



TEORÍA DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

FRENADO DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

*Prof. Dr. Francisco **APARICIO IZQUIERDO**
Catedrático de la Universidad Politécnica de Madrid*

5. FRENADO DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

CONTENIDO

5.1. FRENADO. INTRODUCCIÓN

5.2. FUERZAS Y MOMENTOS QUE ACTÚAN EN EL PROCESO DE FRENADO

5.3. CONDICIONES IMPUESTAS POR LA ADHERENCIA, REPARTO ÓPTIMO DE FUERZAS DE FRENADO.

5.4. EL PROCESO DE FRENADO.

5.5. SISTEMAS ANTIBLOQUEO DE FRENADO (ABS).

5. FRENADO DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

CONTENIDO

5.2. FUERZAS Y MOMENTOS QUE ACTÚAN EN EL PROCESO DE FRENADO

5.2.1. FUERZA DE FRENADO.

$$F_{fj} = \frac{M_{fj} - I_{ei} \dot{\Omega}_j}{r_c}$$

5.2.2. EFECTO DE UN DESNIVEL LONGITUDINAL.

$$R_g = P \operatorname{sen} \vartheta \quad \vartheta > 0$$

5.2.3. RESISTENCIA A LA RODADURA.

$$R_r = Pfr$$

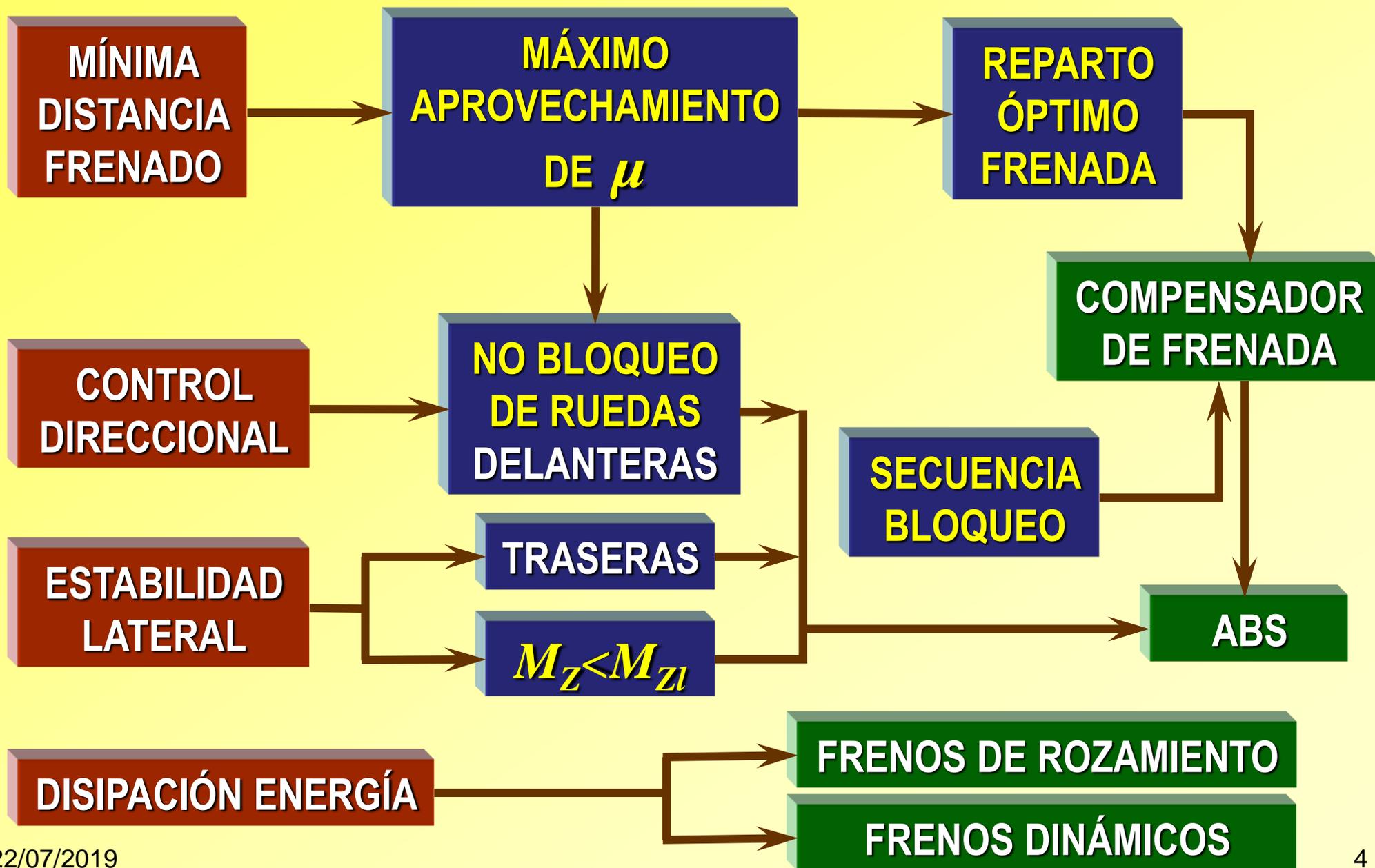
5.2.4. ACCIONES AERODINÁMICAS.

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_x A_f V^2$$

5.2.5. RESISTENCIA DEL MOTOR Y TRANSMISIÓN.

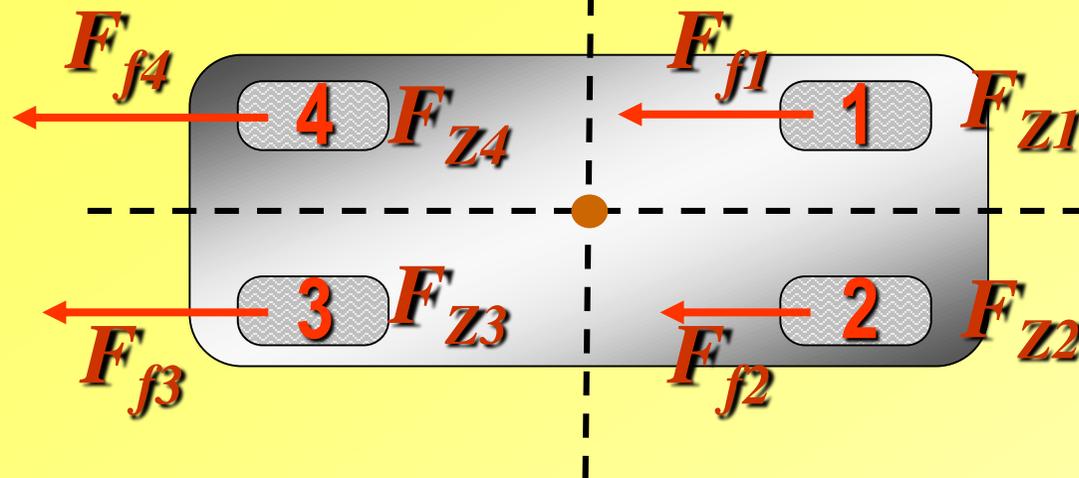
$$R_m = \frac{M_c \xi_j}{\eta_t r_c}$$

FRENADO Y SEGURIDAD



FRENADO. PROBLEMAS FUNDAMENTALES I

$$\Sigma F_{fj} = M \times a$$



CONDICIONES LÍMITE DE LAS FUERZAS DE FRENADO

$$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} F_{fj} \leq \mu F_{zj} \\ F_{fj} \leq F_{fj}^S \end{array}$$

1
LÍMITE IMPUESTO POR LA ADHERENCIA

2
LÍMITE PROPORCIONADO POR EL SISTEMA DE FRENOS

APROVECHAMIENTO ÓPTIMO DE LA ADHERENCIA

CONTROL INDEPENDIENTE DE CADA RUEDA

$$\frac{F_{f1}^S}{\mu F_{z1}} = \frac{F_{f2}^S}{\mu F_{z2}} = \frac{F_{f3}^S}{\mu F_{z3}} = \frac{F_{f4}^S}{\mu F_{z4}}$$

CONTROL POR EJES

$$\frac{F_{fd}^S}{F_{zd}} = \frac{F_{ft}^S}{F_{zt}}$$

$$\frac{F_{fd}^S}{F_{zd}} > \frac{F_{ft}^S}{F_{zt}}$$

BLOQUEO INICIAL EJE DELANTERO

PÉRDIDA DE CONTROL DIRECCIONAL

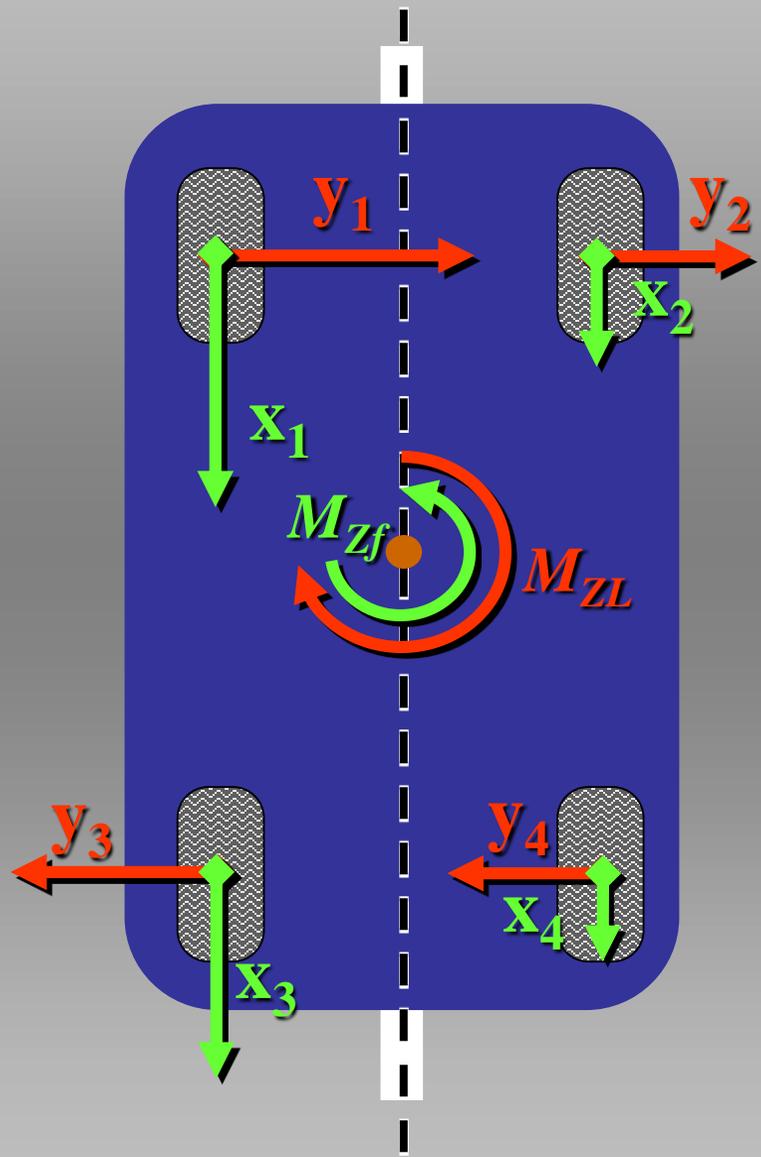
$$\frac{F_{zd}^S}{F_{zd}} < \frac{F_{zt}^S}{F_{zt}}$$

