



DISEÑO DEL SISTEMA PROPULSOR DE UN VEHÍCULO PURAMENTE ELÉCTRICO

Breve reseña histórica

1830, el inventor escocés Robert Anderson construye el primer carruaje eléctrico con baterías primarias.



1835, el americano Thomas Davenport construye el primer coche eléctrico (una pequeña locomotora).



1859, el francés Gastón Plante inventa la batería recargable de plomo-ácido, que es la base para futuros desarrollos de los coches eléctricos, estas baterías se mejoran con Camille Faure en 1881

Breve reseña histórica

1891, el norteamericano **William Morrison** fabricó el que se puede considerar el primer coche eléctrico



En el año **1900**, se vendieron en EEUU 4.200 vehículos, de los cuales un 40% eran de vapor, un 38% eran eléctricos y el 22% de gasolina.

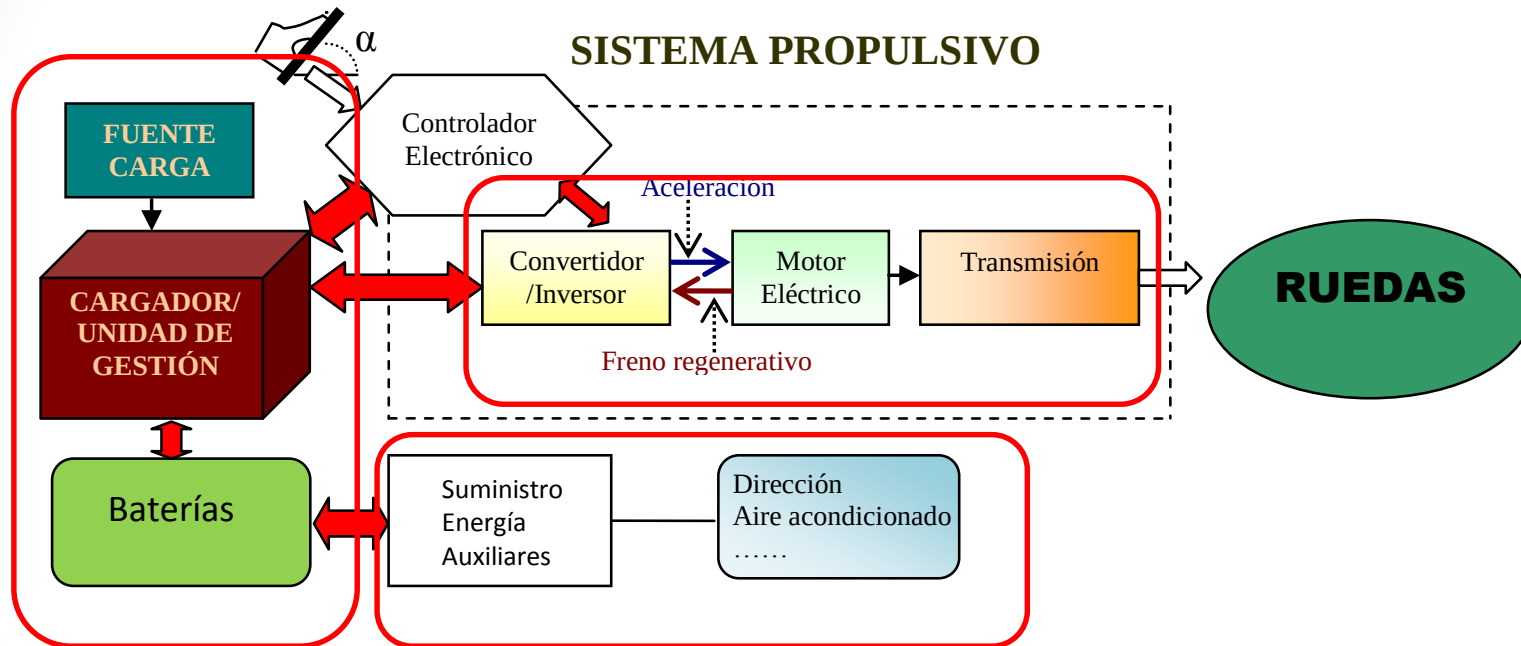
El invento del motor de arranque (1912 Charles Kettering), los avances en la tecnología de producción en serie de los vehículos de gasolina (1908 Henry Ford) y los inconvenientes en la recarga de las baterías, condujeron a la desaparición de los VE a comienzos del siglo XX



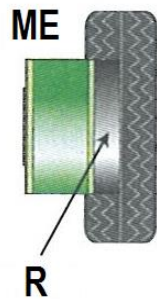
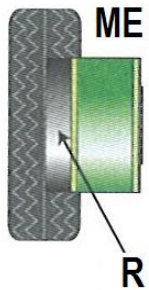
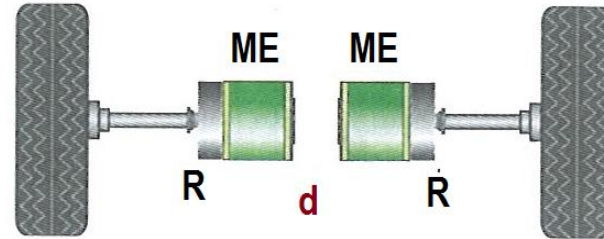
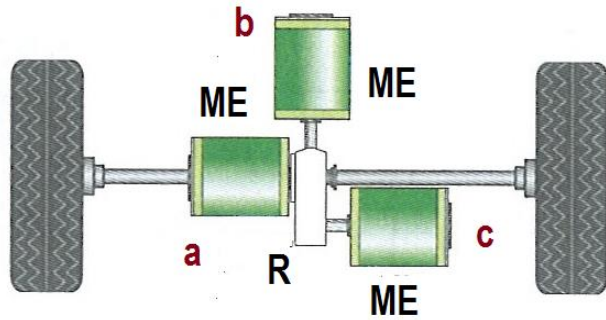
El **LOHNER PORCHE** en la EXPO de PARIS de **1900**. El éxito de este vehículo lanzó a la fama al Dr. Ferdinand Porche. Se fabricaron 300 unidades del Lohner Porche.



Vehículo eléctrico

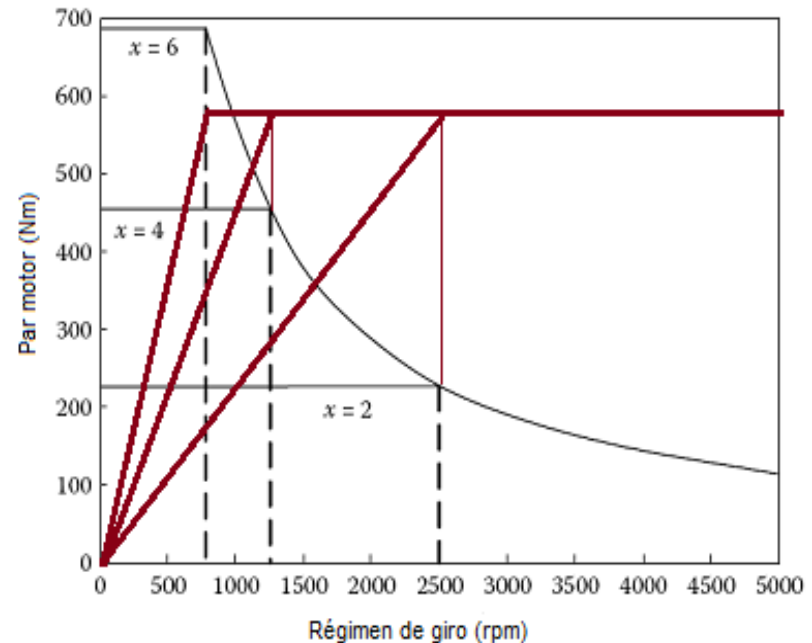
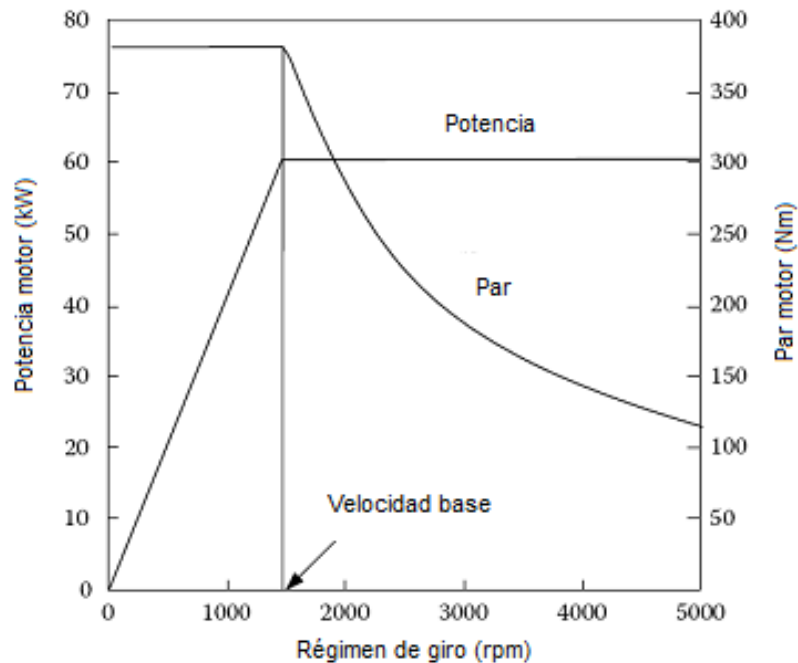


