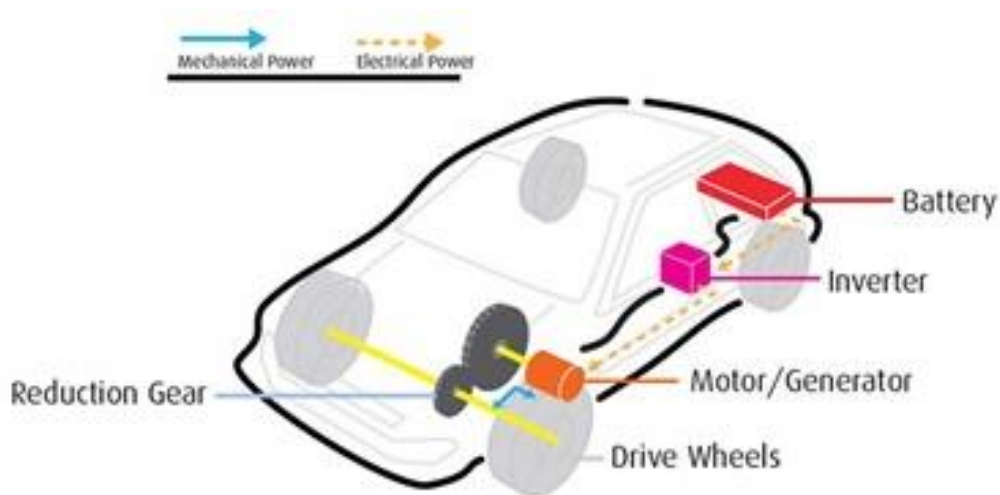


# Mapas de eficiencia de vehículos eléctricos

Los accionamientos de tracción necesitan operar de la manera más eficiente posible para maximizar la autonomía de conducción de los vehículos. El medio más frecuente para evaluar la eficiencia energética de los vehículos es examinar su rendimiento a través de ciclos de conducción y de los mapas de eficiencia.



## Ciclos de conducción

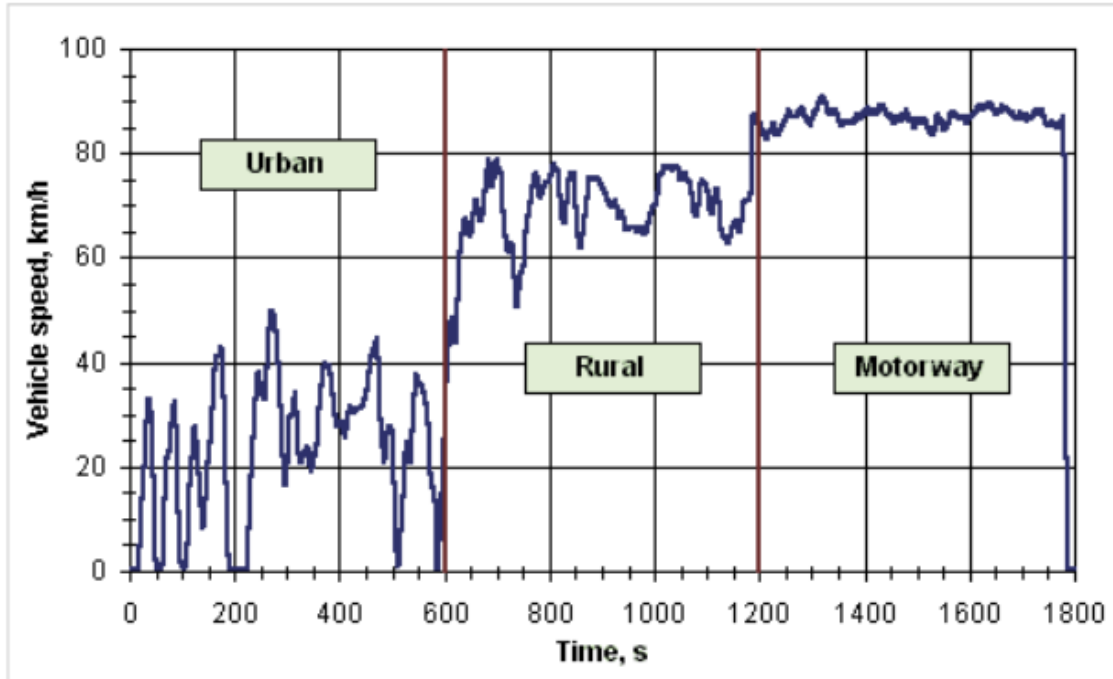
Un ciclo de conducción es un perfil representativo de la velocidad del vehículo en función del tiempo bajo diferentes circunstancias, que representa una forma típica de conducir en una ciudad o autopista, tomando en cuenta la tecnología del vehículo, las características del tráfico, de las rutas, características climáticas y geográficas (altitud, entre las más importantes) y también características de los mismos conductores.