BLOQUEO INICIAL EJE TRASERO

PÉRDIDA DE ESTABILIDAD

ASFALTO

HIELO



5. FRENADO DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

CONTENIDO

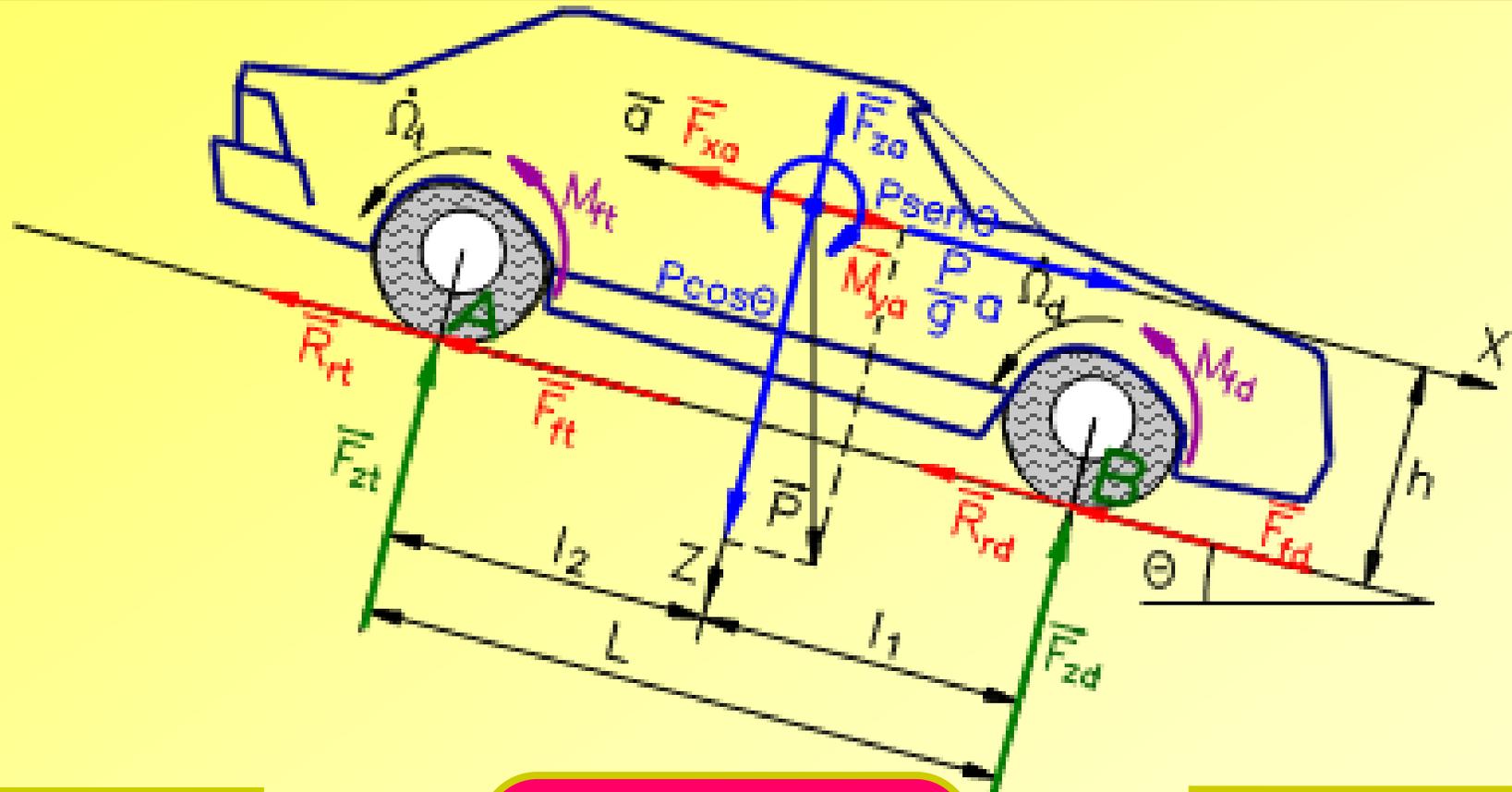
5.3. CONDICIONES IMPUESTAS POR LA ADHERENCIA. REPARTO ÓPTIMO DE FUERZAS DE FRENADO.

5.3.1. FRENADO DE VEHÍCULOS DE DOS EJES.

5.3.1.1. REPARTO ÓPTIMO DE FUERZAS DE FRENADO.

5.3.1.2. CURVAS DE EQUIADHERENCIA. MODIFICACIÓN DEL REPARTO DE FUERZAS DE FRENADO.

MODELO DE CUERPO LIBRE DE UN VEHÍCULO DE DOS EJES PARA EL ESTUDIO DEL FRENADO



ADHERENCIA

REPARTO ÓPTIMO

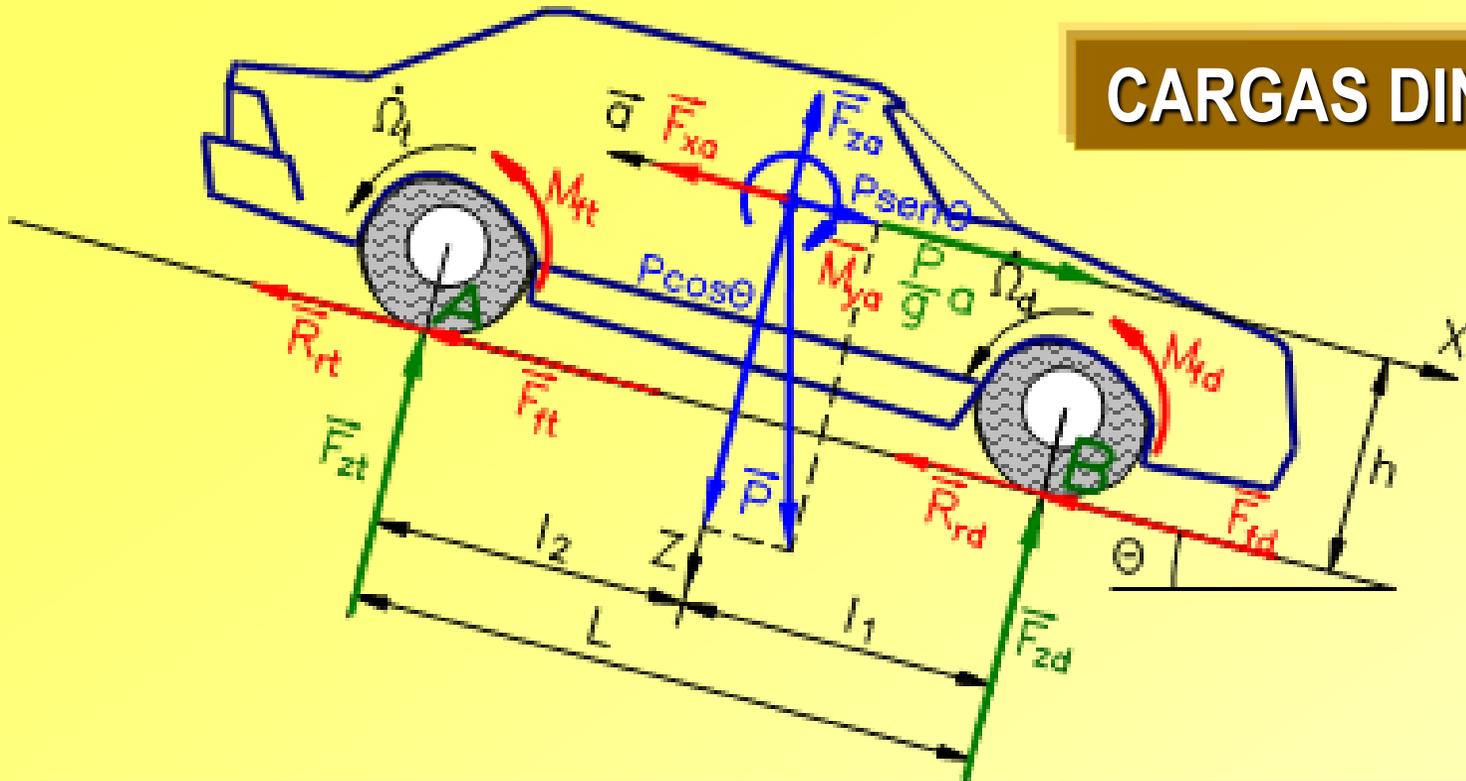
SISTE. FRENADO

$$\mu F_{zd} ; \mu F_{zt}$$

$$\frac{F_{zd}}{F_{zt}} = \frac{F_{fd}^s}{F_{ft}^s}$$

$$F_{fd}^s ; F_{ft}^s$$

CARGAS DINÁMICAS POR EJE



$$F_{zd} = \frac{Pl_2 \cos \vartheta + \left(\frac{P}{g} a - P \sin \vartheta - F_{xa} \right) h}{L}$$

$$F_{zt} = \frac{Pl_1 \cos \vartheta - \left(\frac{P}{g} a - P \sin \vartheta - F_{xa} \right) h}{L}$$