Configuraciones



DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR DE TRACCIÓN

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR DE TRACCIÓN

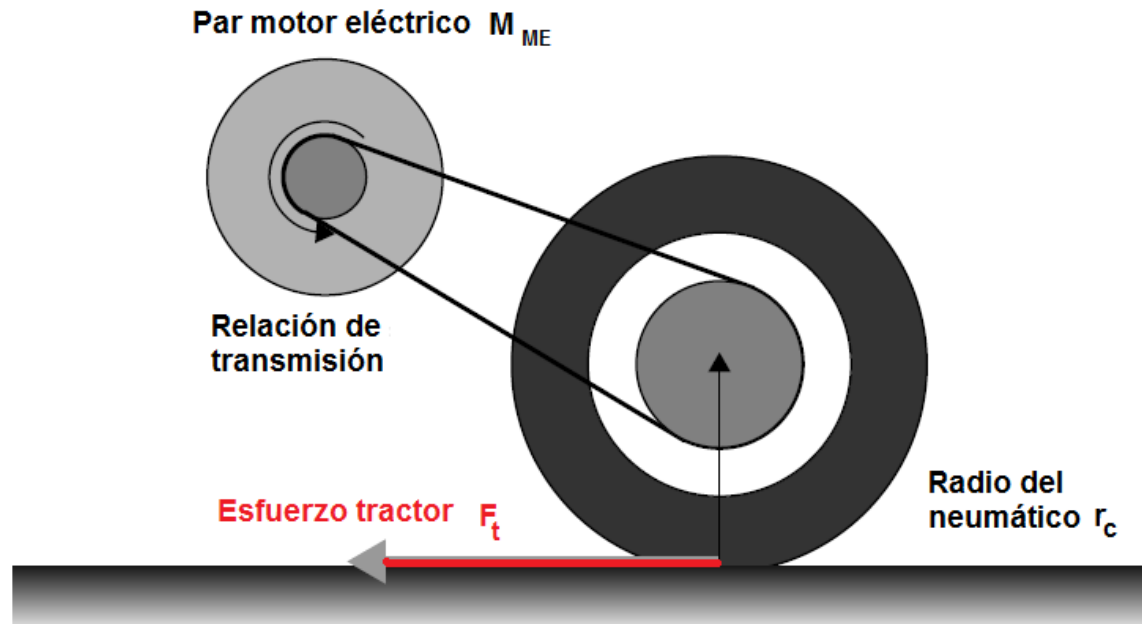


$x = \omega_m / \omega_b$
 ω_b = velocidad base
 ω_m = velocidad máxima

REQUERIMIENTOS DEL ESFUERZO DE TRACCIÓN Y TRANSMISIÓN

El esfuerzo tractor desarrollado por un ME y la velocidad del vehículo vienen expresados por:

$$F_t = \frac{M_{ME} \xi_j \xi_d \eta_t}{r_c} \quad V = \omega_r r_e = \frac{\omega_{ME}}{\xi_j \xi_d} r_e = \frac{2\pi n_{ME}}{\xi_j \xi_d} r(1-i)$$



PRESTACIONES DEL VEHÍCULO

La velocidad máxima del vehículo se obtiene por:

$$v_{\text{máx}} = \frac{2\pi n_{\text{ME,máx}}}{60 \xi_{j,\text{mín}} \xi_d} r(1-i)$$

La máxima pendiente que un vehículo puede superar a una velocidad dada,

$$\alpha = \arcsen \frac{F_{t,\text{máx}} - m g f_r}{m g} \quad ; \quad i = \operatorname{tg} \alpha \times 100$$

$$F_{t,\text{máx}} = \frac{T_{\text{ME,máx}} \xi_1 \xi_d \eta_t}{r_c}$$

El tiempo de aceleración de un VE se puede expresar como:

$$t_a = \int_0^{V_b} \frac{m\gamma_m}{\frac{P_t}{V_b} - mgf_r - \frac{1}{2}\rho_a C_X A_f V^2} dV + \int_{V_b}^{V_f} \frac{m\gamma_m}{\frac{P_t}{V} - mgf_r - \frac{1}{2}\rho_a C_X A_f V^2} dV$$

La potencia de tracción se puede expresar como:

$$t_a = \frac{m\gamma_m}{2P_t} (V_f^2 + V_b^2) \quad P_t = \frac{m\gamma_m}{2t_a} (V_f^2 + V_b^2)$$

La potencia media de arrastre durante la aceleración se puede expresar como:

$$\bar{P}_{\text{arrastre}} = \frac{1}{t_a} \int_0^{t_a} \left(mgf_r V + \frac{1}{2} \rho_a C_X A_f V^3 \right) dt$$

$$V = V_f \sqrt{\frac{t}{t_a}}$$

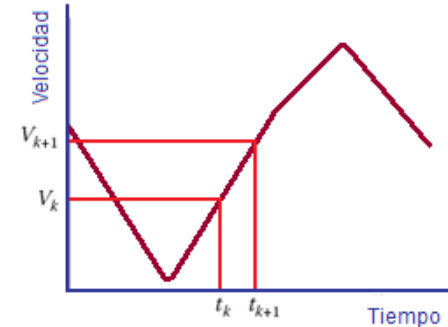
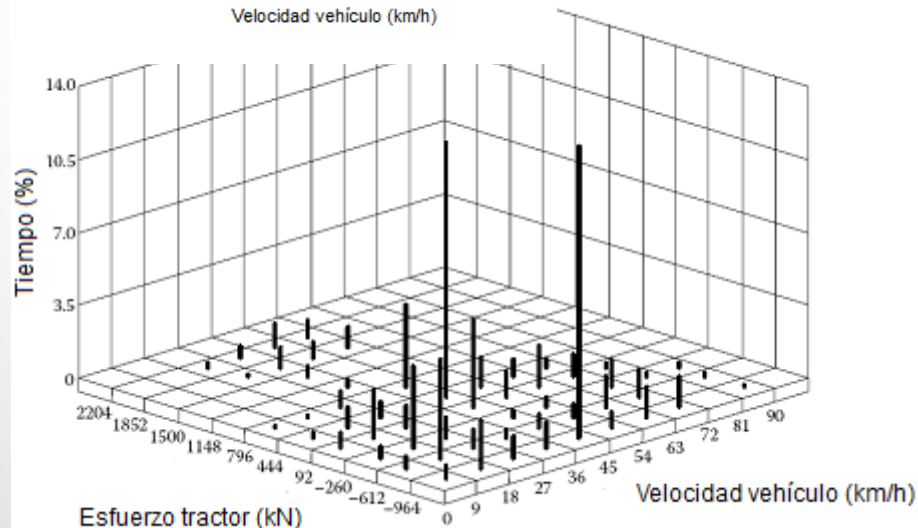
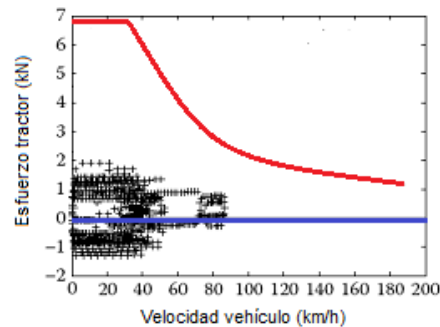
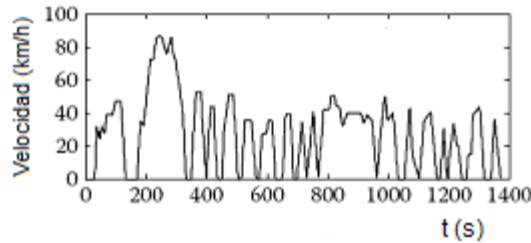
$$\bar{P}_{\text{arrastre}} = \frac{2}{3} mgf_r V_f + \frac{1}{5} \rho_a C_X A_f V_f^3$$

$$P_t = \frac{m\gamma_m}{2t_a} (V_f^2 + V_b^2) + \frac{2}{3} mgf_r V_f + \frac{1}{5} \rho_a C_X A_f V_f^3$$

