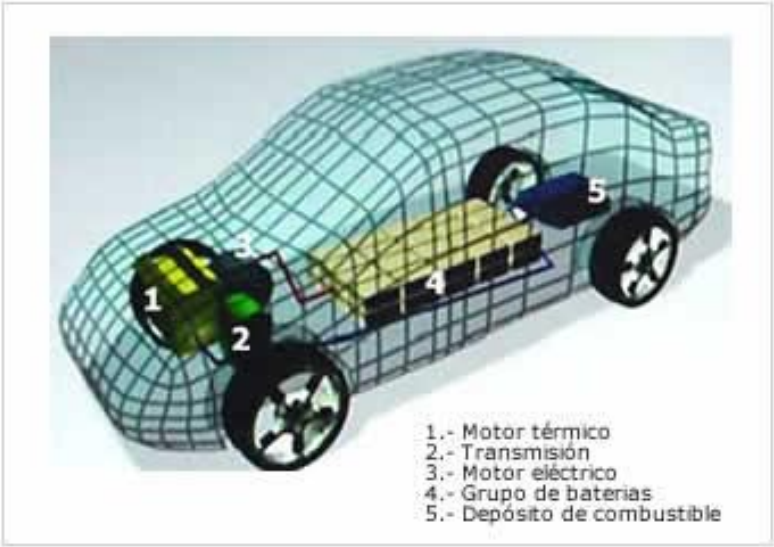
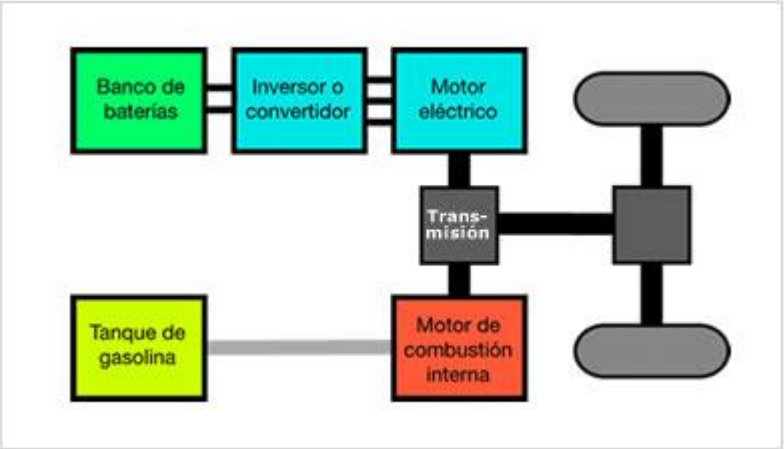
VEHÍCULOS HÍBRIDOS PARALELO

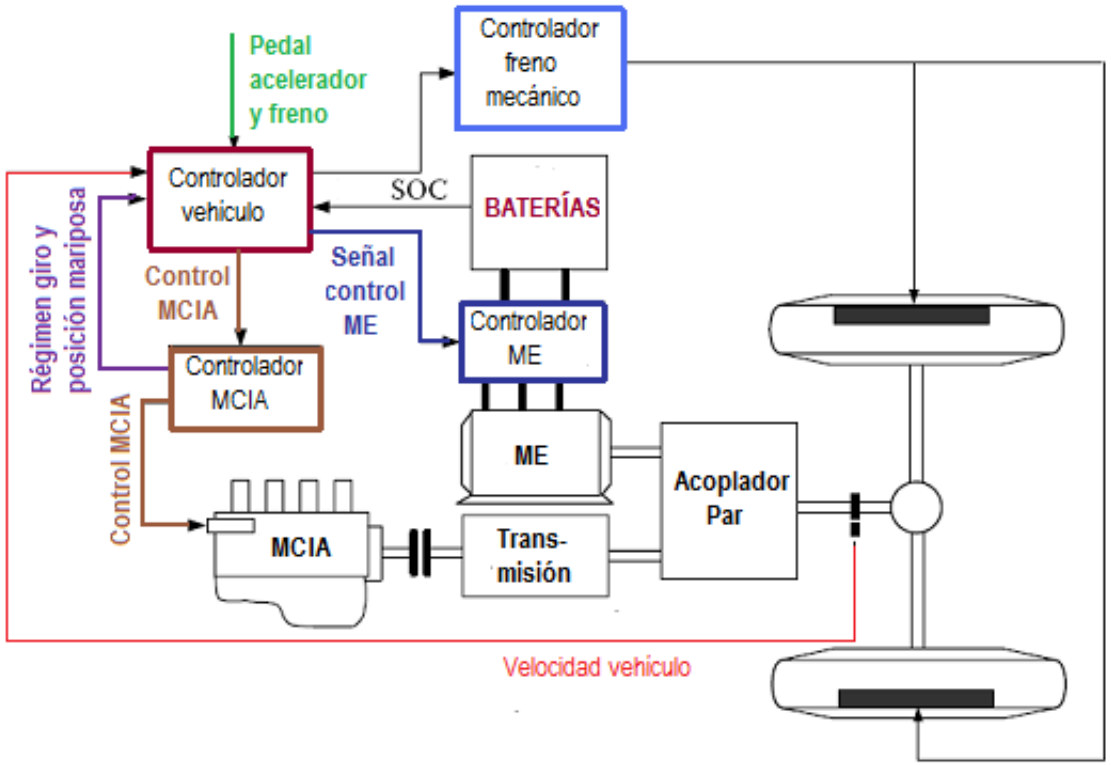


ÍNDICE



- Introducción
- Estrategias de control
  - Máximo estado de carga
  - Termostato
  - Restringida
- Diseño del tren propulsor
  - Motor térmico
  - Motor eléctrico
  - Baterías

INTRODUCCIÓN



Los objetivos de diseño son los siguientes:

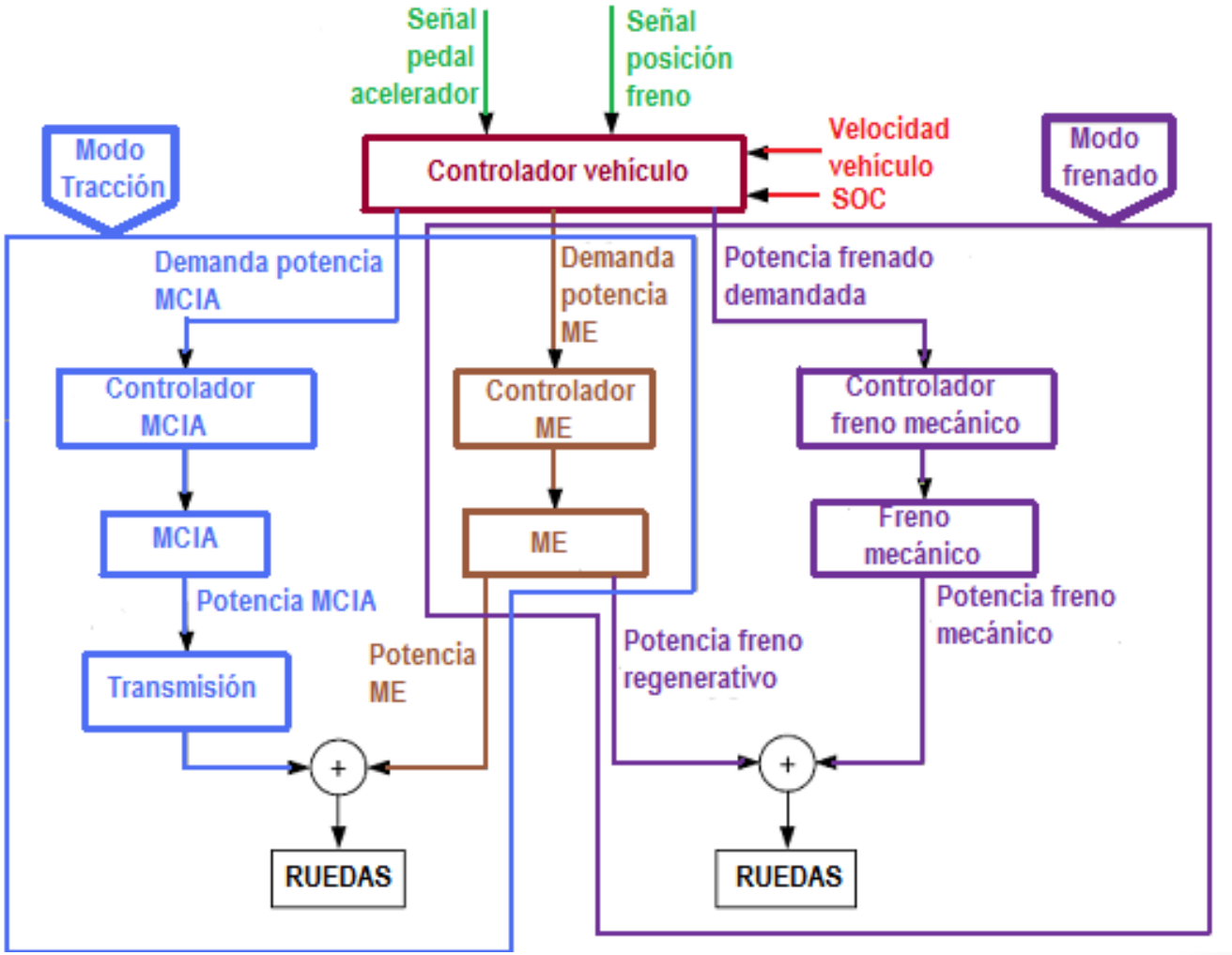
•Cubrir los requerimientos de comportamiento del vehículo (aceleración, pendiente, velocidad de crucero máxima).

•Alcanzar un rendimiento global alto.

•Mantener el SOC de las baterías a unos niveles aceptables tanto en circulación en autopista como en ciudad.

•Máxima recuperación en frenada.