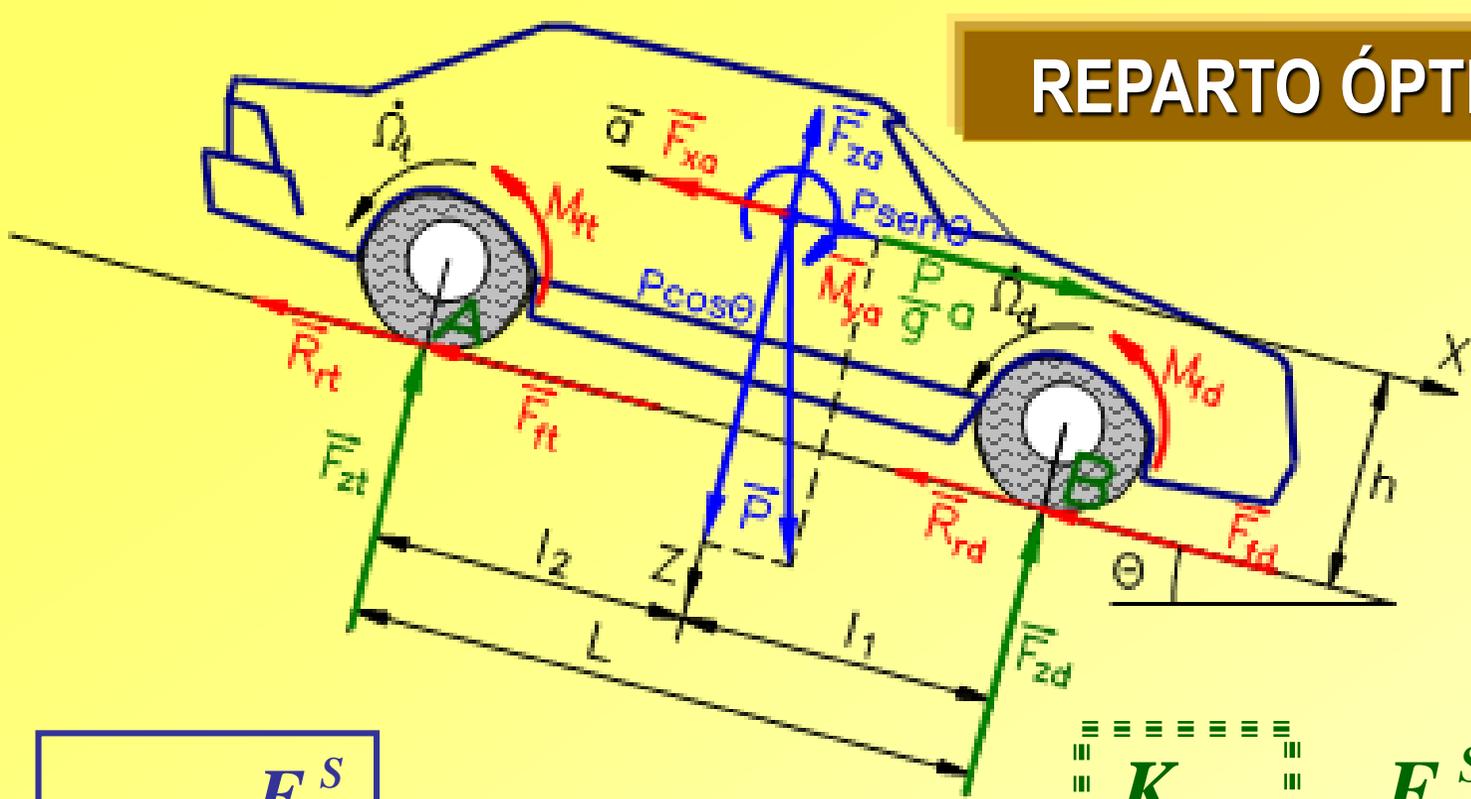
$$\frac{P}{g} a - P \sin \vartheta - F_{xa} = F_f + R_r \approx P(\mu + fr)$$

$$\vartheta \rightarrow 0$$

$$F_{zd} = \frac{Pl_2}{L} + \frac{hP}{L} (\mu + fr)$$

$$F_{zt} = \frac{Pl_1}{L} - \frac{hP}{L} (\mu + fr)$$

REPARTO ÓPTIMO DE FRENADA



$$K_{fd} = \frac{F_{fd}^S}{F_f^S}$$

$$K_{ft} = \frac{F_{ft}^S}{F_f^S}$$

$$K_{fd} + K_{ft} = 1$$

$$\frac{K_{fd0}}{K_{ft0}} = \frac{F_{fd}^S}{F_{ft}^S} = \frac{\mu F_{zd}}{\mu F_{zt}} = \frac{F_{zd}}{F_{zt}}$$

$$\frac{K_{fd0}}{K_{ft0}} = \frac{l_2 + h(\mu + fr)}{l_1 - h(\mu + fr)}$$

CURVAS DE EQUIADHERENCIA

$$F_{fd} = \mu \left[\frac{Pl_2}{L} + \frac{P}{g} a \frac{h}{L} \right]$$

$$F_{ft} = \mu \left[\frac{Pl_1}{L} - \frac{P}{g} a \frac{h}{L} \right]$$

$$\mu = \frac{a}{g}$$

$$F_{fd} = \frac{Pl_2}{L} \mu + \frac{Ph}{gL} \mu^2$$

$$F_{ft} = \frac{Pl_1}{L} \mu - \frac{Ph}{gL} \mu^2$$

E. EQUIADHERENCIA

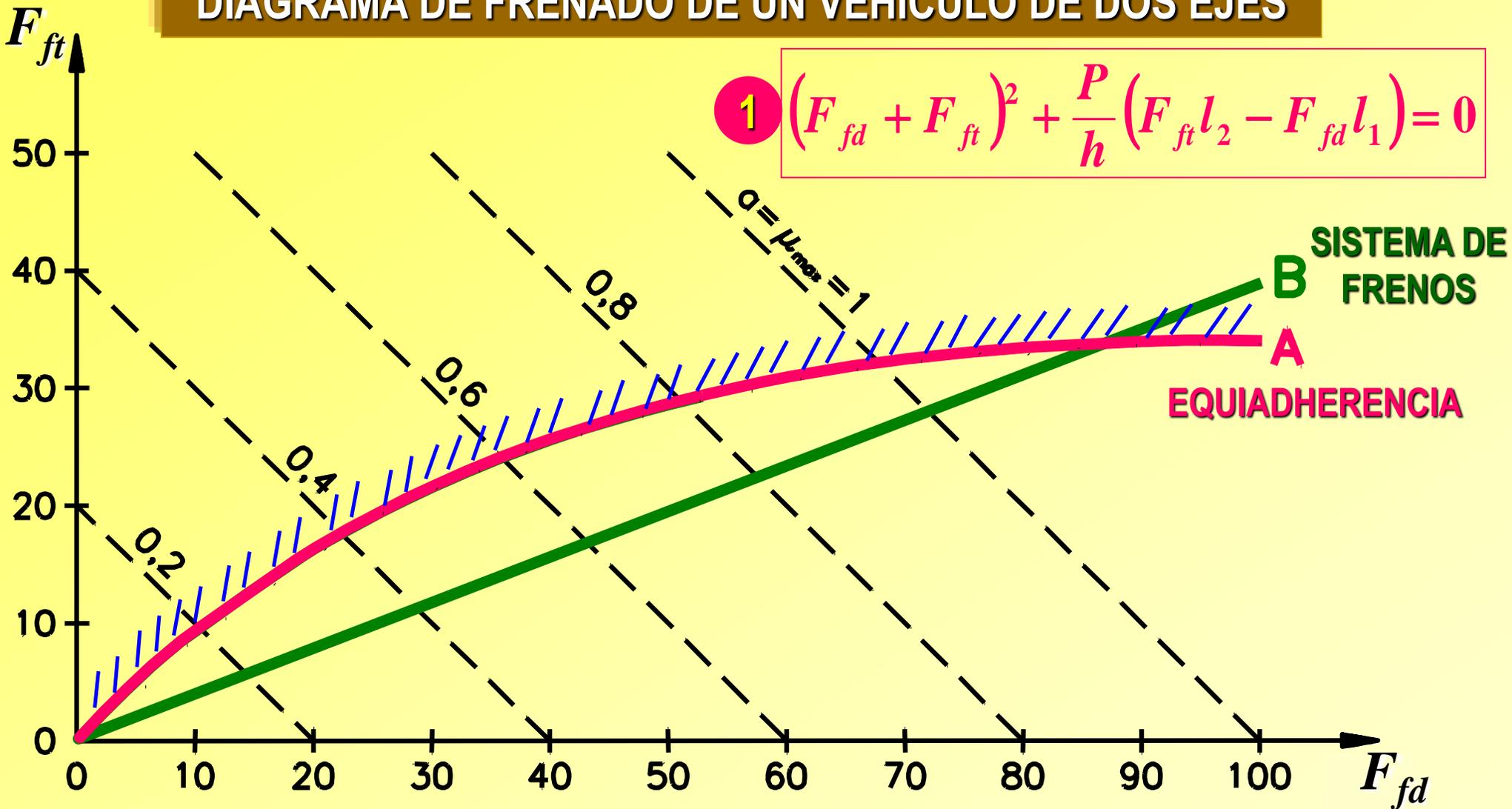
$$\left(F_{fd} + F_{ft} \right)^2 + \frac{P}{h} \left[F_{ft} l_2 - F_{fd} l_1 \right] = 0$$