Estos ciclos de manejo tienen una gran importancia, entre otros fines, para planear adecuadamente el desarrollo de alguna ciudad, en el desarrollo de tecnología para los nuevos automóviles, en la validación de modelos que predicen el comportamiento de los vehículos en la vía pública y en los inventarios de emisiones contaminantes en las grandes urbes, los cuales a su vez, permiten establecer estrategias para controlar el equilibrio ecológico del lugar, ciudad o región.

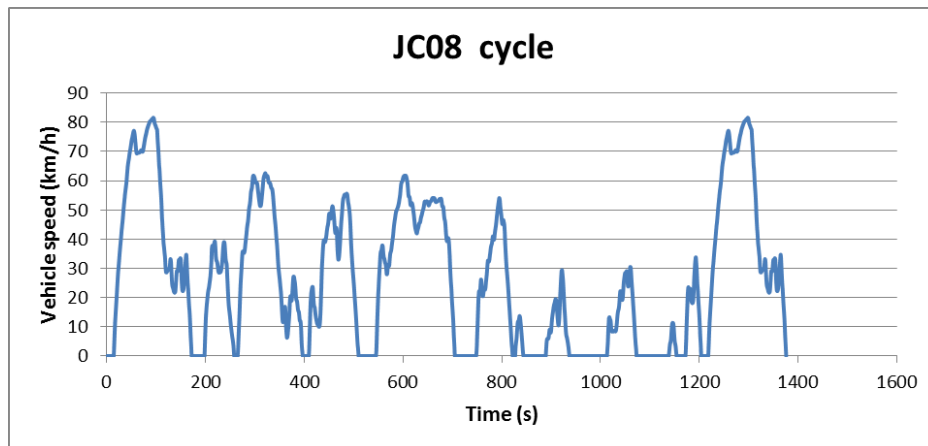
EPA (Environmental Protection Agency, USA), tiene su Procedimiento de Prueba Federal generalmente conocido como FTP-75 para el ciclo de conducción en ciudad. Un gran número de países pertenecientes a la Unión Europea, han desarrollado muchas y muy variadas actividades tendientes a proponer ciclos de manejo más apropiados a su realidad, las que reproduzcan las condiciones de manejo de la vida actual, tanto en la ciudad como en la ruta/autopista.

Por ejemplo, el New European Driving Cycle NEDC es un ciclo de conducción que consiste en cuatro ciclos de conducción ECE-15 repetidos y un ciclo de conducción extra-urbano (Extra-Urban driving cycle) EUDC.

La siguiente figura muestra un ciclo de conducción constituido en tres secciones, urbano, rural o ruta. Por otro lado incluso ciudades, por ejemplo, Nueva York tiene su propio ciclo de conducción específico ciudadano.