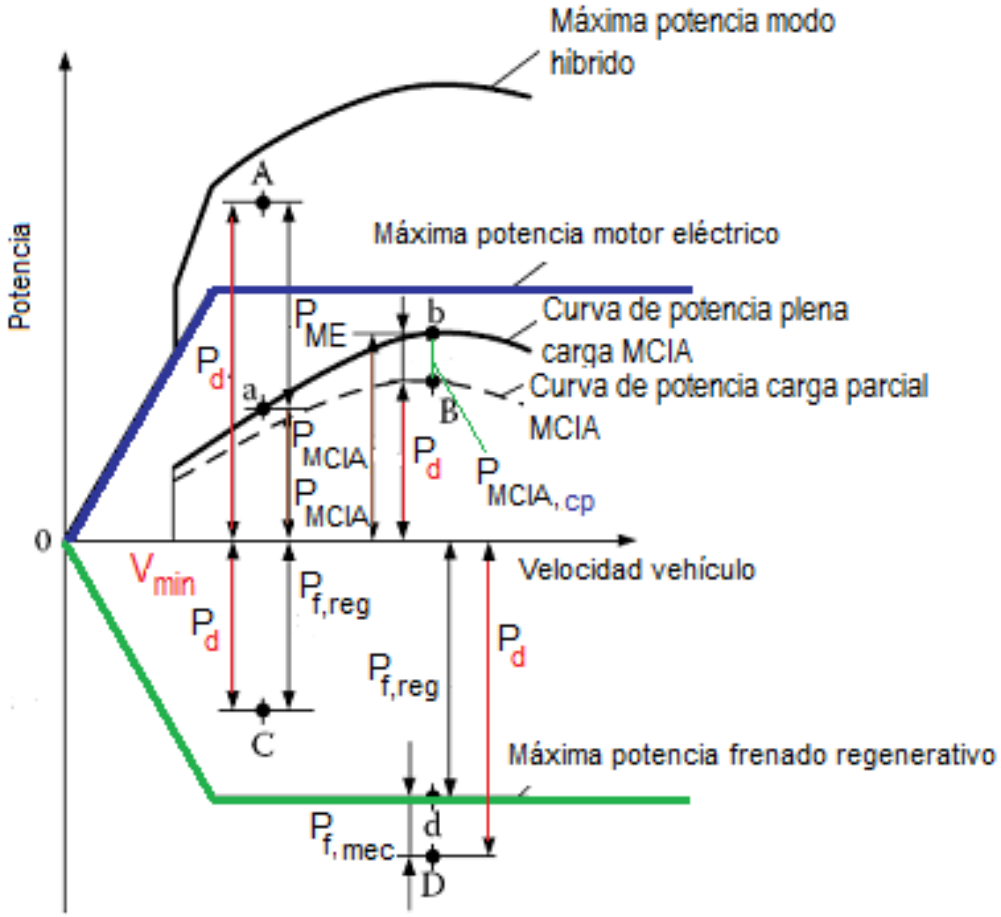
ESQUEMA GLOBAL DE CONTROL



ESTRATEGIAS DE CONTROL

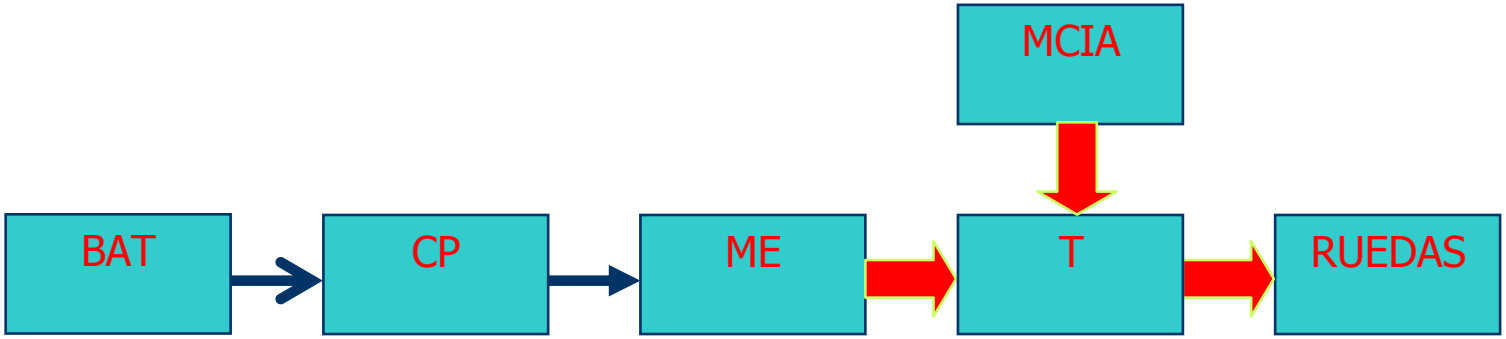
- MÁXIMO ESTADO DE CARGA DE LA BATERÍA
- MODO TERMOSTATO
- MODO RESTRINGIDO

MÁXIMO ESTADO DE CARGA DE LA BATERÍA



Modo híbrido

Cuando la potencia demandada por el conductor, representada por el punto **A,** es mayor que la potencia que el motor térmico puede producir, entonces el motor eléctrico se acopla a la demanda de par demandado.

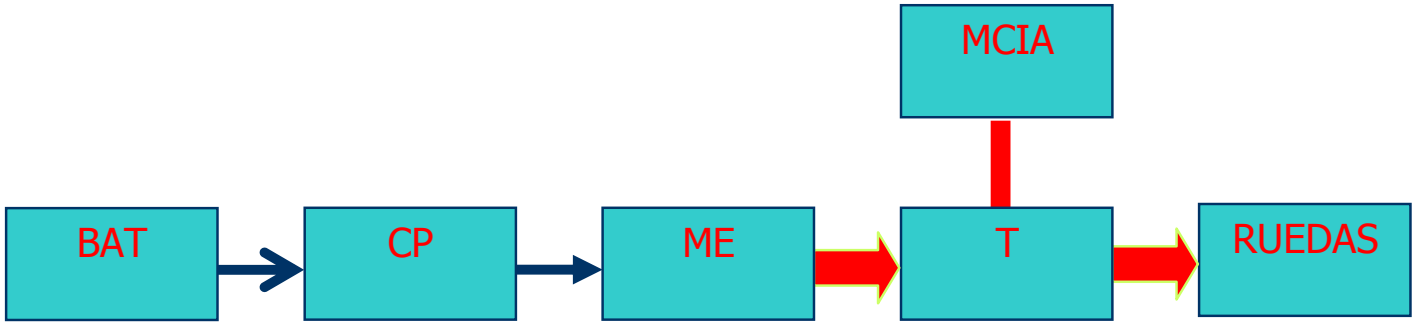


$$P_{demandada} = P_{ME} + P_{MCIA}$$

$$P_{BAT,d} = \frac{P_{ME}}{\eta_{ME}}$$

Modo tracción eléctrica

Cuando la velocidad del vehículo es menor que una velocidad prefijada, $\mathbf{V_{min}}$, por debajo de la cual el motor térmico no funciona de forma estable, o funciona con un consumo inadecuado y emisiones contaminantes incontroladas, el motor eléctrico se encarga de propulsar el vehículo