$$\frac{a}{g} = \frac{F_{fd} + F_{ft}}{P}$$

E. ISOACELERACION

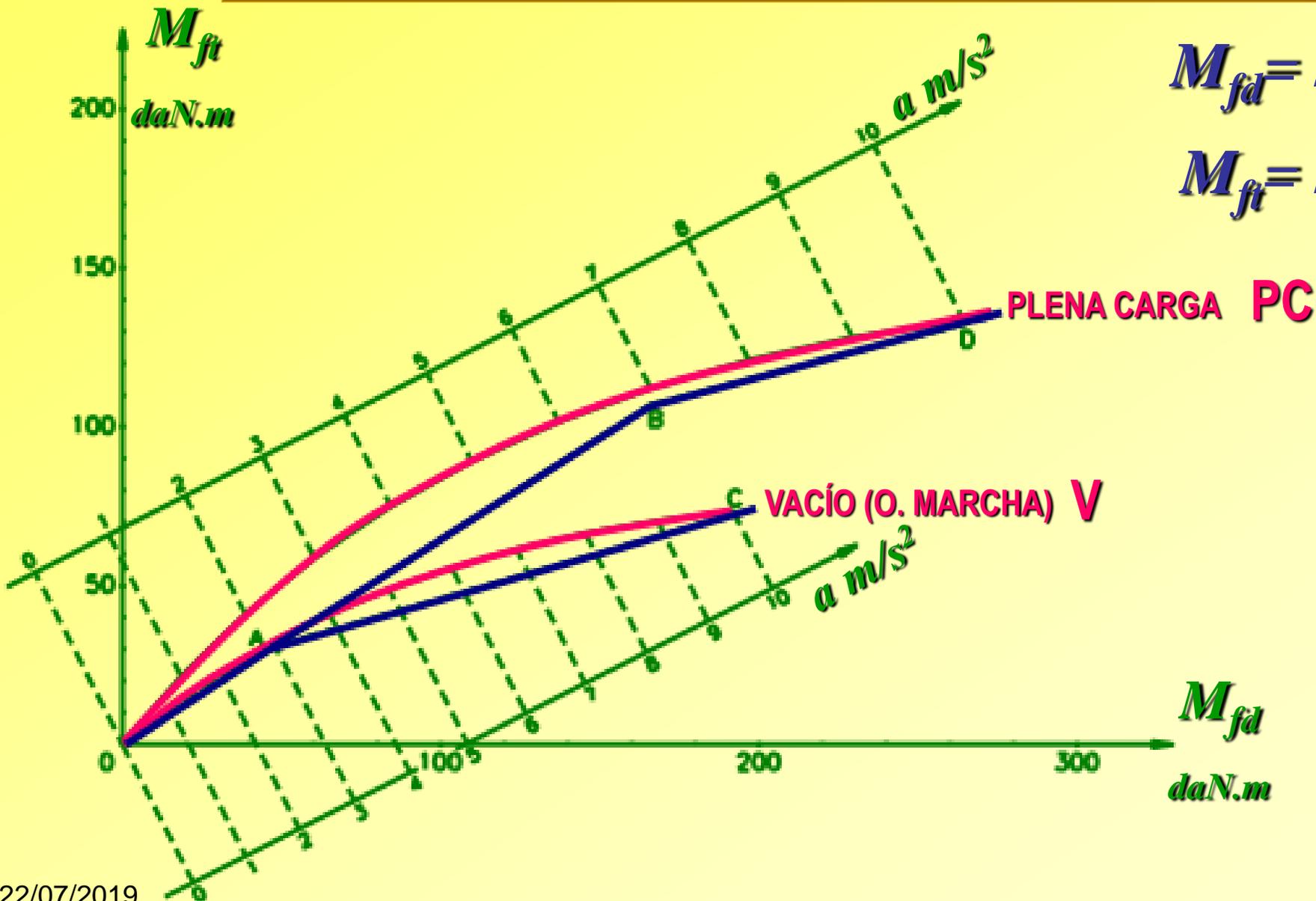
$$F_{ft} = -F_{fd} + \frac{a}{g} P$$

DIAGRAMA DE FRENADO DE UN VEHÍCULO DE DOS EJES



$$p_t = K' p_d \rightarrow F_{ft}^S = K F_{fd}^S$$

CURVAS DE EQUIADHERENCIA Y DE ACTUACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS CON COMPENSADOR DE FRENADA



$$M_{fd} = r_c F_{fd}$$

$$M_{ft} = r_c F_{ft}$$

5. FRENADO DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

CONTENIDO

5.4. EL PROCESO DE FRENADO

5.4.1. RENDIMIENTO DE FRENADO

5.4.2. DISTANCIA DE FRENADO

5.4.3. TIEMPO DE FRENADO

5.4.4. POTENCIA DISIPADA DURANTE EL FRENADO

RENDIMIENTO DE FRENADO

$$\mu_f = \frac{a_{\max} / g}{\mu}$$

$$a_{\max} = \mu g \eta_f$$

$\eta_f (\approx)$

ABS: 0,8 ÷ 0,9 Hom.

CONV: > 0,58 Hom.

ITV: > 0,55 ITV

a

$a_{\max} \sim 0,8g.$

CONFORT: < 0,3 g.

COLISIÓN MEDIA: ~ 4 g.

DISTANCIA DE FRENADO

$$a = \frac{F_f + \Sigma R}{\gamma_f P / g}$$

$$ds = \frac{VdV}{a}$$

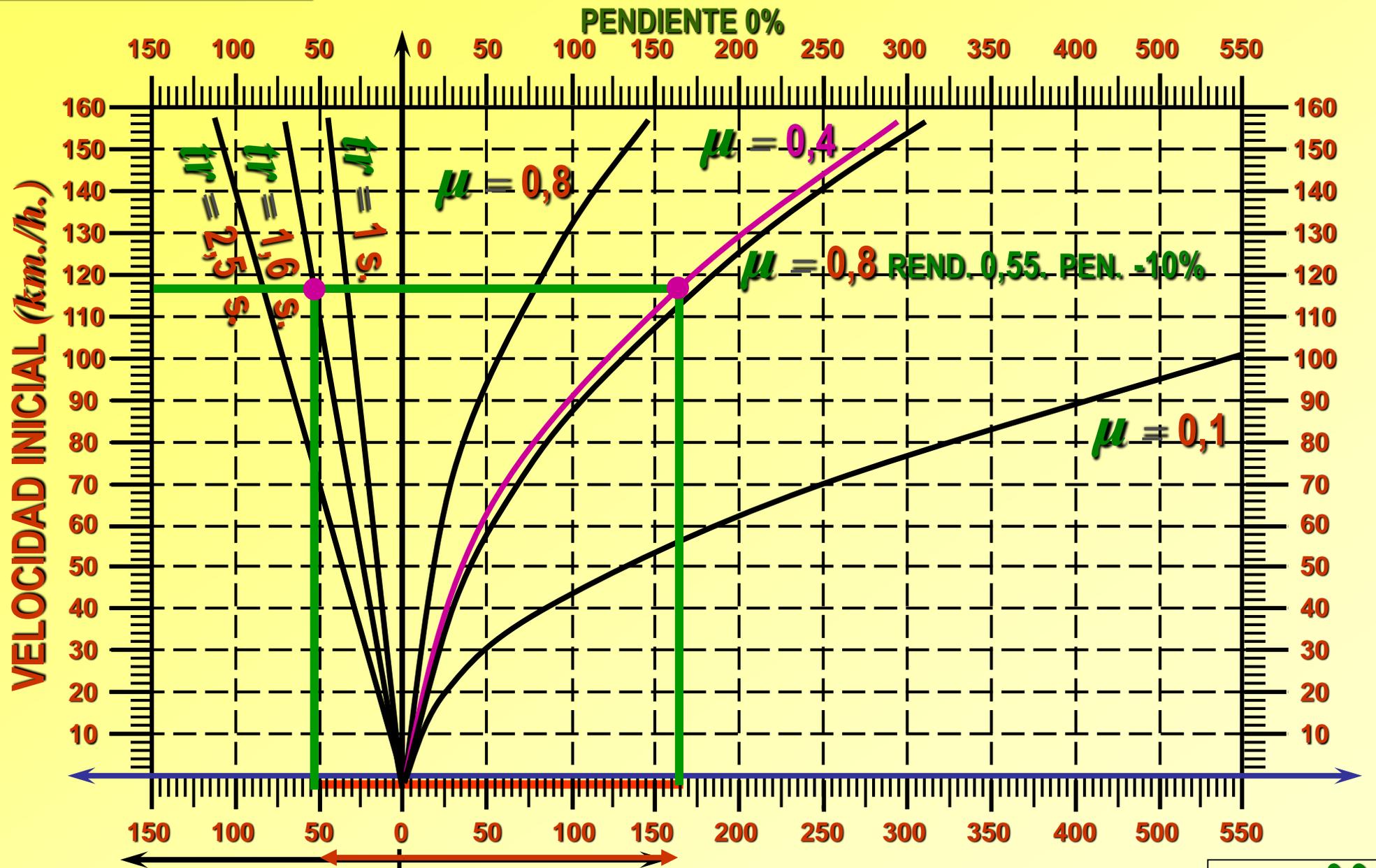
$$S_{V_1-V_2} = -\frac{P\gamma_f}{g} \int_{V_1}^{V_2} \frac{VdV}{F_f + Psen\vartheta + Pfr + CV^2}$$

$$S_{V_1-V_2} = \frac{P\gamma_f}{2Cg} l_n \frac{F_f + Psen\vartheta + Pfr + CV_1^2}{F_f + Psen\vartheta + Pfr + CV_2^2}$$

$$S_P = \frac{P\gamma_f}{2Cg} L_n \left[1 + \frac{CV_1^2}{\eta_f \mu P + Psen\vartheta + Pfr} \right]$$

$$S_{PT} = S_P + V_1 (t_{rc} + t_{rs})$$

DISTANCIA DE FRENADO EN FUNCIÓN DE LA ADHERENCIA DISPONIBLE. RENDIMIENTO DE FRENADA 0,9.