ESFUERZO DE TRACCIÓN EN CONDUCCIÓN NORMAL

En un ciclo de conducción específico el esfuerzo de tracción se puede calcular mediante la expresión:

$$F_t = Mgf_r \cos \alpha + \frac{1}{2} \rho_a C_x A_f V^2 + M \gamma_m \frac{dV}{dt}$$



$$\frac{dV}{dt} = \frac{V_{k+1} - V_k}{t_{k+1} - t_k}$$

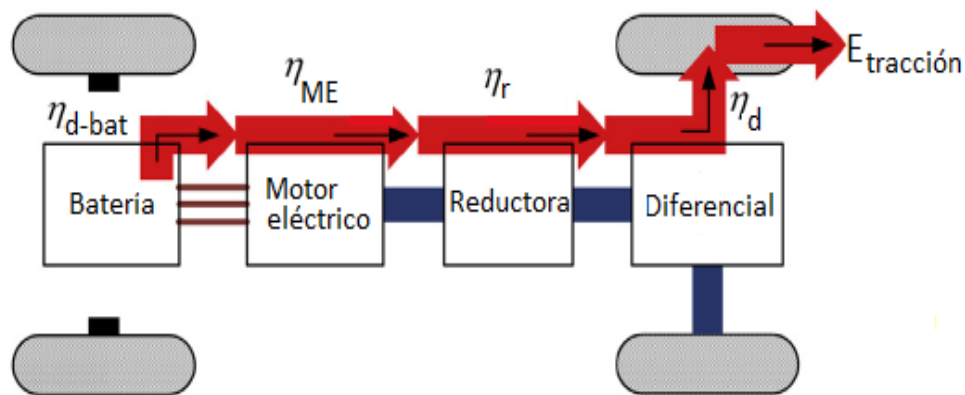
Esta distribución temporal es muy útil para el cálculo de la potencia del tren propulsor, en la que se diseña el valor más eficiente de la potencia para que cubra el mayor área de funcionamiento.

POTENCIA Y ENERGÍA DE LAS BATERÍAS

$$P_{\text{bat}} \geq \frac{P_{\text{ME}}}{\eta_{\text{ME}}}$$

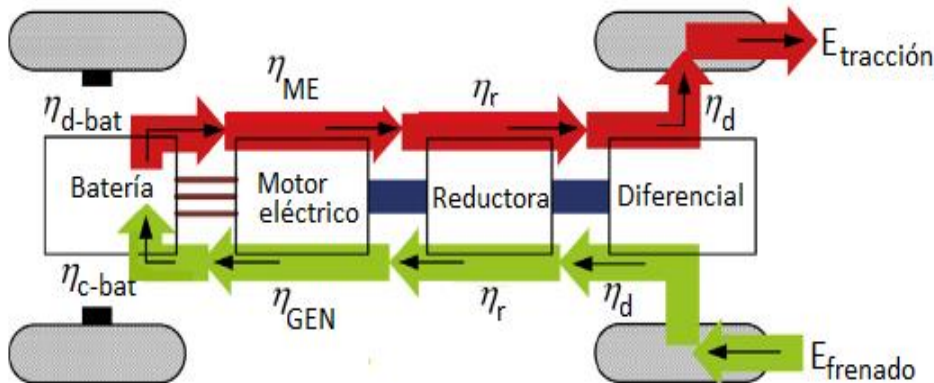
$$E_{\text{tracción}} = \int_{a \geq 0} P_{\text{tracción}}(t) dt$$

$$P_{\text{tracción}} = mgf_r v + \frac{1}{2} \rho_a C_x A_f v^3 + m \gamma_m \frac{dv}{dt} v$$



ENERGÍA DE LAS BATERÍAS

$$E'_{\text{tracción}} = E_{\text{tracción}} - \eta_d \eta_r \eta_{\text{GEN}} \eta_{\text{c-bat}} \eta_{\text{d-bat}} \eta_{\text{ME}} \eta_r \eta_d E_{\text{frenado}}$$



$$E_{\text{frenado}} = \int_{a < 0} P_{\text{tracción}}(t) dt$$

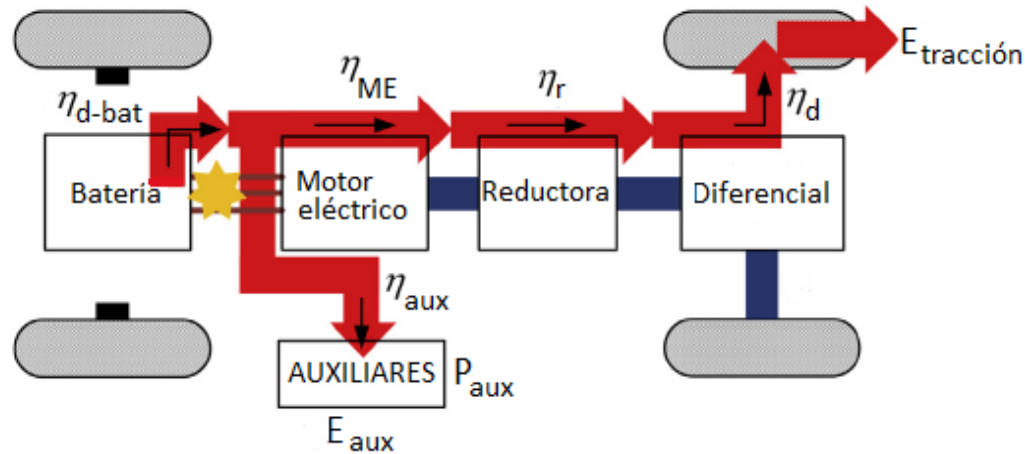
La energía que se reduce como consecuencia de la frenada regenerativa

$$\Delta E = E_{\text{tracción}} - E'_{\text{tracción}} = \eta_d \eta_r \eta_{\text{GEN}} \eta_{\text{c-bat}} \eta_{\text{d-bat}} \eta_{\text{ME}} \eta_r \eta_d E_{\text{frenado}}$$

El porcentaje de contribución de la frenada regenerativa a la reducción de consumo de energía se puede obtener como:

$$\delta = \frac{\Delta E}{E_{\text{tracción}}} \% = \frac{\eta_d \eta_r \eta_{\text{GEN}} \eta_{\text{c-bat}} \eta_{\text{d-bat}} \eta_{\text{ME}} \eta_r \eta_d E_{\text{frenado}}}{E_{\text{tracción}}}$$

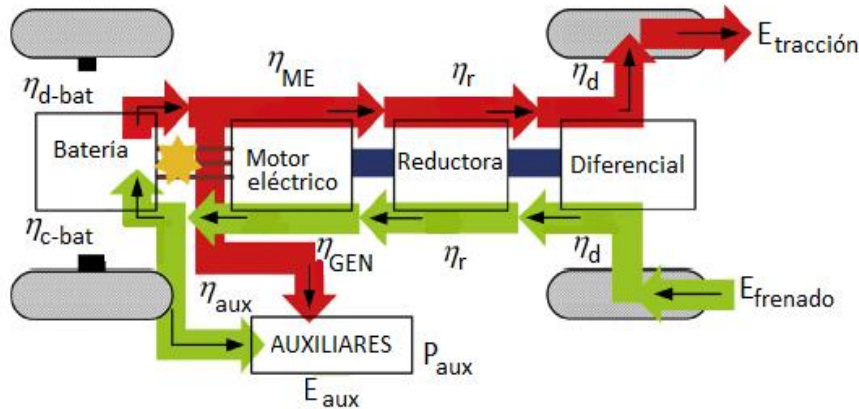
INFLUENCIA DE LOS AUXILIARES SOBRE EL CONSUMO DE ENERGÍA DEL VEHÍCULO



$$E_{bat,salida,aux} = \frac{1}{\eta_d \eta_r \eta_{ME}} E_{tracción} + \frac{1}{\eta_{aux}} \int P_{aux} dt =$$

$$\frac{1}{\eta_d \eta_r \eta_{ME}} \left[\int_{a \geq 0} (m g f_r v) dt + \int_{a \geq 0} \left(\frac{1}{2} \rho_a C_X A_f v^3 \right) dt + \int_{a > 0} \left(m \gamma_m \frac{dv}{dt} v \right) dt \right] + \frac{1}{\eta_{aux}} \int_{a > 0} P_{aux} dt$$

INFLUENCIA DE LOS AUXILIARES SOBRE EL CONSUMO DE ENERGÍA DEL VEHÍCULO



$$E_{bat,entrada,aux} = \eta_d \eta_r \eta_{GEN} E_{frenado} - \eta_{aux} \int_{a < 0} P_{aux} dt$$

$$E'_{bat,salida} = E_{bat,salida,aux} - \eta_{c-bat} \eta_{d-bat} E_{bat,entrada,aux} =$$

$$\frac{1}{\eta_d \eta_r \eta_{ME}} E_{tracción} + \frac{1}{\eta_{aux}} \int_{a > 0} P_{aux} dt - \eta_{c-bat} \eta_{d-bat} \left(\eta_d \eta_r \eta_{GEN} E_{frenado} - \eta_{aux} \int_{a < 0} P_{aux} dt \right)$$

$$\Delta E_{bat,salida} = E_{bat,salida} - E'_{bat,salida} = \eta_{c-bat} \eta_{d-bat} \left(\eta_d \eta_r \eta_{GEN} E_{frenado} - \eta_{aux} \int_{a < 0} P_{aux} dt \right)$$

$$\delta' = \frac{\Delta E_{bat,salida}}{E_{bat,salida}} \% = \frac{\eta_{c-bat} \eta_{d-bat} \left(\eta_d \eta_r \eta_{GEN} E_{frenado} - \eta_{aux} \int_{a < 0} P_{aux} dt \right)}{E_{bat,salida}}$$