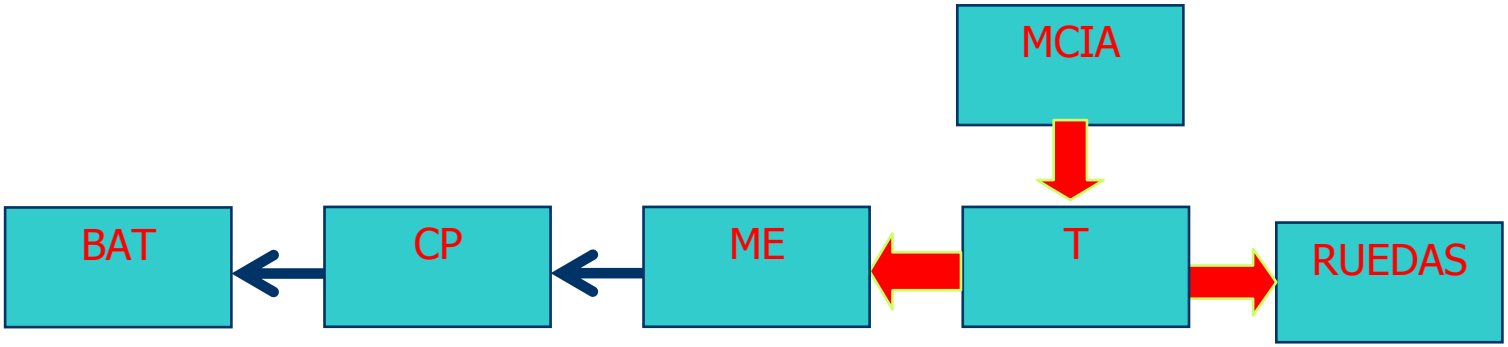
$$P_{demandada} = P_{ME}$$

$$P_{MCIA} = 0$$

$$P_{BAT,descarga} = \frac{P_{ME}}{\eta_{ME}}$$

Modo carga batería

Cuando la potencia demandada por el conductor, representada por el punto **B,** es menor que la potencia que el motor térmico pueda producir mientras funciona en su punto óptimo de operación, y el SOC está por debajo de su valor consigna superior, el motor térmico empieza a funcionar en su punto **b** de máxima potencia, produciendo la potencia P_{MCIA}. En este caso, el controlador del motor eléctrico hace que éste funcione como generador, alimentado por el excedente de potencia del motor térmico

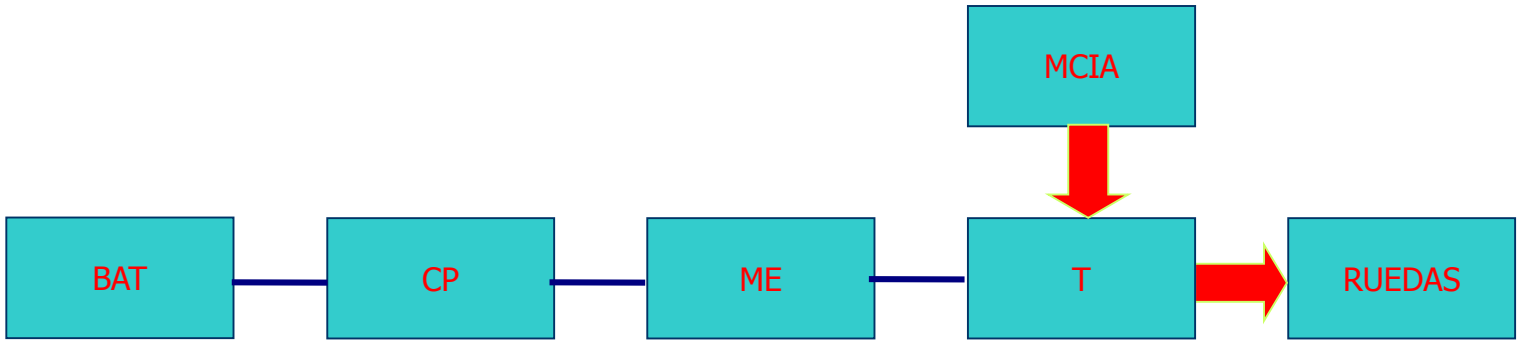


$$P_{dem} = (P_{MCIA} - P_{ME})$$

$$P_{BAT,c} = P_{ME}\,\eta_{ME}$$

Modo motor térmico

Cuando la potencia demandada por el conductor, representada por el punto **B,** es menor que la potencia que el motor térmico mientras funciona en su punto óptimo de operación, y el SOC está por encima de su valor consigna superior, el motor térmico mueve de modo individual el vehículo