←
←
→
→

DISTANCIA RECORRIDA DURANTE EL TIEMPO DE REACCIÓN (m.) DISTANCIA RECORRIDA DURANTE EL FRENADO (m.) **219 m.**

$\eta_1 = 0,9$
 $\mu = 0,1 \div 0,8$

TIEMPO DE FRENADO

$$dt = \frac{dV}{a}$$

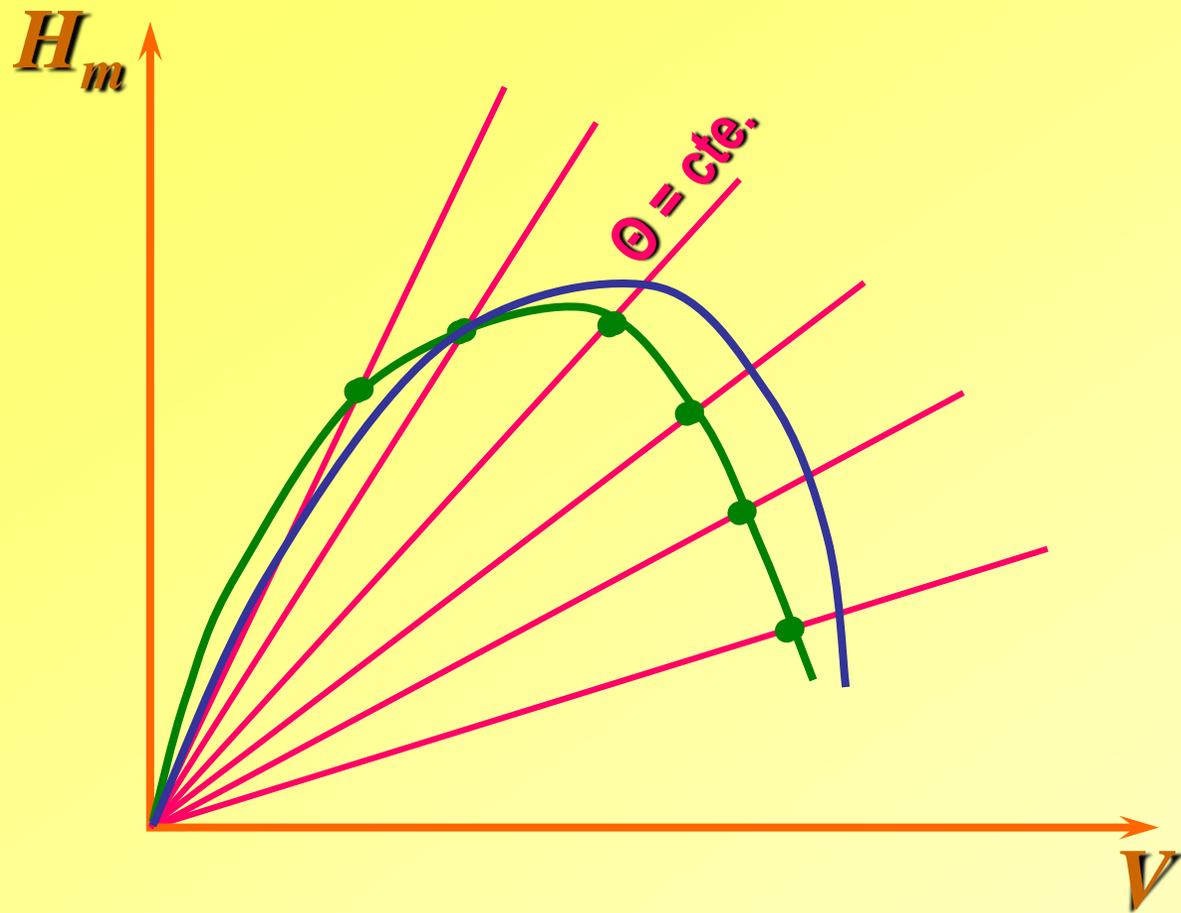
$$T_{V_1-V_2} = -\frac{P\gamma_f}{g} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{F_f + Psen\vartheta + Pfr + CV^2}$$

$$T_{V_1-V_2} = \frac{P\gamma_f}{gA} \left(t_g^{-1} B V_1 - t_g^{-1} B V_2 \right)$$

$$A = \left[C \left(F_f + Psen\vartheta + Pfr \right) \right]^{1/2}$$

$$B = \left[\frac{C}{F_f + Psen\vartheta + Pfr} \right]$$

POTENCIA MEDIA DISIPADA EN EL FRENADO. (_____) MOVIMIENTO VARIADO.
 (-----) DESCENSO A VELOCIDAD CONSTANTE.



POTENCIA A DISIPAR

$$H = \left(\gamma_f \frac{P}{g} a + P \text{sen } \vartheta \right) V$$

E.C.
$$H_{m_1} = \frac{1}{2} \frac{\gamma_f P}{g} \frac{V^2}{t_a + t_f}$$

E.P.
$$H_{m_2} = P \text{sen } \vartheta V$$

- ACCELERACIÓN - FRENADA
- DESCENSO A VELOCIDAD CONSTANTE

5. FRENADO DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

CONTENIDO

5.5. SISTEMAS ANTIBLOQUEO DE FRENADO (ABS)

5.5.1. INTRODUCCIÓN

5.5.2. OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS ABS

5.5.3. PRINCIPIOS FÍSICOS DE UN SISTEMA ANTIBLOQUEO

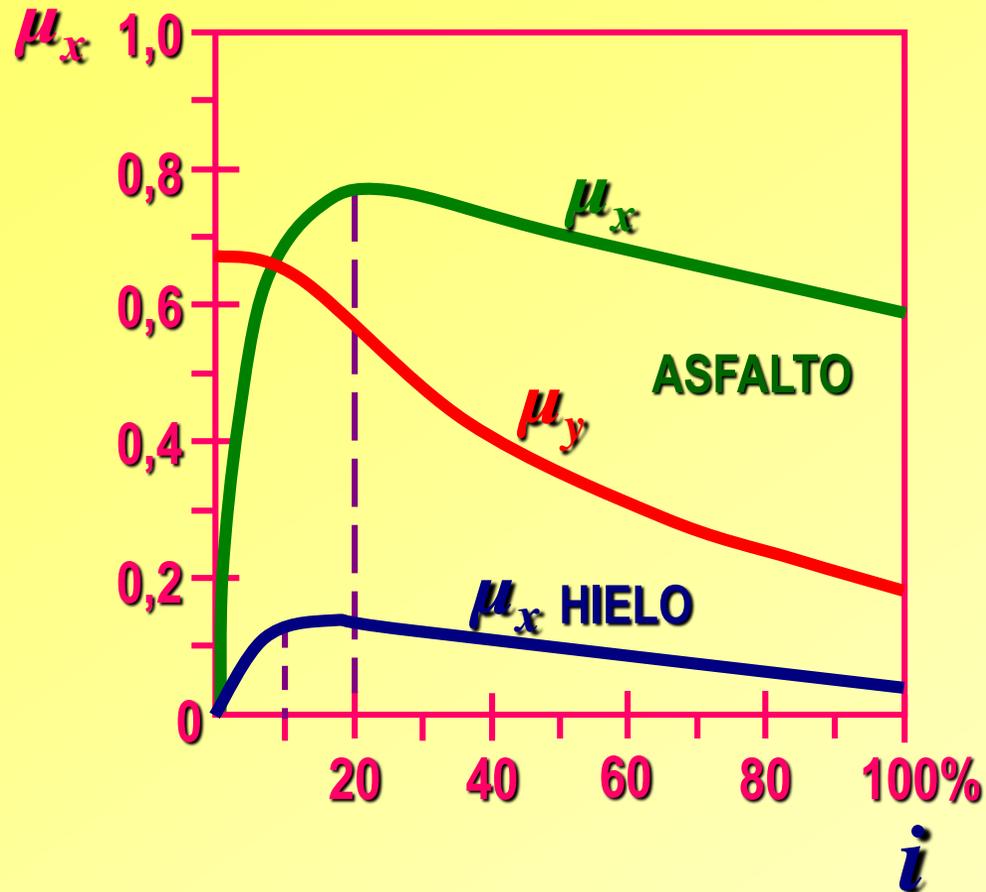
5.5.4. ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA ANTIBLOQUEO

5.5.5. CRITERIOS Y CICLOS DE CONTROL

5.5.6. TÉCNICAS DE CONTROL Y SISTEMAS ABS

ABS ANTI LOCK BRAKING SYSTEM

VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE FUERZA DE FRENADO μ_x CON EL DESLIZAMIENTO



ABS

1920

PRIMERAS PATENTES

1950

AVIACIÓN

1962

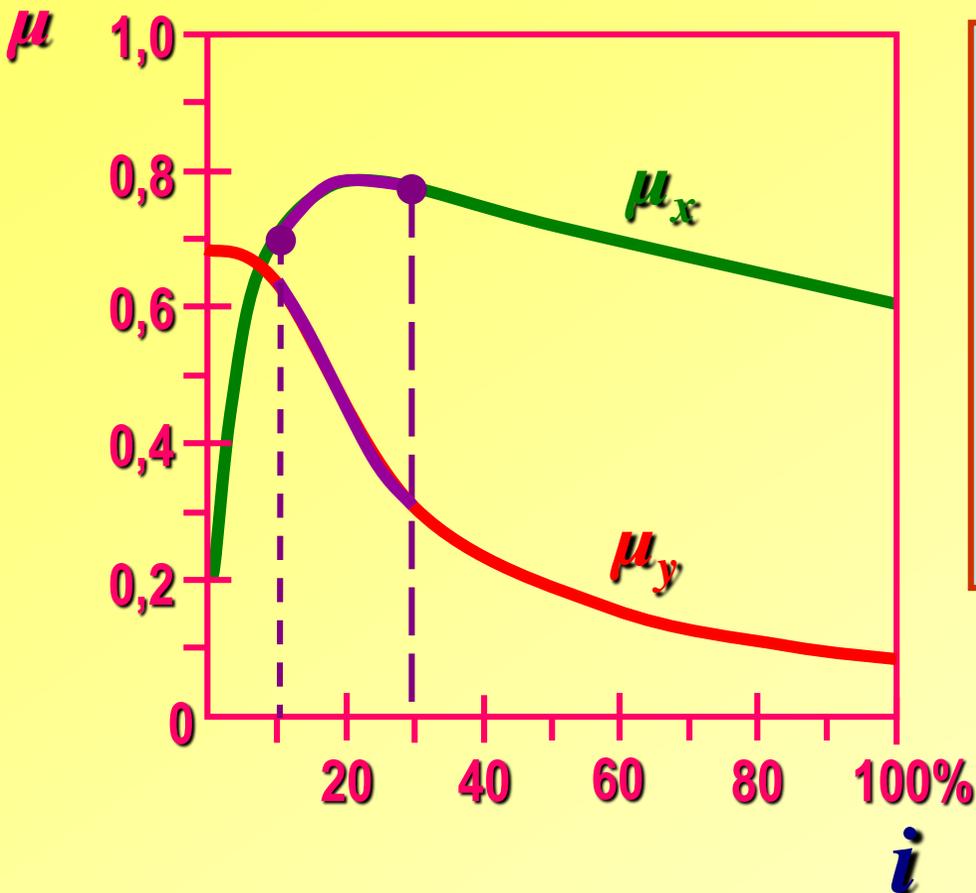
SALÓN AUTOMÓVIL FRANCKFOURT

1970

DESARROLLO

ABS OBJETIVOS

VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE FUERZA DE FRENADO μ_x Y DE FUERZA LATERAL μ_y Y CON EL DESLIZAMIENTO PARA UN CIERTO VALOR DEL ÁNGULO DE DERIVA