ENERGÍA DE LAS BATERÍAS

En lo analizado hasta ahora, el punto de cálculo se ha localizado en las ruedas de tracción ya que son la interfase de energía de entrada y de salida entre el vehículo y la carretera. Sin embargo, en la realidad no hay un sensor en la ruedas para tal fin. En lo que sigue este análisis se realizará en los terminales de la batería donde es relativamente sencillo medir las tensiones e intensidades de entrada y de salida

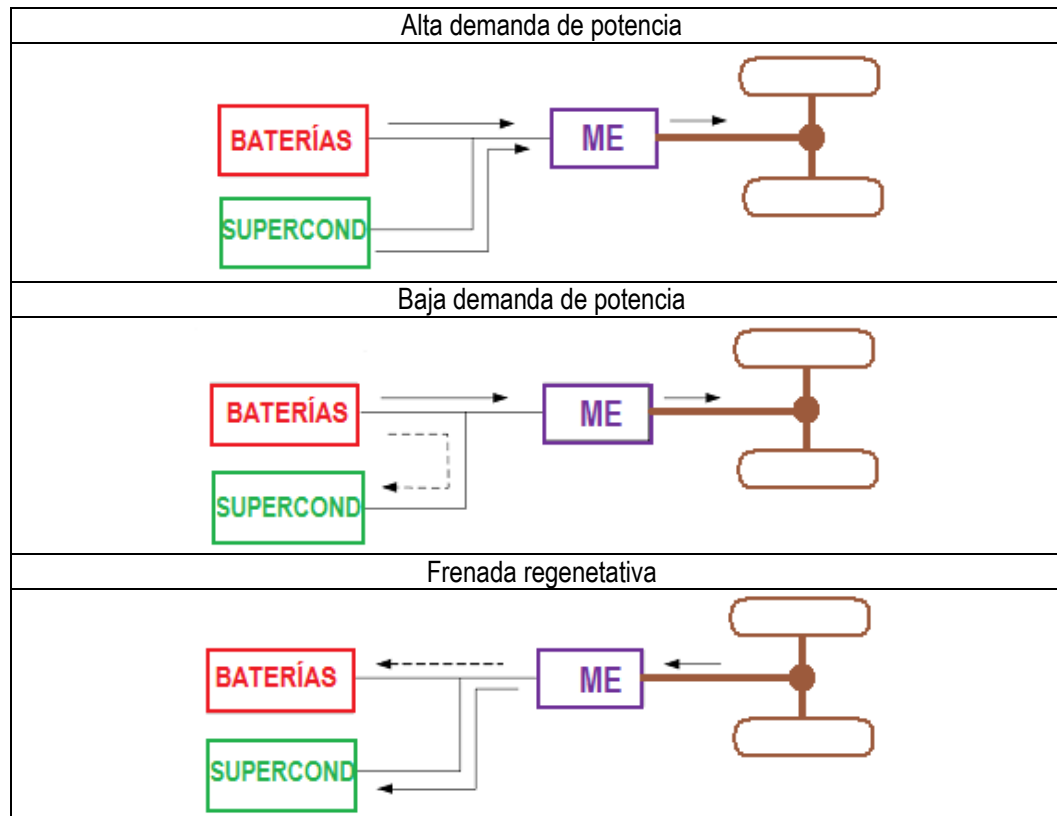
$$E_{\text{bat,entrada}} = \eta_d \eta_r \eta_{\text{GEN}} E_{\text{frenado}} \quad E_{\text{bat,salida}} = \frac{1}{\eta_d \eta_r \eta_{\text{ME}}} E_{\text{tracción}}$$

$$\delta = \frac{\eta_d \eta_r \eta_{\text{GEN}} \eta_{\text{c-bat}} \eta_{\text{d-bat}} \eta_{\text{ME}} \eta_r \eta_d \frac{E_{\text{bat,entrada}}}{\eta_d \eta_r \eta_{\text{GEN}}}}{\eta_d \eta_r \eta_{\text{ME}} E_{\text{bat,salida}}} = \eta_{\text{c-bat}} \eta_{\text{d-bat}} \frac{E_{\text{bat,entrada}}}{E_{\text{bat,salida}}}$$

$$E_{\text{bat,entrada}} = \int_{I_{\text{bat}} < 0} V_{\text{bat}} I_{\text{bat}} dt \quad E_{\text{bat,salida}} = \int_{I_{\text{bat}} \geq 0} V_{\text{bat}} I_{\text{bat}} dt$$

HIBRIDACIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

La hibridación de baterías y supercondensadores pueden superar los problemas tales como la baja potencia específica de las baterías y la baja energía específica de los supercondensadores, alcanzando así una alta potencia específica y alta energía específica, reduciendo en tamaño y peso el sistema global de almacenamiento de energía.



DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA HÍBRIDO

Los requerimientos de energía y potencia de un vehículo se pueden representar por el ratio energía/potencia

