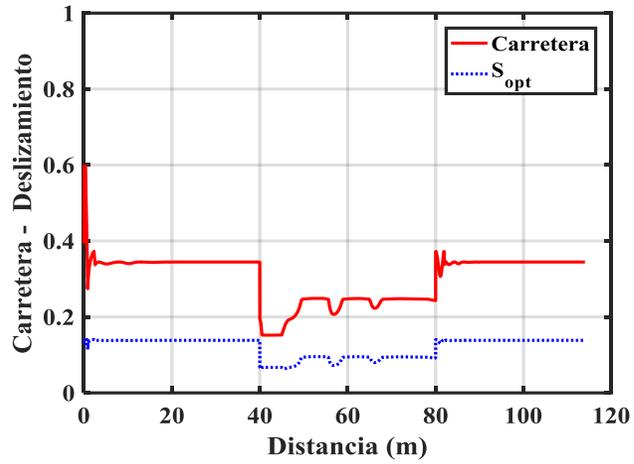


Número de regla	Coefficiente de fricción	Deslizamiento	$d\mu/ds$	RCI
1	MPR	mid	---	VSRF
2	MPR	high	---	ZRF
3	MPR	zero	Lmud	MRF
4	MPR	zero	Mmud	LRF
5	MPR	zero	Hmud	LRF
6	PR	mid	---	SRF
7	PR	high	---	VSRF
8	PR	zero	Lmud	LRF
9	PR	zero	Mmud	LRF
10	PR	zero	Hmud	VLRF
11	RM	mid	---	MRF
12	RM	high	---	MRF
13	RM	zero	Lmud	LRF
14	RM	zero	Mmud	VLRF
15	RM	zero	Hmud	HRF
16	RN	mid	---	VLRF
17	RN	high	---	LRF
18	RN	zero	Lmud	VLRF
19	RN	zero	Mmud	HRF
20	RN	zero	Hmud	ERF
21	MUR	mid	---	HRF
22	MUR	high	---	ERF
23	MUR	zero	Lmud	HRF
24	MUR	zero	Mmud	ERF
25	MUR	zero	Hmud	ERF



Transición baja-muy baja adherencia

Transición alta-baja adherencia





CONCLUSIONES



- ✓ **Se ha presentado un control regenerativo que varía la tasa de regeneración en función del tipo de carretera y del deslizamiento de la rueda trasera de la motocicleta.**
- ✓ **Se ha modelado el comportamiento de la motocicleta mediante los parámetros dinámicos.**
- ✓ **Se ha modelado el funcionamiento del motor eléctrico de la motocicleta.**
- ✓ **Es necesario un algoritmo de estimación basado en el uso de un filtro de Kalman extendido para obtener los parámetros necesarios para la estimación del tipo de carretera.**
- ✓ **Se ha desarrollado una red neuronal para detectar el deslizamiento óptimo.**
- ✓ **Simulaciones realizadas con el software de dinámica vehicular Bikesim® ofrecen resultados muy satisfactorios.**
- ✓ **Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación obtenida en el proyecto de Plan Nacional TRA2015-67920-R.**



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

CIBIM 2017

XIII Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica



Gracias por su atención

J.A. Cabrera, J. Pérez, J.M. Velasco, J.J. Castillo

Escuela de Ingenierías Industriales

C/ Doctor Ortiz Ramos s/n 29071 Málaga

Tf. +34 951952371

Fax +34 951952605

E-mail: jcabrera@uma.es

Web: webdeptos.uma.es/ingenieriamecanica