ABS: OBJETIVOS

SEGURIDAD ACTIVA

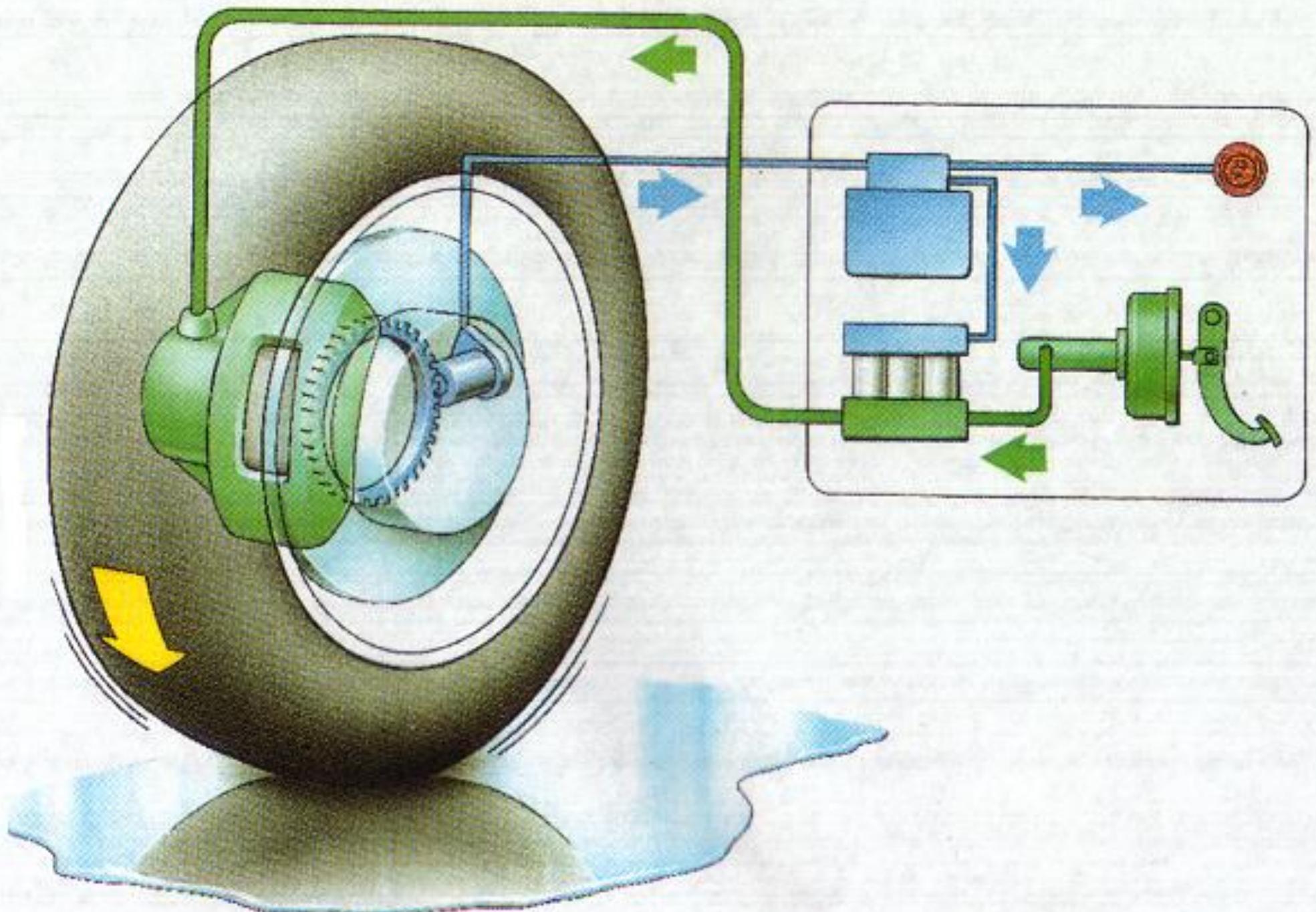
ESTABILIDAD

CONTROL DIRECCIONAL

DISTANCIA DE FRENADO

NO BLOQUEO

MAX. APROVECHAMIENTO DE μ



RESUMEN DEL SISTEMA

■ SISTEMA DE FRENOS

■ SISTEMA HIDRÁULICO DEL ABS

■ SISTEMA ELECTRÓNICO DEL ABS

1 SENSOR DEL NÚMERO DE REVOLUCIONES

2 CILINDRO DE FRENO DE RUEDA

3 GRUPO HIDRÁULICO

3a ELECTROVÁLVULA MAGNÉTICA

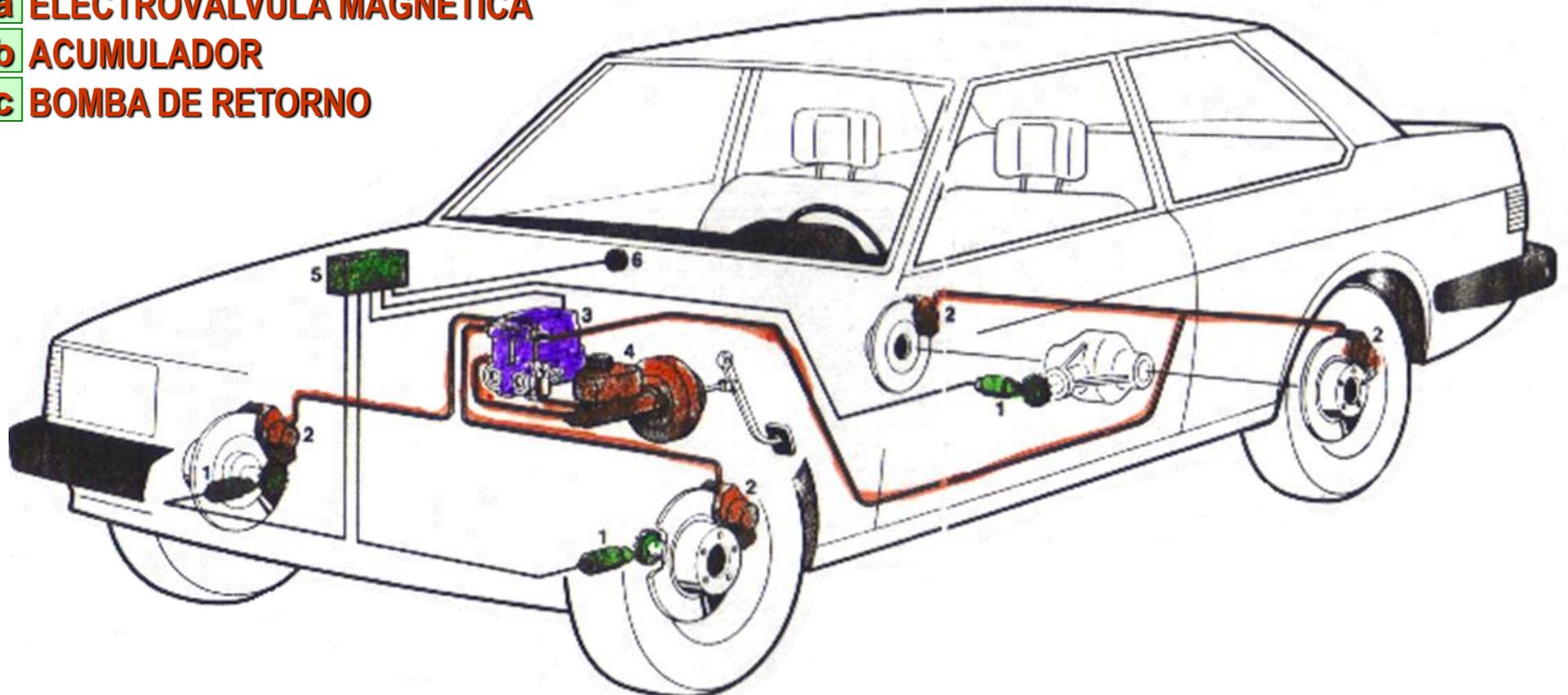
3b ACUMULADOR

3c BOMBA DE RETORNO