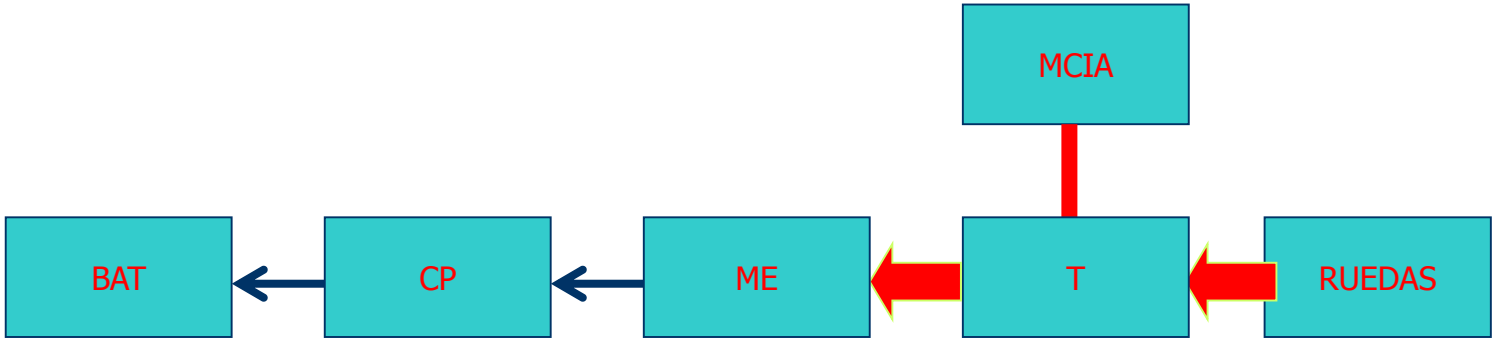
$$P_{demandada} = P_{MCIA}$$

$$P_{ME} = 0$$

$$P_{BAT} = 0$$

Modo frenada regenerativa

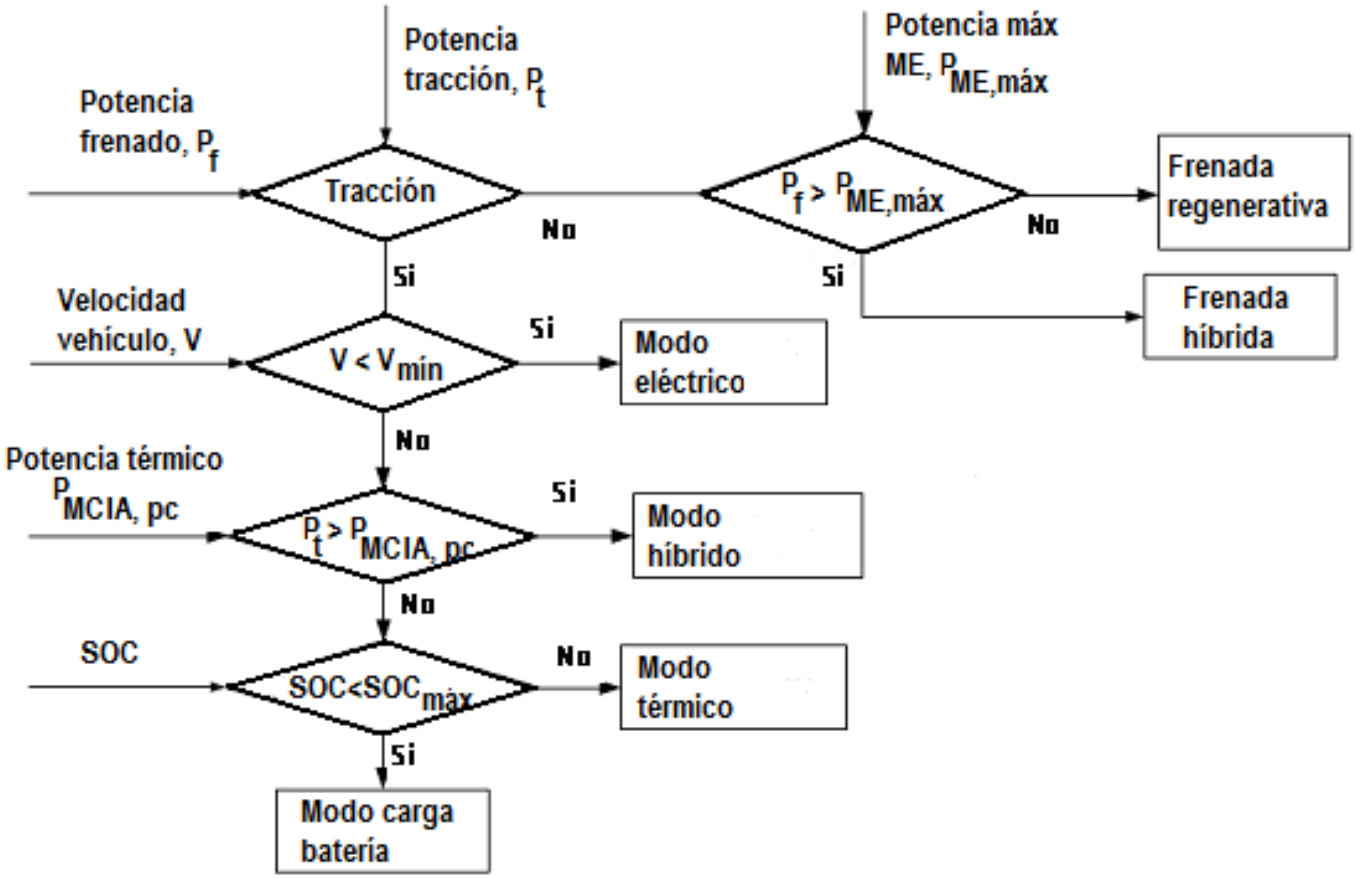
Cuando se frena el vehículo y la potencia de frenado es menor que la máxima de la potencia de frenada regenerativa que el sistema eléctrico puede suministrar (ver punto **C**), el controlador del motor eléctrico hace funcionar éste en modo generador para producir la potencia de frenado igual a la comandada



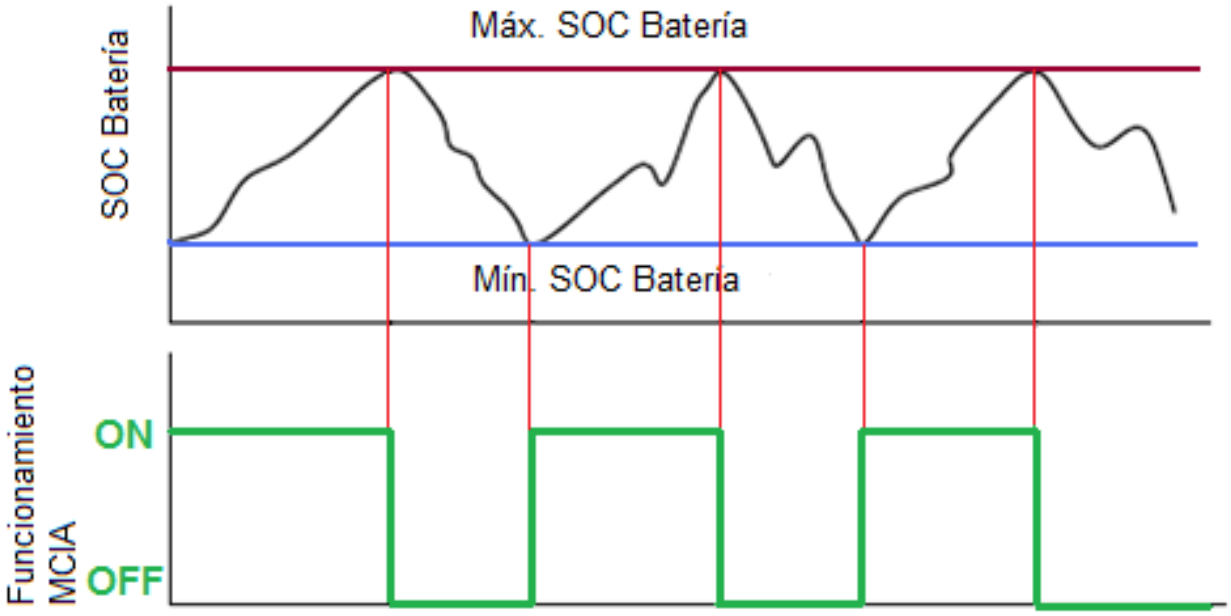
$$P_{f,reg} = P_{demandada}\,\eta_{ME}$$