$$\Psi = \frac{E_v}{P_v}$$

$$\frac{m_b E_b + m_c E_c}{m_b P_b + m_c P_c} = \Psi$$

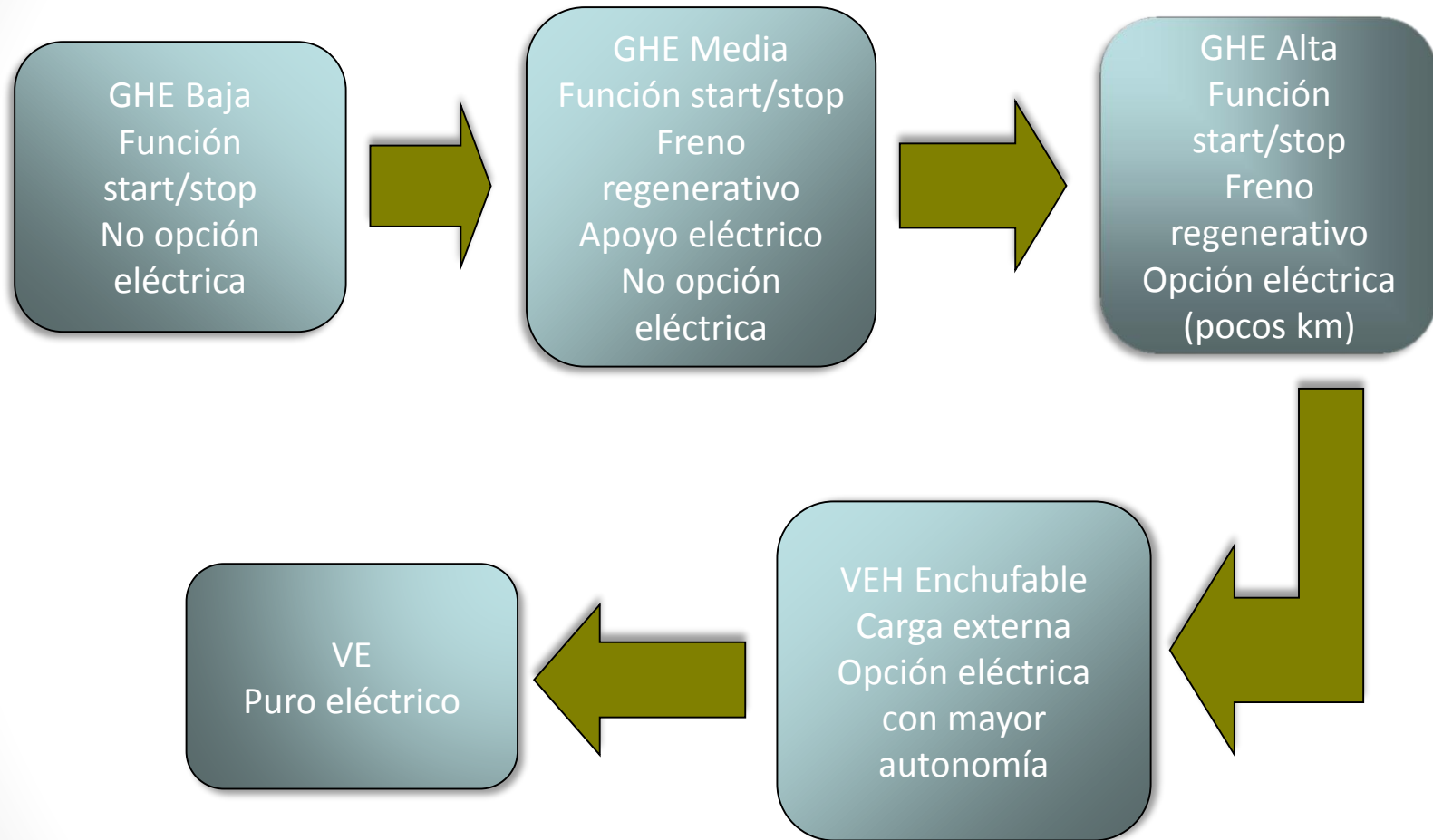
$$m_c = k m_b$$

$$k = \frac{E_b - \Psi P_b}{\Psi P_c - E_c}$$

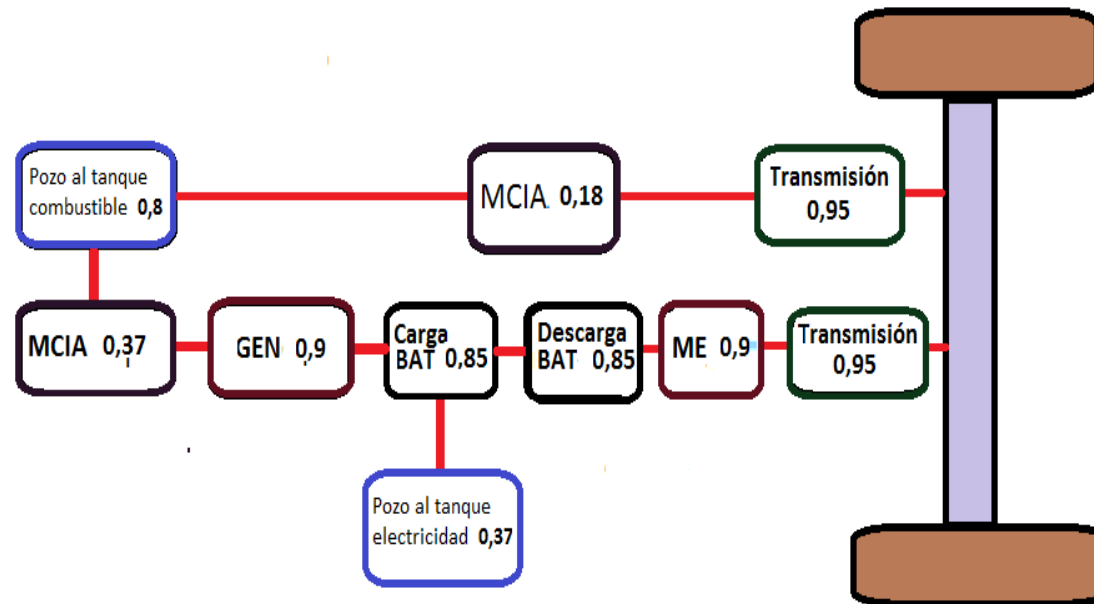
$$E_{e_{b+c}} = \frac{m_b E_b + m_c E_c}{m_b + m_c} = \frac{E_b + k E_c}{1 + k}$$

$$P_{e_{b+c}} = \frac{m_b P_b + m_c P_c}{m_b + m_c} = \frac{P_b + k P_c}{1 + k}$$

Clasificación de los VEH en función del grado de hibridación eléctrica

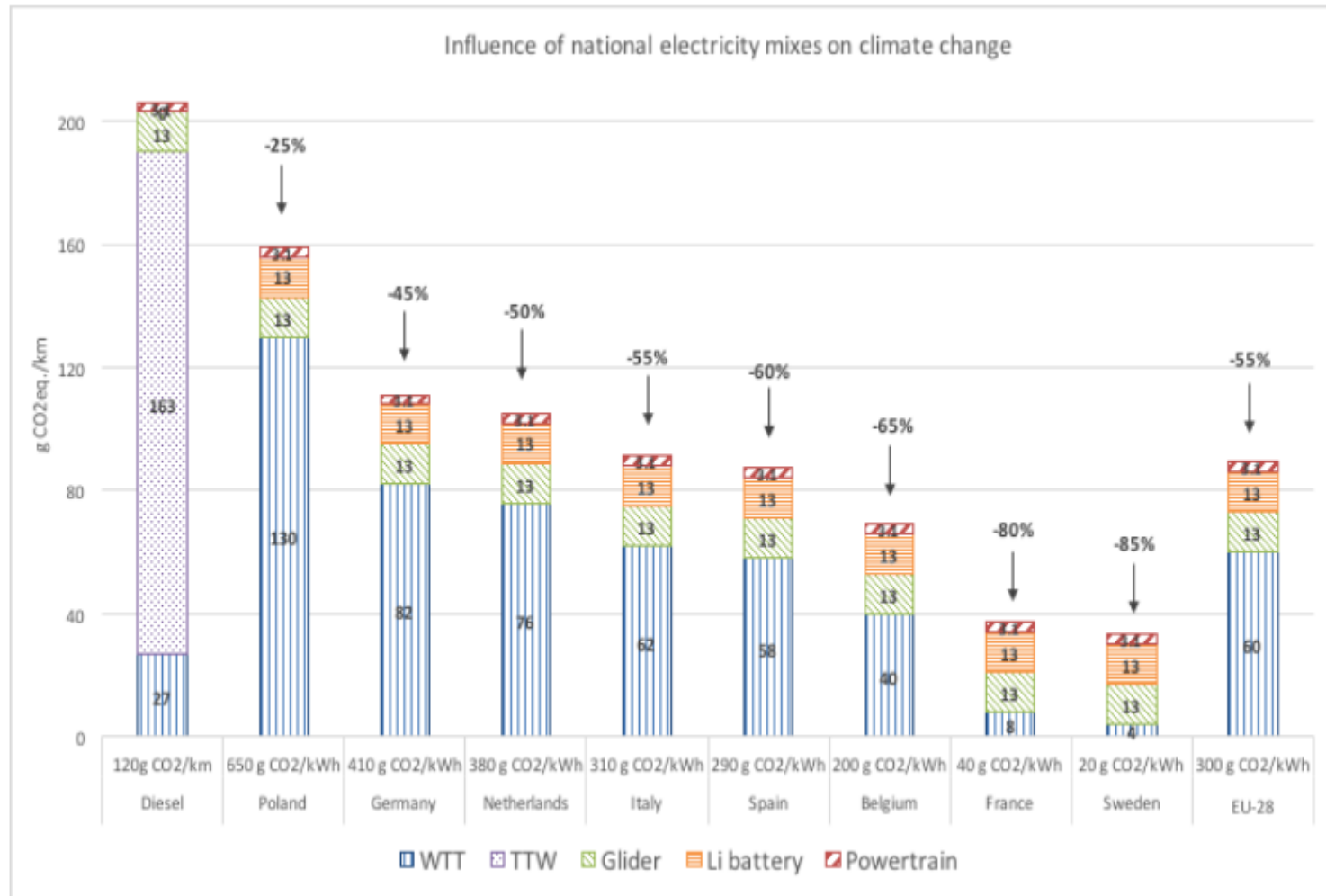


Rendimientos orientativos de diferentes componentes del sistema de propulsión de los vehículos para configuraciones híbridas



	VEHÍCULO CONVENCIONAL	VEHÍCULO HÍBRIDO	VEHÍCULO ELÉCTRICO
ETAPA 1			
Pozo al Tanque	0,80	0,80	0,37
ETAPA 2			
Tanque a Rueda	0,17	0,26	0,87
102	0,14	0,21	0,32

Impacto en el ciclo de vida



Ventajas de los VE	Requerimientos de los VE para su penetración en el mercado
CO ₂ neutro utilizando energía renovable	Aseguramiento de un nivel autonomía adecuado
Alto rendimiento del sistema propulsor	Seguridad en el sistema de almacenamiento de energía eléctrica
Bajo coste de operación	Amplia disponibilidad de puntos de carga
Funcionamiento silencioso	Tiempos de carga aceptables
Posibilidad de utilización de la red eléctrica existente	Disponibilidad de energías renovables para el suministro a vehículos
Emisiones cero en el punto de uso	Reducción del coste inicial de las baterías y otros componentes.

LA FRENADA REGENERATIVA

Introducción

Los vehículos híbridos, eléctricos y de pila de combustible tienen la capacidad de aprovechar una cantidad significativa de energía durante el proceso de frenado para convertirla en electricidad, almacenarla y utilizarla más tarde, lo que se conoce como **frenada regenerativa**. Los motores eléctricos se controlan para que trabajen como generadores y conviertan, así, la energía cinética o potencial del vehículo en energía eléctrica.