4 CILINDRO PRINCIPAL DE FRENO

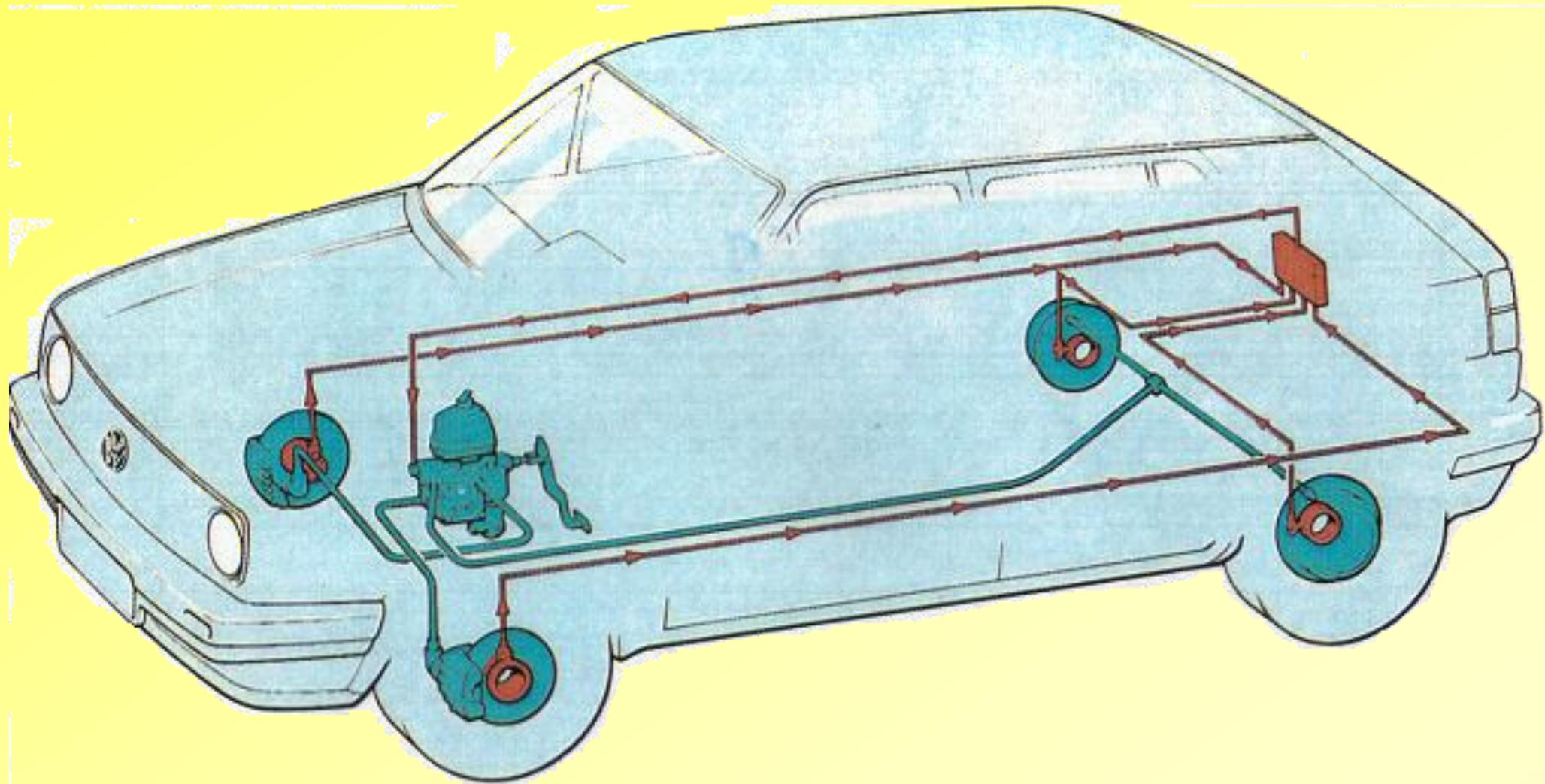
5 DISPOSITIVO DE MANDO ELECTRÓNICO

6 SEÑAL DE AVISO

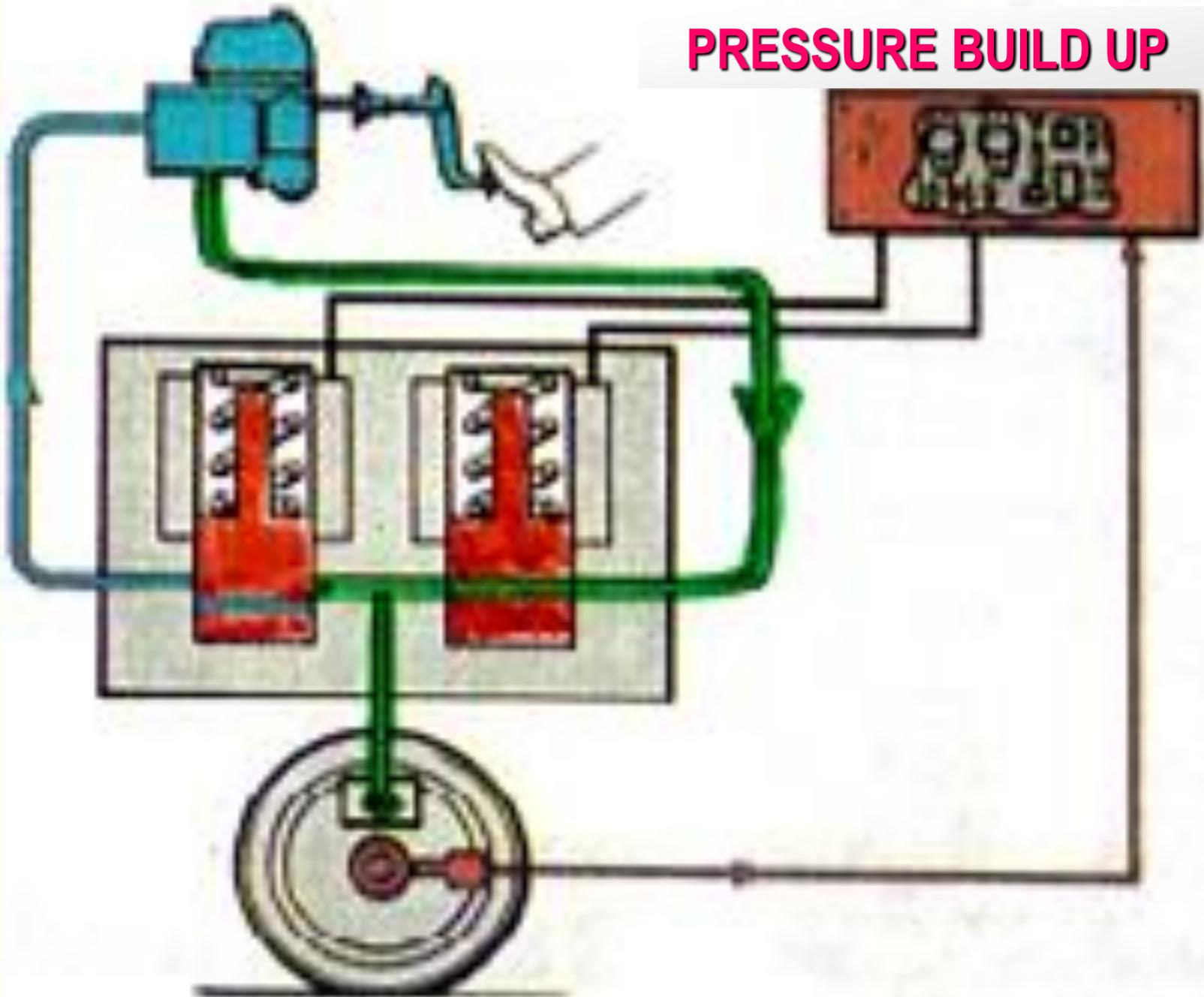


■ BRAKE SYSTEM AND ABS HYDRAULIC

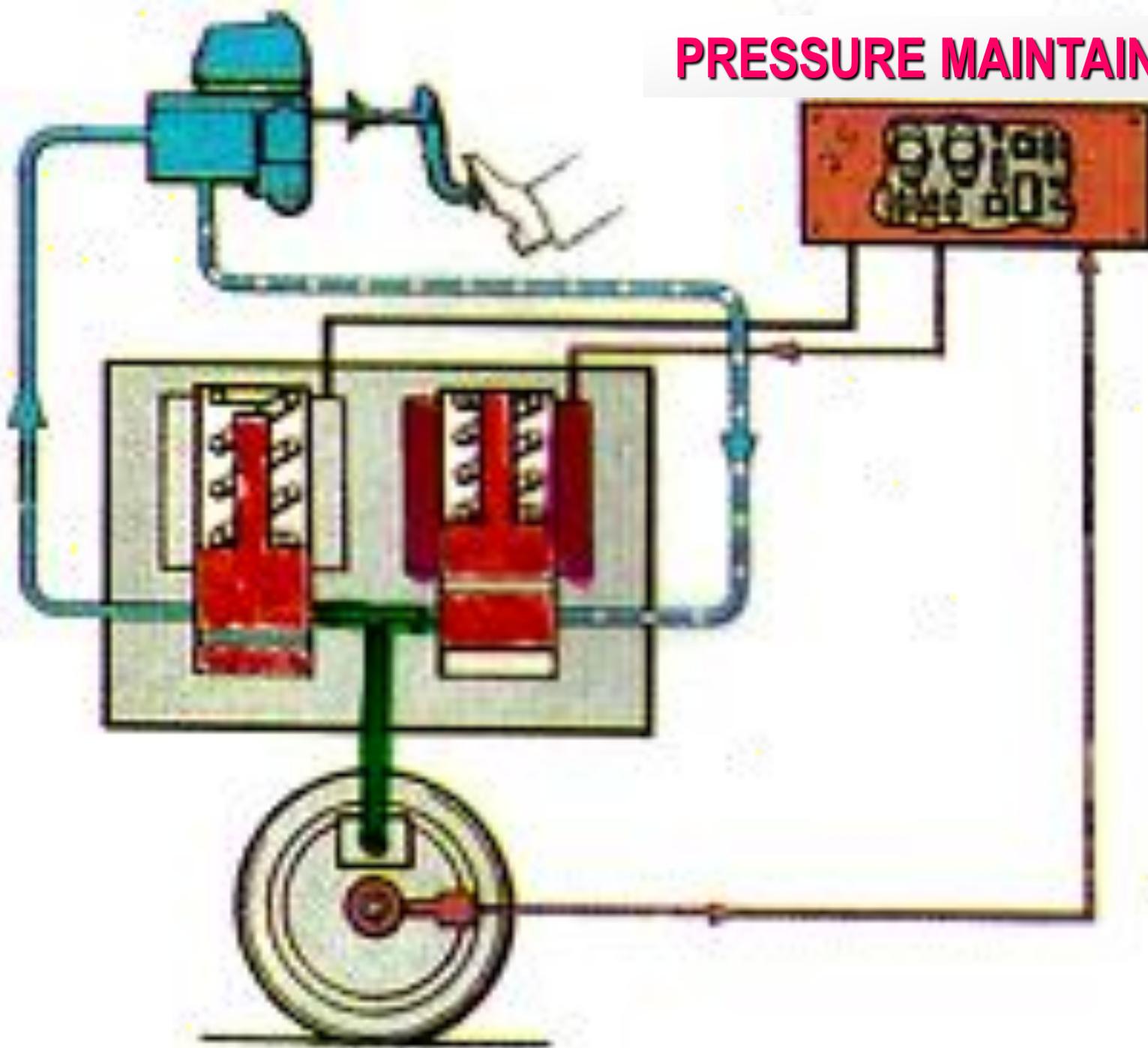
■ ABS ELECTRONIC



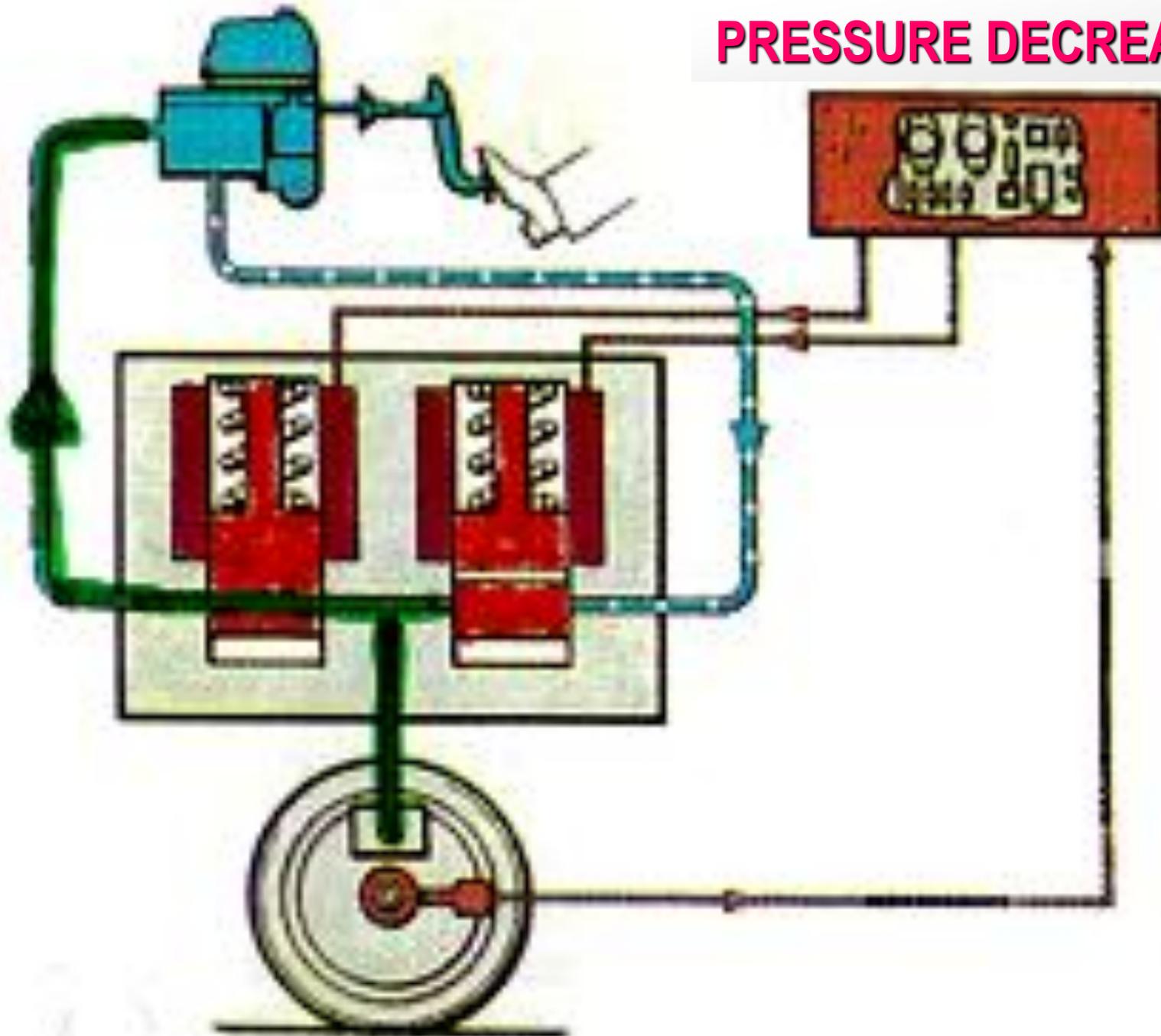
PRESSURE BUILD UP



PRESSURE MAINTAINED



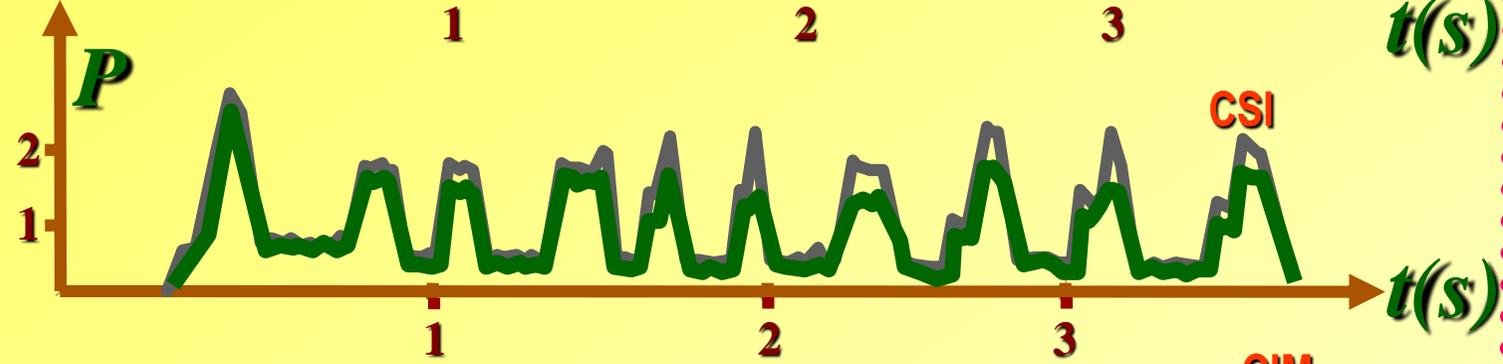
PRESSURE DECREASE



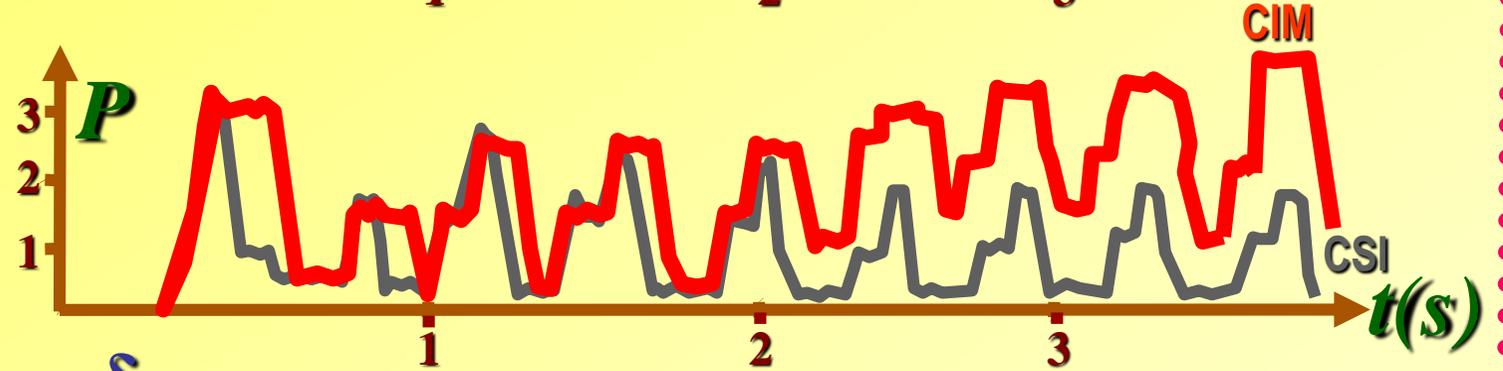
COMPARACIÓN DE TRES SISTEMAS ABS



