



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Análisis numérico para el dimensionamiento de un vehículo híbrido

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

José Miguel Hernández Salgado

DIRECTOR(A) DE TESIS

M.I. Mariano García del Gallego



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Nomenclatura

$m_{vehículo}$ = masa del vehículo (sin pasajero)

$m_{pasajero}$ = masa del pasajero

F_t = Fuerza de tracción

m_v = Masa del vehículo (incluyendo pasajero)

f_m = Factor de masa

F_{rr} = Fuerza de resistencia a la rodadura

F_a = Fuerza de arrastre aerodinámico

W = Peso del vehículo

f_r = Coeficiente de resistencia a la rodadura

v = Velocidad del vehículo

C_D = Coeficiente de arrastre aerodinámico

ρ = Densidad del fluido (aire)

A = Área frontal

v_f = Velocidad del fluido

F_p = Fuerza debida a la pendiente

\dot{w}_{req} = Potencia requerida

\dot{w}_{mdme} = Potencia demandada al motor eléctrico

t_e = Tiempo esperado de aceleración

v_e = Velocidad final esperada de aceleración

v_f = Velocidad final

\bar{F}_{rr} = Promedio de la fuerza de resistencia a la rodadura

\bar{F}_a = Promedio de la fuerza de arrastre aerodinámico

n = Enésimo instante del ciclo

t_n = Tiempo del ciclo en el enésimo instante

v_{pn} = Velocidad promedio del enésimo instante

a_n = Aceleración en el enésimo instante

a_{cn} = Aceleración corregida del enésimo instante

f_{tn} = Fuerza de tracción demandada por el ciclo en el enésimo instante

$\%F_{frenado}$ = Porcentaje de la fuerza de frenado en el eje de tracción

$\dot{w}_{req n}$ = Potencia requerida en el enésimo instante

$\dot{w}_{máx}$ = Potencia máxima

ω_N = Velocidad angular del neumático

r_N = Radio del neumático

ω_m = Velocidad angular del motor eléctrico

i_g = Relación de reducción

$\dot{w}_{MCI/gen}$ = Potencia a la salida del MCI/gen

$\dot{w}_{prom-carga}$ = Potencia promedio de la carga de camino

$\dot{w}_{prom-acel}$ = Potencia promedio debida a la aceleración

η_t = Eficiencia de la transmisión

η_m = Eficiencia del motor eléctrico

k = Tiempo total en el que se cumplen las condiciones $v_{pn} > 0$ y $a_{cn} \geq 0$

j = Tiempo total en el que se cumple la condición $a_{cn} > 0$

f = Último instante del ciclo
 \dot{w}_{bat} = Potencia de las baterías
 R_{int} = Resistencia interna
 V_{bat} = Voltaje de circuito abierto de la batería
 V_{dis} = Voltaje disponible
 I_b = Corriente en la batería
 $\%regen$ = Porcentaje de regeneración
 Ah_{us} = Capacidad usada de la batería
 $\eta_{Coulomb}$ = Eficiencia de Coulomb de la batería
 EDC = Estado de carga de la batería
 $Ah_{m\acute{a}x}$ = Capacidad máxima de la batería
 CEE = Consumo específico de energía
 E_b = Energía almacenada en la batería
 d_{me} = Distancia recorrida en modo eléctrico
 rc = Rendimiento de combustible