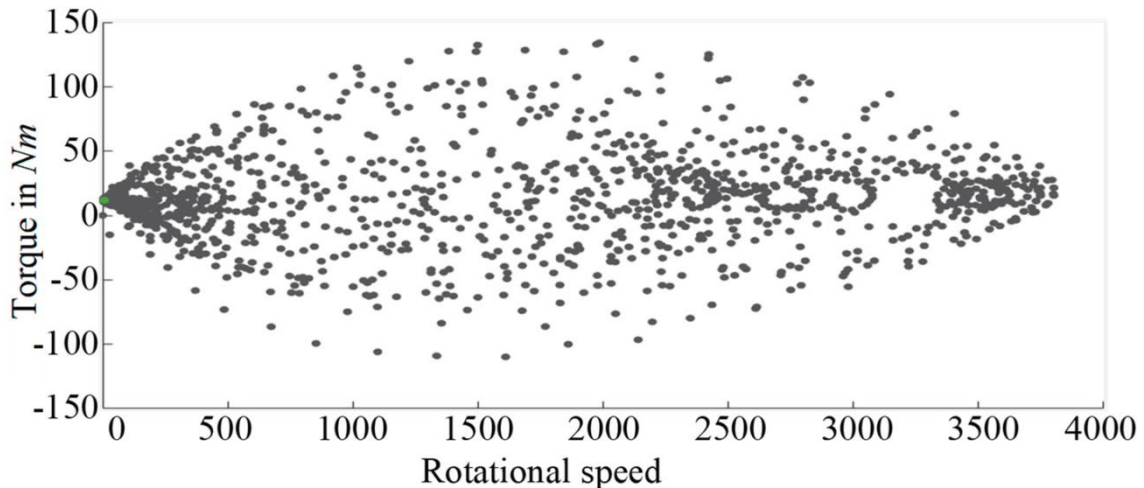


Es muy importante insistir en indicar siempre en qué condiciones o con qué ciclo homologado se ha realizado el ensayo, pues hay varios ciclos diferentes, y los consumos y autonomías que arrojan, también difieren. Por ejemplo al tomar los datos de autonomía de un coche eléctrico en Japón (ciclo de homologación JC08) se observa que es mayor que la de ese mismo coche en Europa, y en cambio si miramos los datos de EEUU (ciclo de homologación EPA) vemos que es menor que en Europa.



### Gráfica torque/velocidad: puntos de operación de acuerdo al ciclo de conducción

En función de las características del vehículo, la máquina eléctrica, las relaciones mecánicas de transmisión y la estrategia de control electrónico, se puede calcular el par y la velocidad instantáneos necesarios para el desarrollo del ciclo y obtener un mapa de los puntos de *operación del motor*. MatLab permite realizar fácilmente este tipo de graficas en los cuales los puntos se dejan como puntos desconectados entre si.

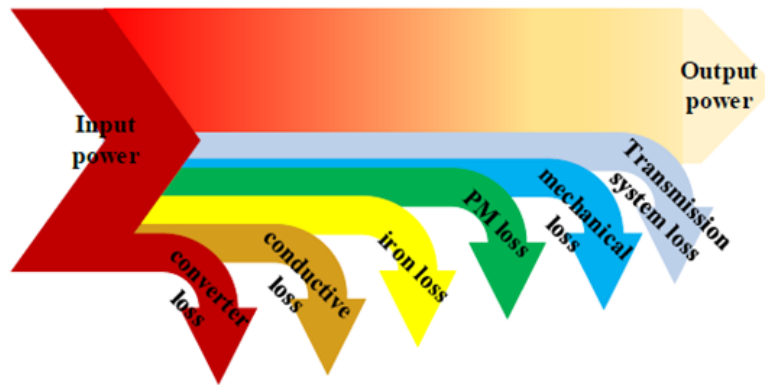


En la figura superior se representa un ejemplo de gráfico de dispersión de estos requisitos instantáneos de par y velocidad para un ciclo de conducción de ciudad, dado. La misma muestra, en este caso particular, una combinación de par alto y velocidad de rotación relativamente baja. La distribución muestra una forma elíptica, con frecuentes puntos de operación ubicados en áreas de baja velocidad de rotación y bajo torque y velocidades de rotación más altas con combinaciones de bajo torque, así como áreas intermedias de alto torque.

### Gráfica torque/velocidad: curvas de eficiencia motor-controlador

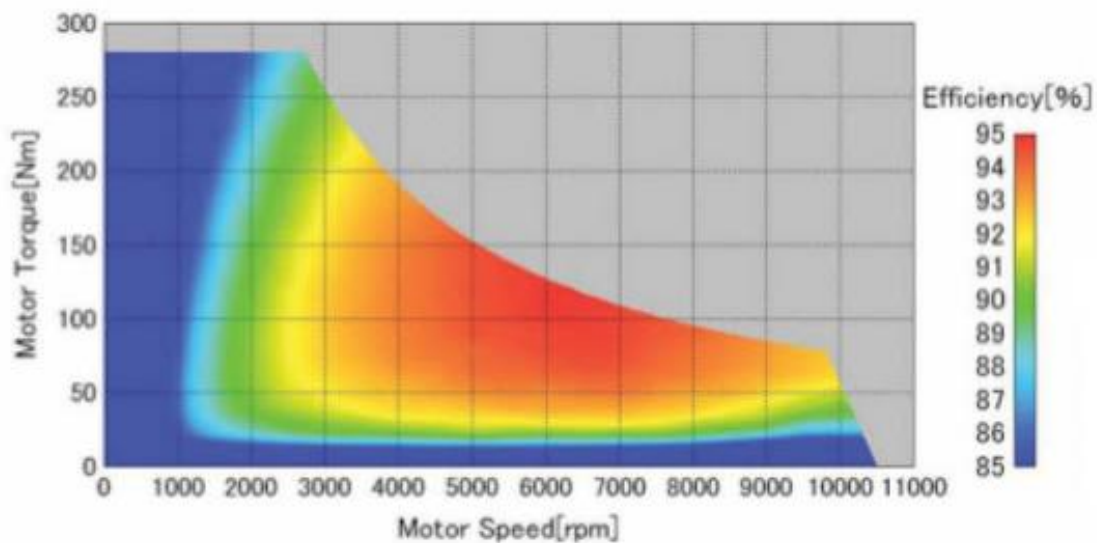
Un mapa de eficiencia de una máquina eléctrica/controlador describe las diferentes curvas o zonas de eficiencia. La misma se obtiene en función de los parámetros constructivos del motor, principalmente. La eficiencia de las máquinas eléctricas es normalmente inferior a la del inversor y muestra una mayor variabilidad con el punto de funcionamiento y el tipo de máquina.