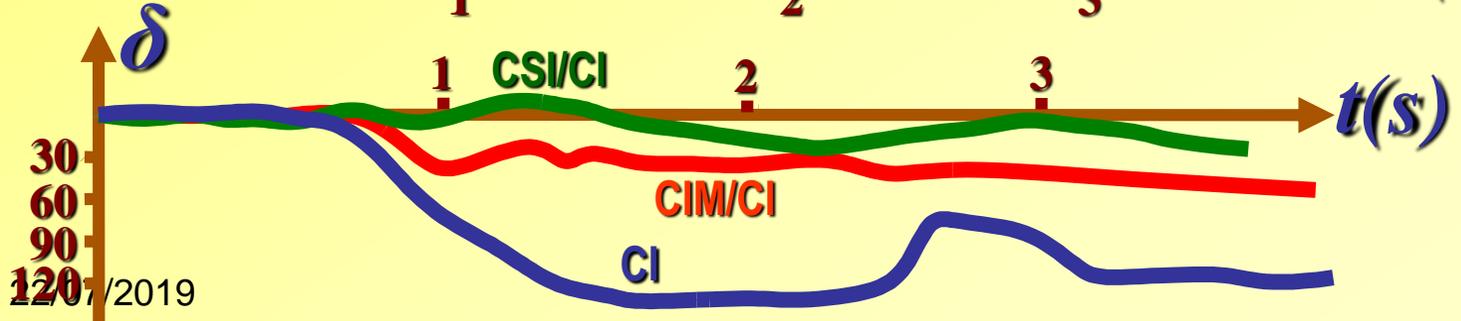
CONTROL INDEPENDIENTE CI
76m. Distancia de parada



CONTROL POR SELECCIÓN INFERIOR CSI/CI
97m. Distancia de parada



CONTROL INDEPENDIENTE MODIFICADO CIM/CI
87m. Distancia de parada



AUTOBÚS
0 303/R 15 $V_0=80\text{Km/h.}$



TEORÍA DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

FRENADO DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

*Prof. Dr. Francisco **APARICIO IZQUIERDO**
Catedrático de la Universidad Politécnica de Madrid*