Índice

NOMENCLATURA	I
ÍNDICE.....	III
I.- INTRODUCCIÓN	1
II .- ANTECEDENTES.....	2
II.I - PROBLEMA	7
<i>Problemas específicos.....</i>	<i>7</i>
II.II - JUSTIFICACIÓN	8
II.III - OBJETIVOS	9
<i>Objetivo general</i>	<i>9</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>9</i>
II.IV - HIPÓTESIS.....	9
1.- MARCO TEÓRICO.	11
1.1- TREN DE POTENCIA CONVENCIONAL	11
1.2- CONCEPTO DE VEHÍCULO HÍBRIDO	12
1.3- CONFIGURACIÓN HÍBRIDO SERIE	15
1.4- CONFIGURACIÓN HÍBRIDO PARALELO	17
1.4.1- <i>Acopladores mecánicos por par.....</i>	<i>17</i>
1.4.2- <i>Acopladores mecánicos por velocidad.....</i>	<i>21</i>
1.5- CONFIGURACIÓN SERIE – PARALELO.....	24
1.6 - PANORAMA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE USO URBANO	26
1.7- GRADO DE HIBRIDACIÓN	27
1.8- CICLOS DE MANEJO	29
1.9- MODELADO Y SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS	32
1.10- ENFOQUE GENERAL DE LA SIMULACIÓN “BACKWARD-FACING”	33
1.11- REPLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS	34
2.- SOLUCIÓN	35
2.1- PROCEDIMIENTO.....	35
2.2- REQUERIMIENTOS DEL VEHÍCULO	36
2.3- OBTENCIÓN DE LA CURVA DE CARGA	42
2.3.1- <i>Información general del vehículo</i>	<i>42</i>
2.3.2- <i>Fuerzas que intervienen en el movimiento del vehículo</i>	<i>44</i>
2.3.3- <i>Fuerza de resistencia a la rodadura.....</i>	<i>45</i>
2.3.4- <i>Fuerza de resistencia aerodinámica</i>	<i>47</i>
2.3.5- <i>Efecto de la pendiente</i>	<i>52</i>
2.3.6- <i>Curva de carga.....</i>	<i>52</i>
2.4- PROPUESTA DE CONFIGURACIÓN EN SERIE	53
2.4.1- <i>Dimensionamiento del motor eléctrico</i>	<i>53</i>
2.4.2- <i>Dimensionamiento del MCIR/generador</i>	<i>60</i>

2.4.3- Dimensionamiento del paquete de baterías.....	63
2.5- SIMULACIÓN DEL VEHÍCULO.....	65
2.5.1- Simulación de la batería	65
2.5.2- Estrategia de operación.....	68
2.5.3- Porcentaje de regeneración.....	69
3.- RESULTADOS.....	71
3.1- PUNTOS DE OPERACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	72
3.2- SIMULACIONES	75
3.2.1.-Simulaciones para calcular la autonomía en modo sólo eléctrico.....	76
3.2.2.-Simulaciones por ciclo durante 100 [km].....	83
3.2.3.-Simulaciones por ciclo partiendo de distintos estados iniciales de carga.....	88
3.2.4.-Simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC a distintos estados de carga	99
3.2.5.-Simulación de un ciclo de carretera.....	101
3.3- RESPUESTA A LAS PREGUNTAS DE LA SECCIÓN II.III.....	102
CONCLUSIONES.....	103
ANEXOS	107
A.3.2.1.-Gráficas de simulaciones para calcular la autonomía en modo sólo eléctrico.....	107
A.3.2.2.-Gráficas de simulaciones por ciclo durante 100 [km].....	120
A.3.2.3.-Gráficas de simulaciones por ciclo partiendo de distintos estados iniciales de carga.....	174
A.3.2.4.-Gráficas de simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC a distintos estados de carga.....	264
A.3.2.5.-Gráfica de simulación de un ciclo de carretera	273
REFERENCIAS	274

I.- Introducción

En este trabajo se realizó el análisis numérico para el dimensionamiento de los componentes de los trenes de potencia de un vehículo híbrido serie para uso urbano, el análisis se realizó a partir de la información obtenida previamente en cuatro ciclos de manejo de la Ciudad de México y tres ciclos estandarizados, dicha información se relacionó por medio de una hoja de cálculo electrónica con la curva de carga y estrategia de operación del vehículo. El objetivo principal de este análisis es obtener las características de los componentes del tren de potencia y una estimación del rendimiento del combustible del vehículo. Actualmente existe software capaz de realizar análisis similares pero se optó por desarrollar uno propio en el que se tuviera la libertad manipular la información de entrada y enfocarnos en los resultados de nuestro interés, además de que desarrollando uno propio se conocen perfectamente las consideraciones realizadas en los cálculos. El trabajo se divide en cinco partes que se describen brevemente a continuación.

En la sección II se muestran los antecedentes, se explica la importancia del tema, se plantea el problema de manera general y los problemas específicos. Se realizó una justificación de la importancia de estudio, con base en esto se plantean los objetivos, las preguntas de investigación y la hipótesis.