$$P_{BAT,c} = P_{f,reg}$$

Diagrama de flujo para máximo SOC



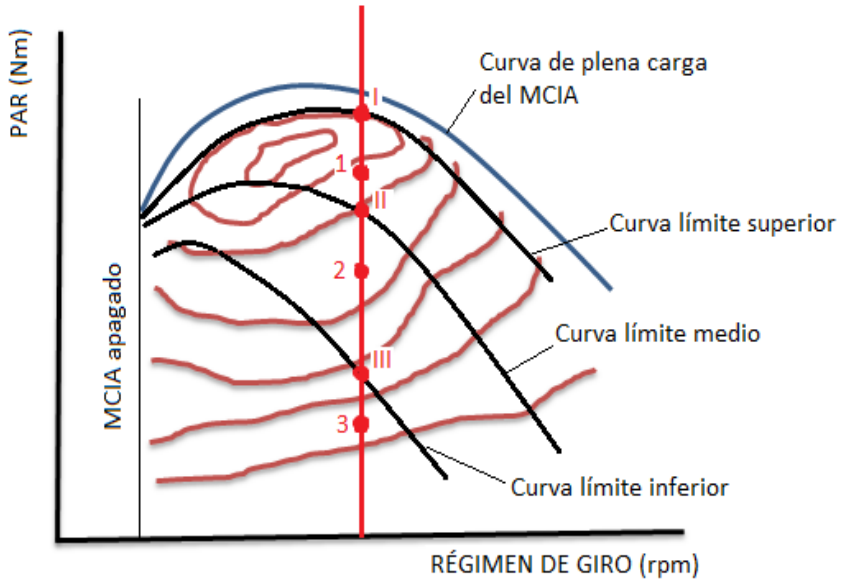
MODO TERMOSTATO



Modo combinado

El control será exactamente igual al de máx. SOC, cuando la velocidad del vehículo sea inferior a V_{min} y cuando las potencias de tracción demandadas estén en los puntos A, C y D.

	Estado de carga		
Par demandado	SOC bajo	SOC medio	SOC alto
Punto 3	$T_{MCIA} = T_{II}$ $T_{carga} = T_{II} - T_3$	$T_{MCIA} = T_{III}$ $T_{carga} = T_{III} - T_3$	$T_{MCIA} = 0$ $T_{carga} = 0$
Punto 2	$T_{MCIA} = T_I$ $T_{carga} = T_I - T_2$	$T_{MCIA} = T_{II}$ $T_{carga} = T_{II} - T_2$	$T_{MCIA} = T_2$ $T_{carga} = 0$
Punto 1	$T_{MCIA} = T_I$ $T_{carga} = T_I - T_1$	$T_{MCIA} = T_1$ $T_{carga} = 0$	$T_{MCIA} = T_1$ $T_{carga} = 0$



Sin embargo, cuando la potencia demandada sea la del punto B, esto es menor que la potencia del MCIA en su punto de máximo rendimiento, el MCIA puede funcionar con la posición óptima de la mariposa, a carga parcial o apagado, dependiendo del SOC de las baterías

DISEÑO DEL TREN PROPULSOR

POTENCIA MOTOR TÉRMICO

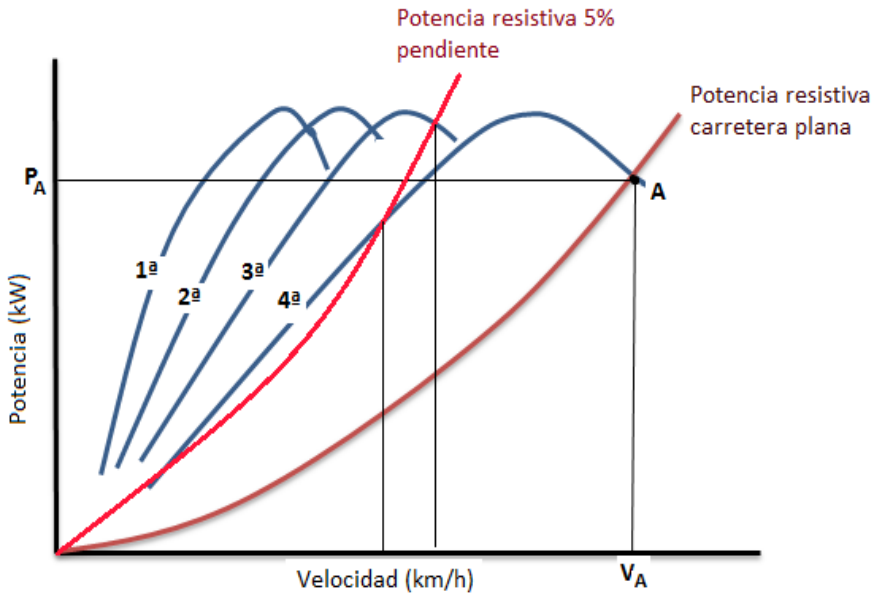
POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

BATERÍAS

DISEÑO DEL MOTOR TÉRMICO

Como requerimiento de potencia en condiciones de circulación en autopista a velocidad constante sobre terreno plano o ligeramente inclinado se tiene la siguiente expresión:

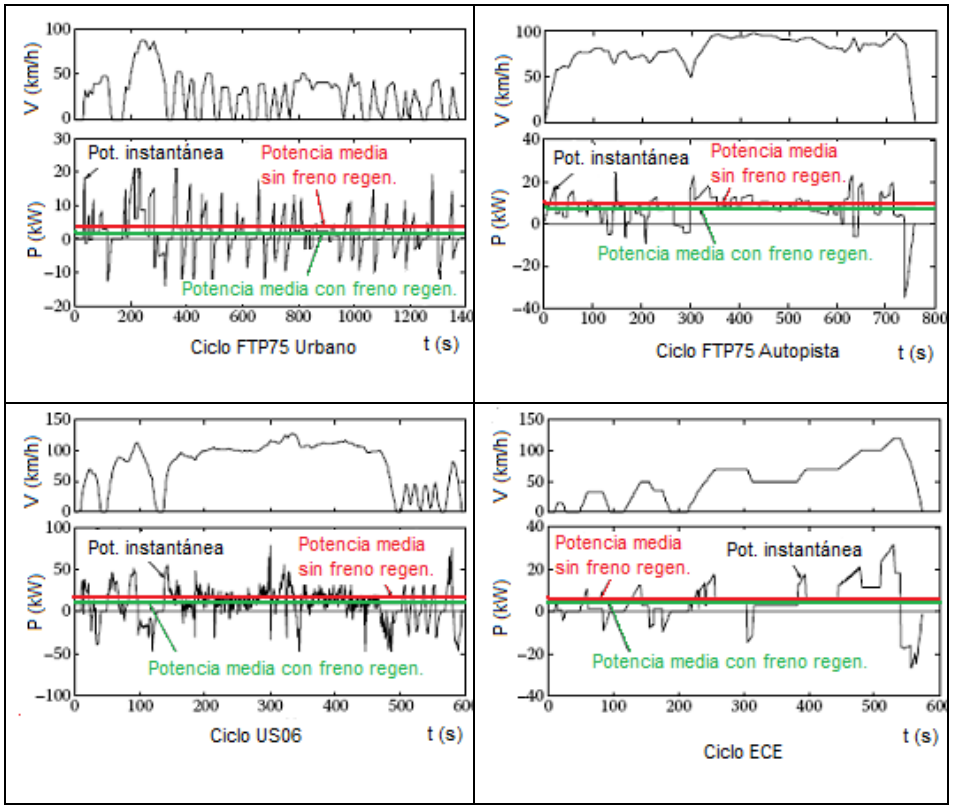
$$P_{MCIA} = \frac{V}{\eta_t}\left(mgf_r + \frac{1}{2}\rho_a C_X A_f V^2 + mgi\right)$$



DISEÑO DEL MOTOR TÉRMICO

La potencia del MCIA diseñada anteriormente debería evaluarse con la requerida para un ciclo de conducción urbano, a través de la siguiente ecuación de la potencia demandada media:

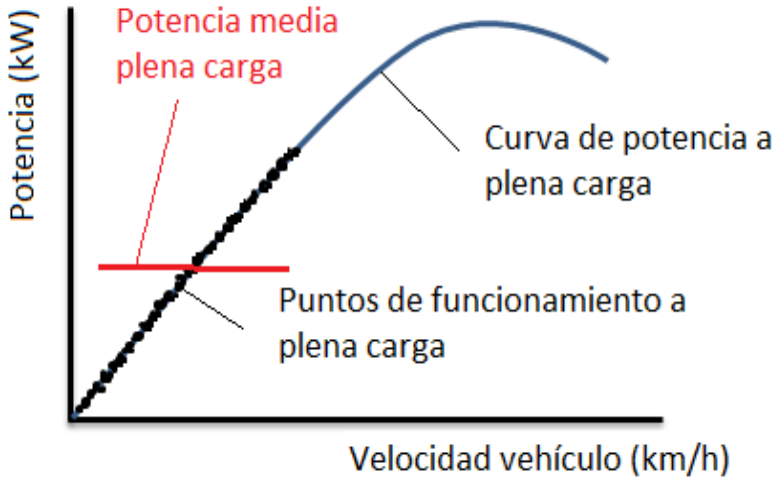
$$\overline{P} = \frac{1}{T}\int_0^T \left(mgf_r + \frac{1}{2}\rho_a C_X A_f V^2 \right) V\,dt + \frac{1}{T}\int_0^T m\gamma_m \frac{dV}{dt}\,dt$$



DISEÑO MOTOR TÉRMICO

En la configuración en paralelo, el MCIA se acopla directamente el tren de tracción. Así, el régimen de giro del MCIA varia con la velocidad del vehículo. Por otro lado, la potencia del MCIA a plena carga varía con el régimen de giro del MCIA. En otras palabras, la potencia del MCIA a plena carga está asociada con la velocidad del vehículo. Así, la determinación de la potencia del MCIA que cumpla con la potencia media del ciclo de conducción no es una tarea tan fácil como en la configuración en serie, en la que el punto de funcionamiento del MCIA puede ser fijado. La potencia media que el MCIA puede producir a plena carga se puede calcular como:

$$\overline{P}_{MCIA,pc} = \frac{1}{T}\int_0^T P_{MCIA}(V)dt$$



DISEÑO DEL MOTOR ELÉCTRICO

Como primera estimación, se puede considerar que las cargas estacionarias (resistencia a la rodadura y aerodinámica) las maneja el MCIA y la carga dinámica (cargas inerciales en aceleración) las maneja el ME. En este supuesto, la aceleración está relacionada directamente con el par de salida del ME:

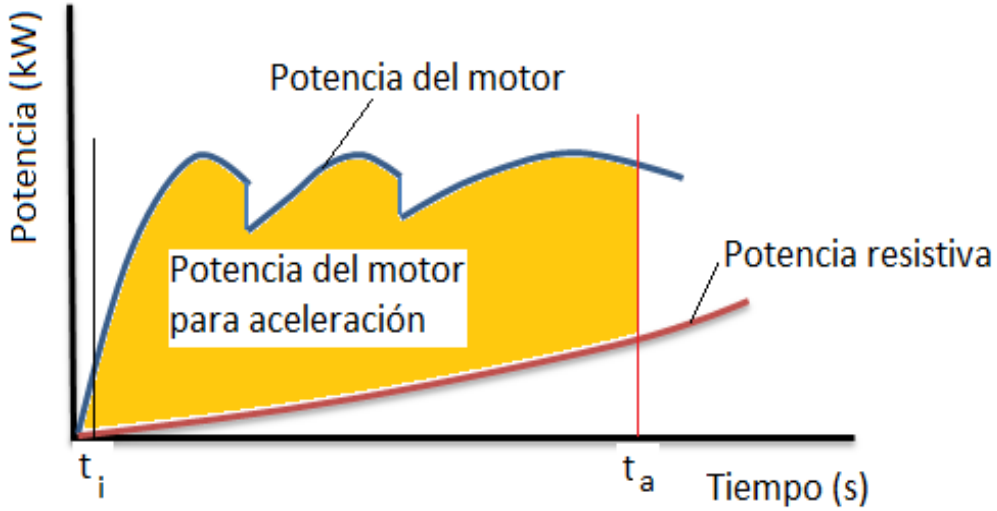
$$\frac{M_{ME}\xi_j\xi_d\eta_t}{r_c} = M\gamma_m\frac{dV}{dt}$$