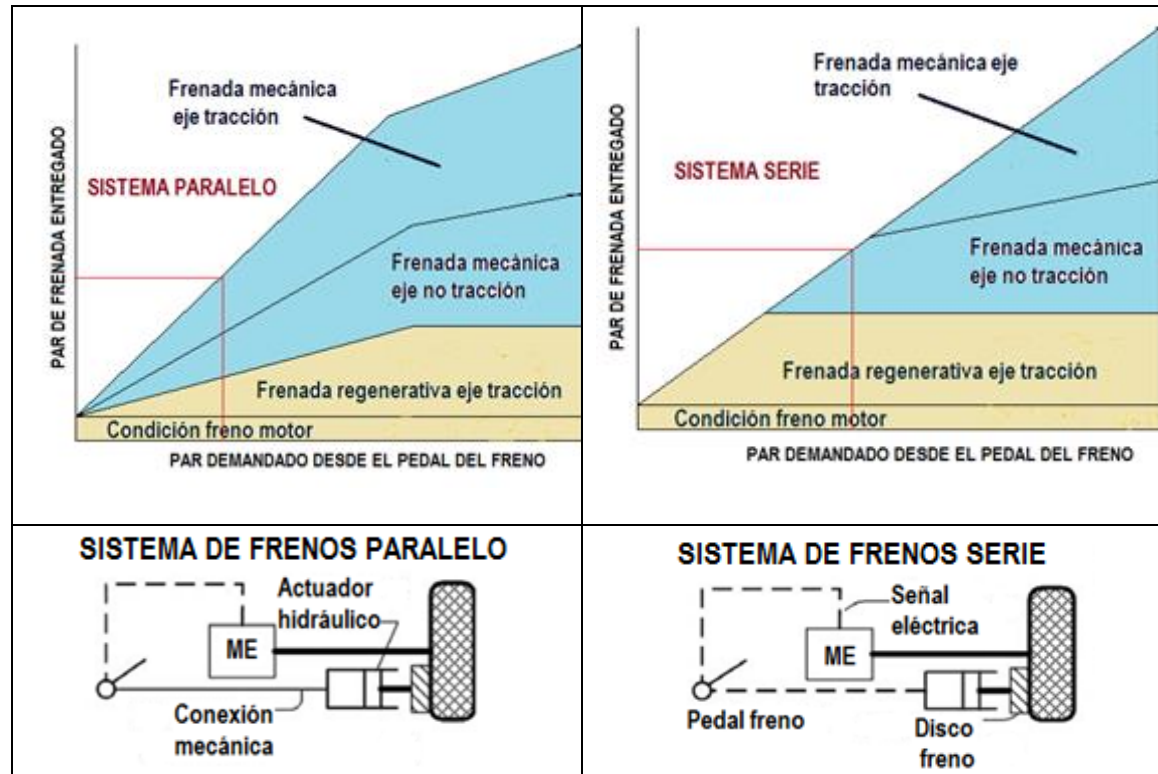
Frenada regenerativa, extiende la autonomía eléctrica del vehículo y puede ahorrar entre un 10%-25% del total de la energía utilizada.

Par de frenado mayor que el par de tracción, necesario disponer de frenos convencionales.

En los vehículos híbridos el vacío lo genera el MCIA, mientras que en los VE y VEHE se necesita una bomba de vacío

No frenada regenerativa en determinadas condiciones, SOC alto, alta temperatura batería, bajo régimen de giro,...

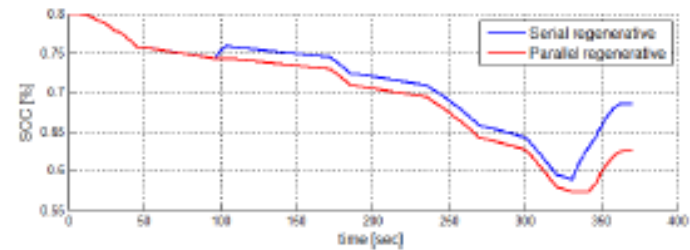
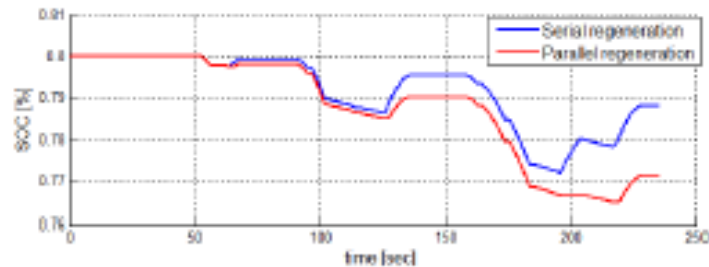
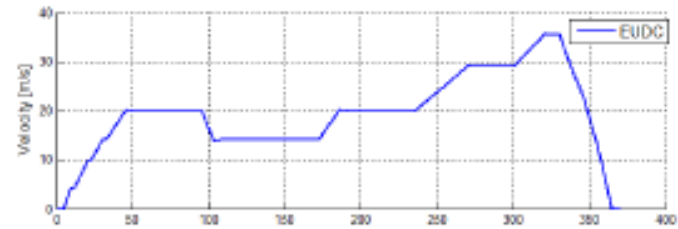
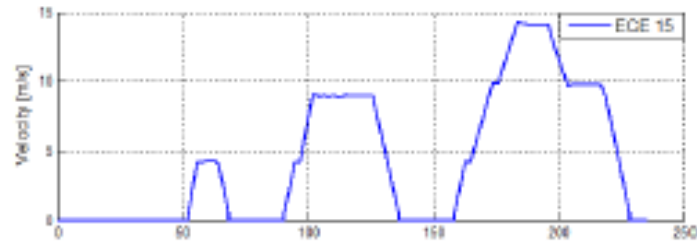
Sistemas de frenada regenerativa

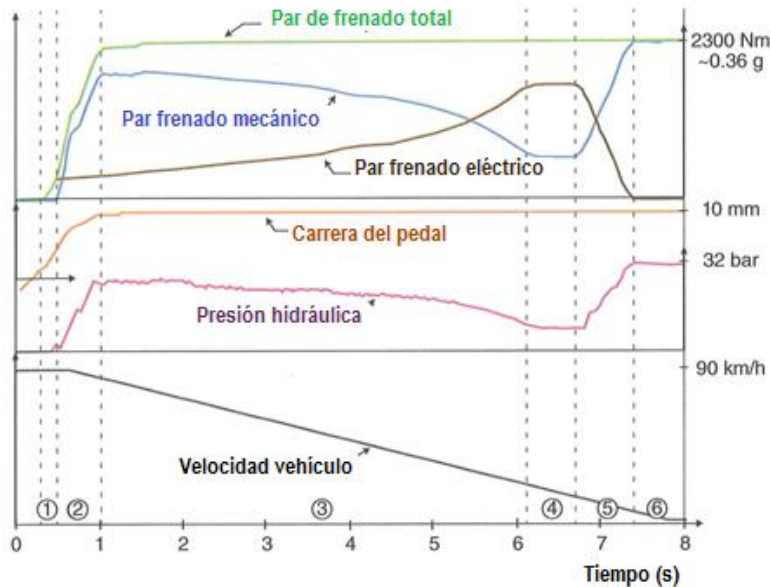


Sistema de frenado	Ventajas	Inconvenientes
SERIE	- Mayor capacidad de recuperar la energía durante la frenada. - Buen ahorro de combustible (15 -30%) - Buen control sobre la estabilidad del vehículo	- Sistema más complejo de implementar (brake by wire) - Control complejo - Coste

Sistema de frenado	Ventajas	Inconvenientes
PARALELO	- Fácil instalación junto al sistema de frenos convencionales - No requiere un sistema complejo de control	- Menor energía recuperada durante la frenada. - Menor ahorro de combustible (10 – 20%) - Menor control sobre la estabilidad del vehículo

Aplicación ciclo NEDC





Fase 1: Al comienzo de la fase de frenado solo actúa la máquina eléctrica.