La figura siguiente muestra las múltiples razones por las cuales la eficiencia no es constante en una máquina de tracción. La frecuencia de alimentación y la velocidad de rotación modifica de manera sustancial las pérdidas y con ello el rendimiento.



Diversos componentes de pérdida de una máquina eléctrica utilizada en el sistema de propulsión de vehículos eléctricos

Con un programa de computación adecuado es posible aplicar el modelo matemático de la máquina eléctrica/controlador para realizar una simulación digital del comportamiento del sistema ante determinadas condiciones de operación. Entonces se realizan las simulaciones en Matlab, Scilab u otro programa para conocer la potencia  $P$ , el par  $T$ , la velocidad angular  $\omega$  requeridas al motor eléctrico a partir de un rango de solicitaciones.



SAE Vehicle Electrification [evsae.com](http://www.evsae.com)

Nissan Leaf Speci

En términos generales es útil reunir todas las pérdidas diferentes en una sola ecuación que nos permita modelar y predecir las pérdidas en un motor. Cuando hacemos esto, es útil combinar los términos de las pérdidas de hierro y las pérdidas por fricción, ya que ambos son proporcionales a la velocidad del motor.

Las pérdidas totales están dadas por:

$$P_{\text{perdidas}} = k_c T^2 + k_i \omega + k_w \omega^3 + C$$

Donde: el primer término son las pérdidas en el cobre, el segundo las pérdidas en el hierro, el tercero las pérdidas por ventilación y el último las pérdidas del circuito de control electrónico que se considera constantes (comparativamente)

En el término  $KcT^2$  la corriente es proporcional al par  $T$  proporcionado por el motor y  $k_c$  es una constante que depende de las resistencias y también del flujo magnético.

La eficiencia encontrada en cada punto del gráfico anterior se obtiene aplicando en cada uno de ellos:

$$\text{eff en dicho punto} = P_{\text{salida mecánica}} / P_{\text{eléctrica entrada}}$$

$$\text{eff en dicho punto} = P_{\text{salida mecánica}} / (P_{\text{salida mecánica}} + P_{\text{pérdidas}})$$

### **En resumen**

Del mapeo de los puntos de operación del motor en función del ciclo de conducción se obtienen datos que deben compararse cuidadosamente con el mapa de eficiencia del motor. De manera de cotejar en que región el motor opera con más frecuencia (dato que se obtiene del gráfico *puntos de operación de acuerdo al ciclo de conducción*) y cual es la eficiencia en esos puntos (datos que se obtienen de las *curvas de eficiencia motor-controlador*). En consecuencia, para mejorar la eficiencia de un vehículo para un determinado ciclo de conducción, la máxima eficiencia del motor debe diseñarse para cubrir su área de trabajo habitual.

Si se da el caso que el motor opera lejos de esos puntos definidos por el ciclo de conducción, con mayor eficiencia, implica que el motor no se adapta bien a este ciclo de conducción en particular y por lo tanto hay que elegir otro motor/controlador.

Y obviamente si se da la inversa, confirma la efectividad del conjunto motor/inverter.

Se ha analizado con un ejemplo genérico que la simulación por computadora del vehículo es de vital importancia en el diseño, ya que permite al desarrollador comprobar diferentes opciones de diseño muy rápidamente y prácticamente sin costo alguno.

### **Bibliografía:**

Larminie, J., & Lowry, J. *Electric Vehicle Technology Explained*

John Wiley and Sons.

<https://la.mathworks.com/>

Hussain, I. *Electric and Hybrid Vehicles design fundamentals*

Ing. Ricardo Berizzo

Cátedra: Movilidad Eléctrica

U.T.N. Regional Rosario

2022.-