Utilizando las curvas características del ME y el tiempo en acelerar, ta, entre velocidad cero y velocidad Vf, la potencia del ME viene expresada por:

$$P_{ME} = \frac{M\gamma_m}{2t_a\eta_t}\left(V_f^2 + V_b^2\right)$$

DISEÑO DEL MOTOR ELÉCTRICO

Realmente, el MCIA tiene algo de potencia remanente para ayudar al ME a acelerar.



La potencia media remante del MCIA para acelerar el vehículo se puede expresar como:

$$P_{remanente} = \frac{1}{t_a - t_i} \int_{t_i}^{t_a} (P_{MCIA} - P_{resistivas}) dt$$

DISEÑO DE LAS BATERÍAS

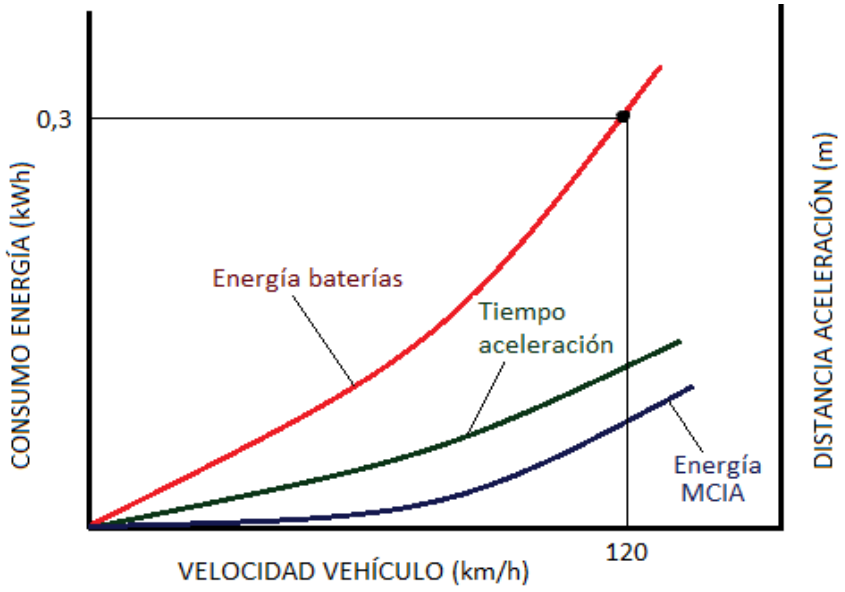
La potencia en bornes de la batería debe ser mayor o igual a la del ME:

$$P_{BAT} \geq \frac{P_{ME}}{\eta_{ME}}$$

Durante el periodo de aceleración, la energía extraída de las baterías y del MCIA se puede calcular a través del tiempo y distancia de la aceleración:

$$E_{BAT} = \int_0^{t_a} \frac{P_{ME}}{\eta_{ME}} dt$$

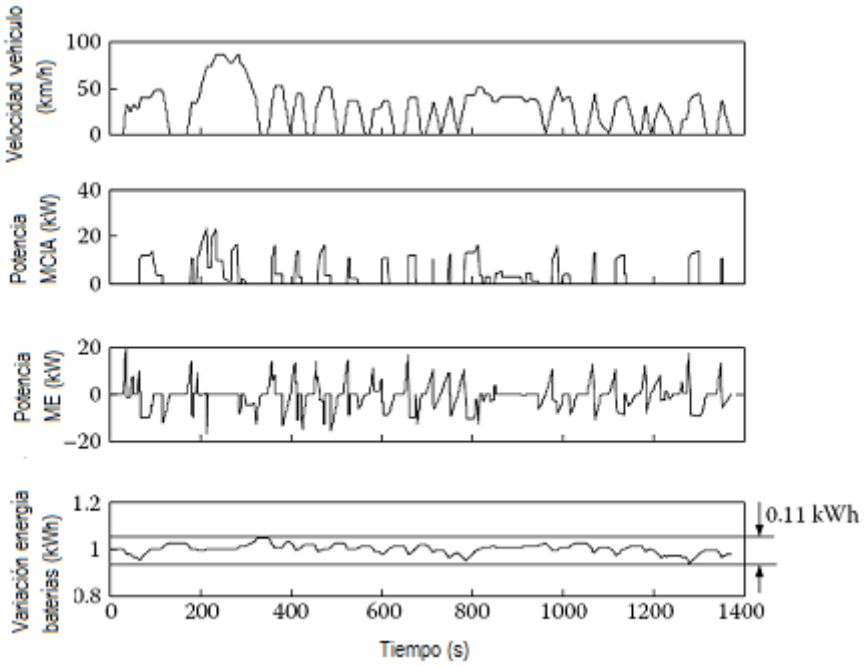
$$E_{MCIA} = \int_0^{t_a} P_{MCIA} \, dt$$



DISEÑO DE LAS BATERÍAS

La capacidad de energía de las baterías también debe cumplir con los requerimientos de los ciclos de conducción urbanos. En otras palabras, la energía de las baterías no debe descargarse completamente. Los cambios de energía de las baterías se pueden calcular del siguiente modo

$$E_{BAT} = \int_0^t \left(P_{BAT,c} - P_{BAT,d}\right) dt$$



La capacidad de energía de las baterías se puede representar como

$$E_{BAT} = \frac{E_{máx.descar.}}{SOC_{máx} - SOC_{mín}}$$