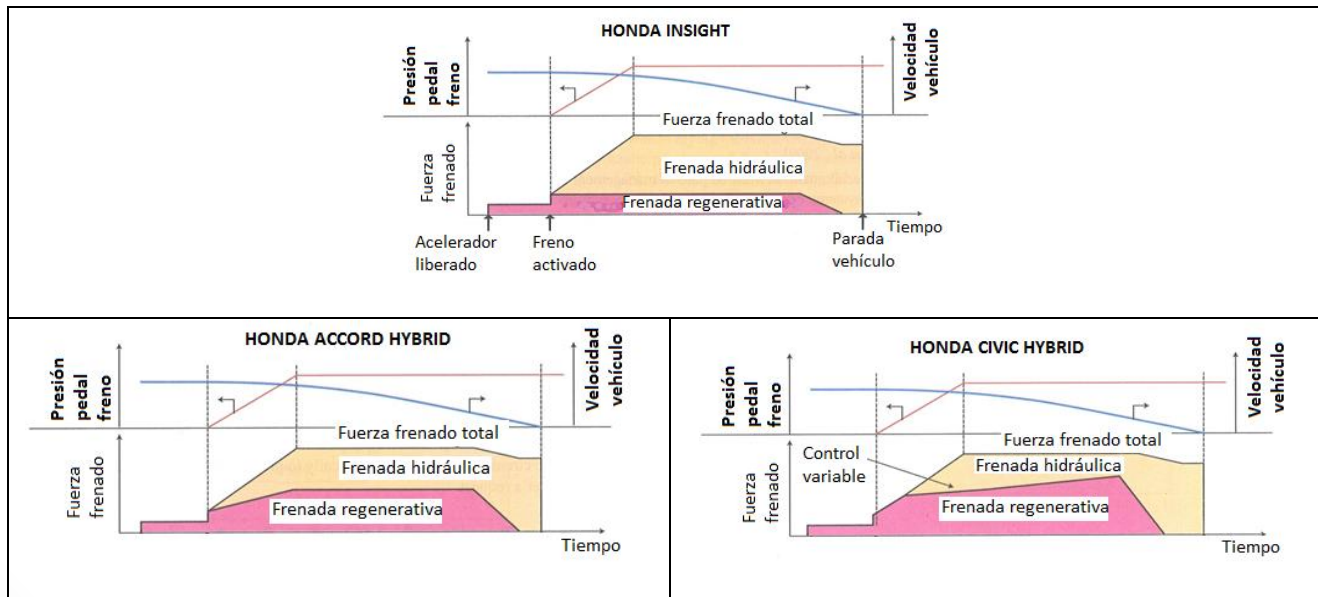
Fase 2: Los frenos mecánicos funcionan de forma progresiva según demanda.

Fase 3: El requerimiento del conductor permanece constante, pero como el régimen de giro decae según disminuye la velocidad del vehículo, el par de frenado eléctrico aumenta. El par mecánico se controla dinámicamente de manera que el par total permanezca constante.

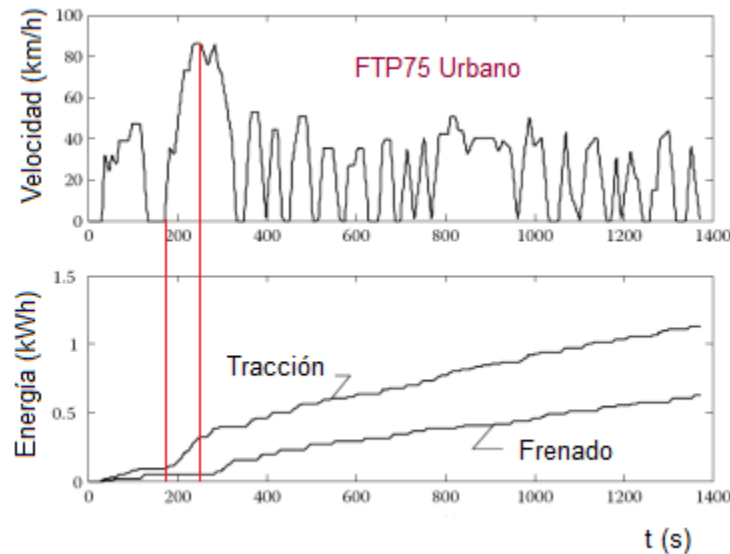
Fase 4: El régimen de giro cae hasta la velocidad base, por lo que, el par ya no depende de éste. El par mecánico se controla consecuentemente.

Fase 5: El régimen de giro es tan bajo que el inversor no puede controlar la máquina eléctrica y el freno mecánico asume el par de frenado.

Fase 6: El vehículo se detiene utilizando solo el freno mecánico.

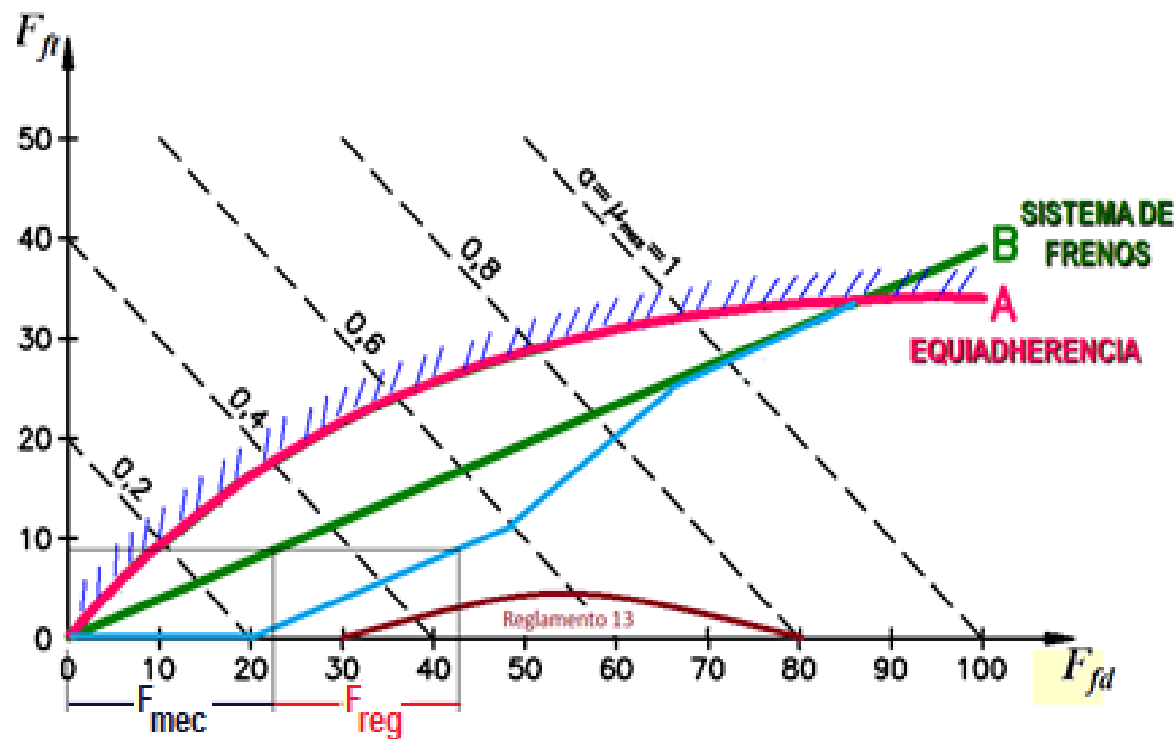


Energía de frenado consumida en ciclo urbano

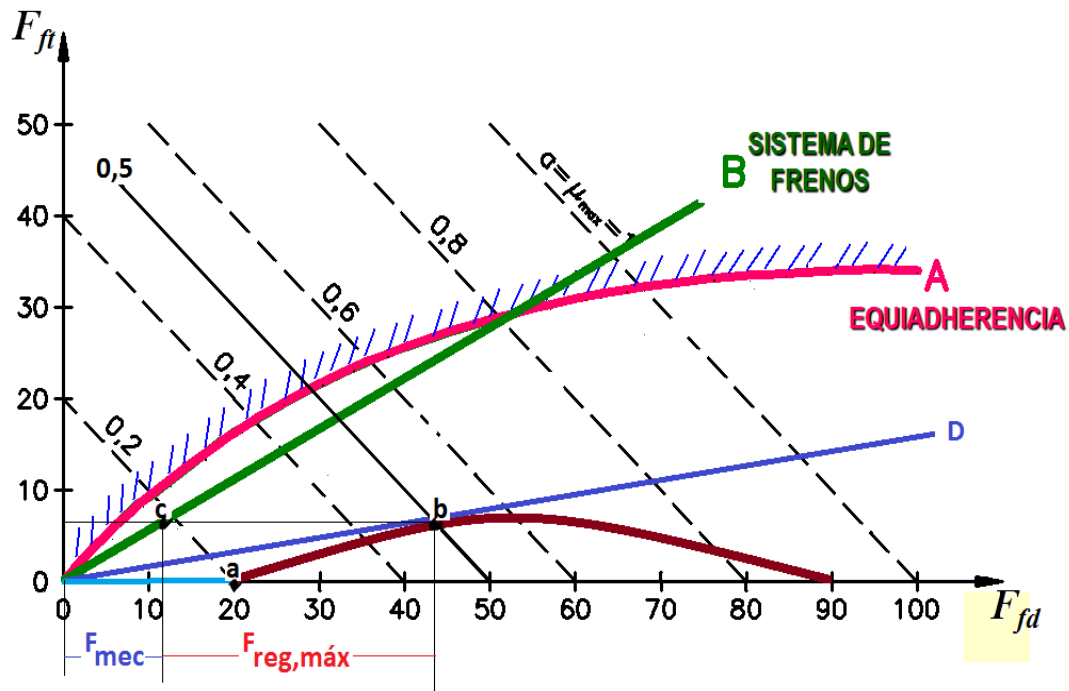


Parámetros	FTP75 Urbano	NEDC
Velocidad máxima (km/h)	86,4	120
Velocidad media (km/h)	27,9	49,8
Distancia recorrida por ciclo (km)	10,63	7,95
Energía de tracción (kWh) por ciclo y por km	1,1288/1,1062	0,9691/0,1219
Energía de frenado (kWh) por ciclo y por km	0,6254/0,0589	0,3303/0,0416
Porcentaje de energía de frenado frente a tracción	55,4	34,08

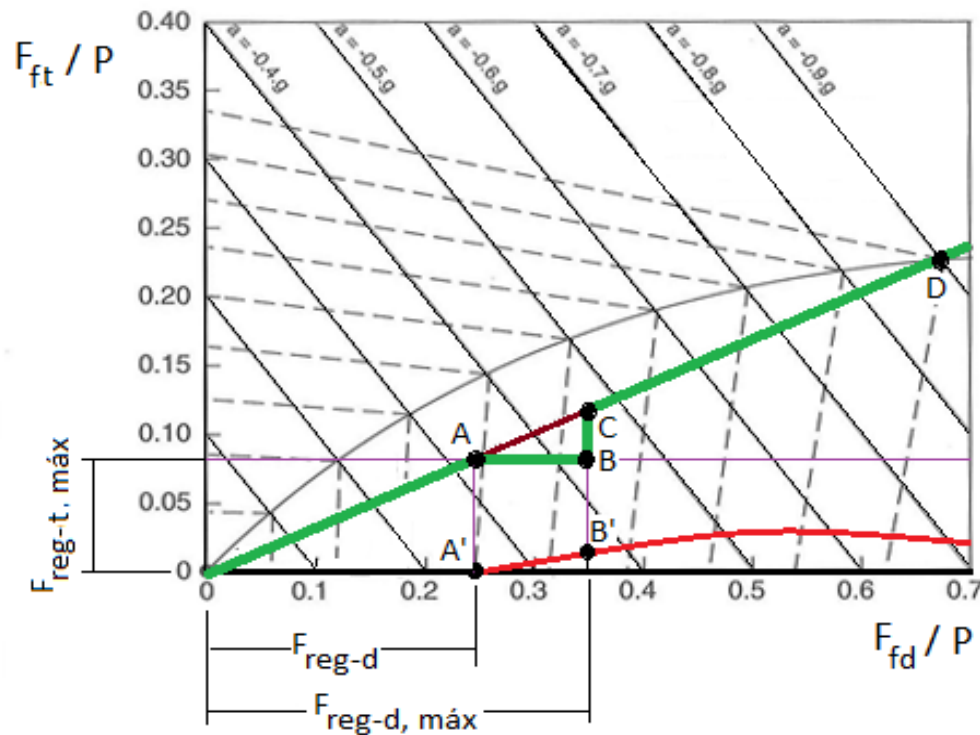
DISEÑO Y PRINCIPIOS DE CONTROL CON RELACIONES FIJAS ENTRE LAS FUERZAS DE FRENADO ELÉCTRICA Y MECÁNICA



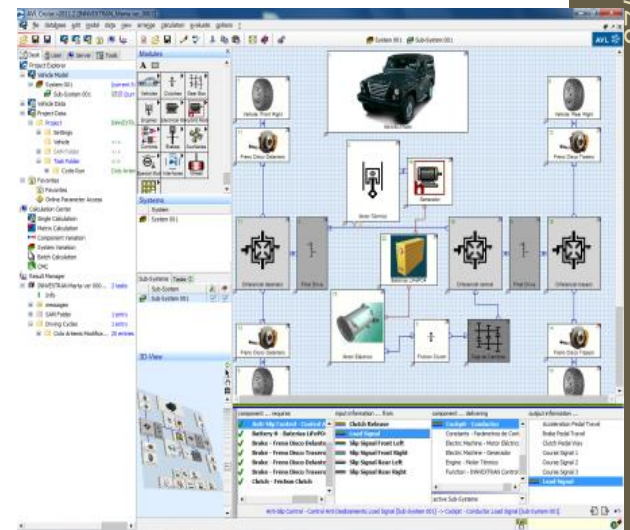
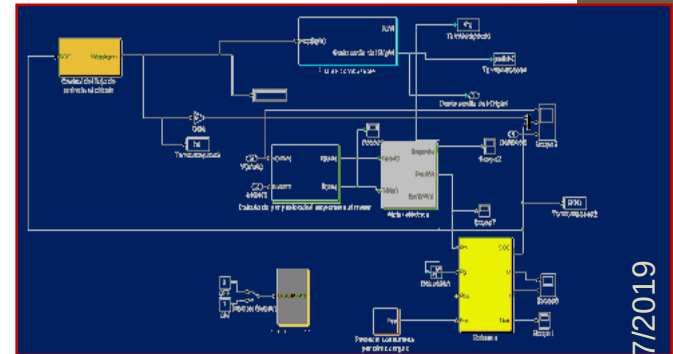
DISEÑO Y PRINCIPIOS DE CONTROL PARA FRENADA REGENERATIVA MÁXIMA



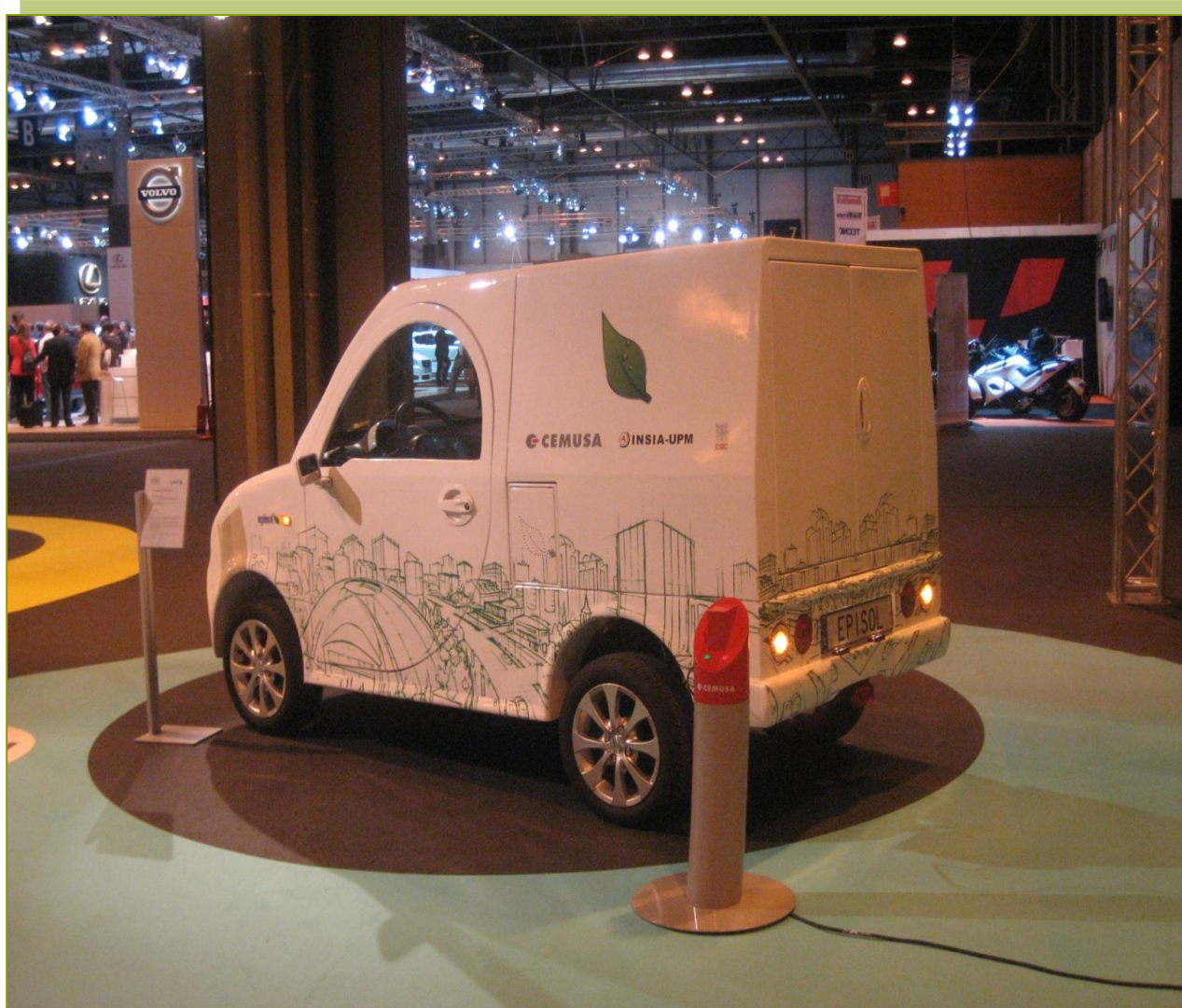
Sistema de frenada regenerativa en dos ejes



APORTACIÓN TECNOLÓGICA DEL INSIA



EPISOL



27/07/2019

INNEXTRAN



EPHISA



27/07/2019

6

VEMTESU



ATHEMTO



ERTRAC