En el capítulo uno se desarrolla el marco teórico, en este se explican los conceptos necesarios para la comprensión de este trabajo, se muestra un resumen de los vehículos eléctricos biplaza existentes. Una vez que se tiene un panorama más amplio sobre el tema, se replantea la hipótesis de la sección II.IV

La solución del problema se encuentra en el capítulo dos, al principio del capítulo se describe de manera muy general el procedimiento utilizado en la solución del problema. Se plantean los requerimientos del vehículo, se calculan las resistencias al movimiento y se obtiene la curva de carga. Con base en esta curva de carga y los ciclos de manejo se analizan los requerimientos de potencia para dimensionar el motor eléctrico y el motor de combustión interna/generador. Posteriormente se realiza una simulación de los estados de carga de la batería a través de los ciclos de manejo para obtener el tiempo en el que el motor de combustión permanece encendido y con base en esto calcular el consumo de combustible.

En el capítulo tres se muestran los resultados, se verifica que los componentes seleccionados sean capaces de satisfacer los ciclos de manejo urbanos, también se analiza un ciclo de carretera y se responden las preguntas de investigación de la sección II. En la sección posterior al capítulo tres se muestran las conclusiones del trabajo.

II.- Antecedentes

En años recientes, las emisiones de gases de efecto invernadero y el agotamiento de fuentes de energía no renovables se han convertido en un problema global serio. Kamil, Mehmet y Ahmet (2010) señalan que para evitar un cambio climático que resulte catastrófico, las emisiones de gases de efecto invernadero del año 2010 deben reducirse 50% para el 2050. Amjad (2009) afirma que el sector de transporte es el consumidor de energía que crece más rápidamente, consumiendo 49% de las fuentes de petróleo.

Se sabe que con el progreso de países en desarrollo, el consumo y por lo tanto la producción de petróleo deben incrementar anualmente para satisfacer las demandas de los países desarrollados y en desarrollo. El consumo incrementa en gigantescas proporciones con el rápido desarrollo de países grandes y poblados, particularmente en la región de Asia – Pacífico.

A pesar de la reducción en el consumo de petróleo en el este de Europa, la tendencia mundial muestra incrementos como se muestra en la siguiente gráfica, figura II.I

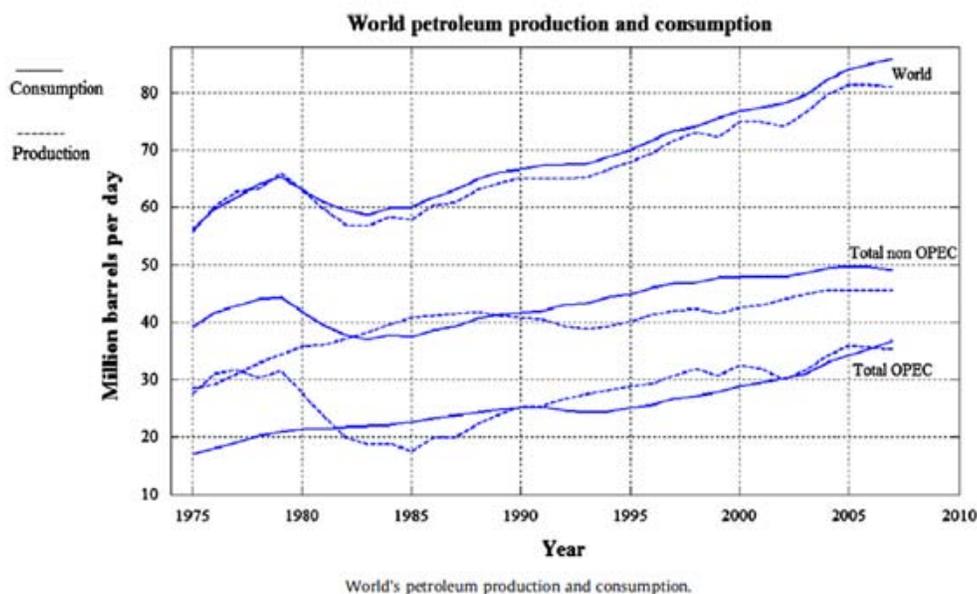


Figura II.I- Producción y consumo mundial de petróleo. [12, p. 1,306]

El tiempo que la tierra pueda proporcionar el suministro de petróleo depende completamente de los descubrimientos de nuevas reservas de petróleo así como también del consumo. Datos históricos muestran que el descubrimiento de nuevos yacimientos de petróleo crecen lentamente mientras que por otro lado el consumo muestra un gran crecimiento. Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S., Emadi, A., (2005) mencionan que si el descubrimiento de nuevos yacimientos y el consumo siguen las tendencias

Antecedentes

actuales, las fuentes mundiales actuales de petróleo se agotarán aproximadamente en el año 2038. En la figura II.II se pueden observar las tendencias.

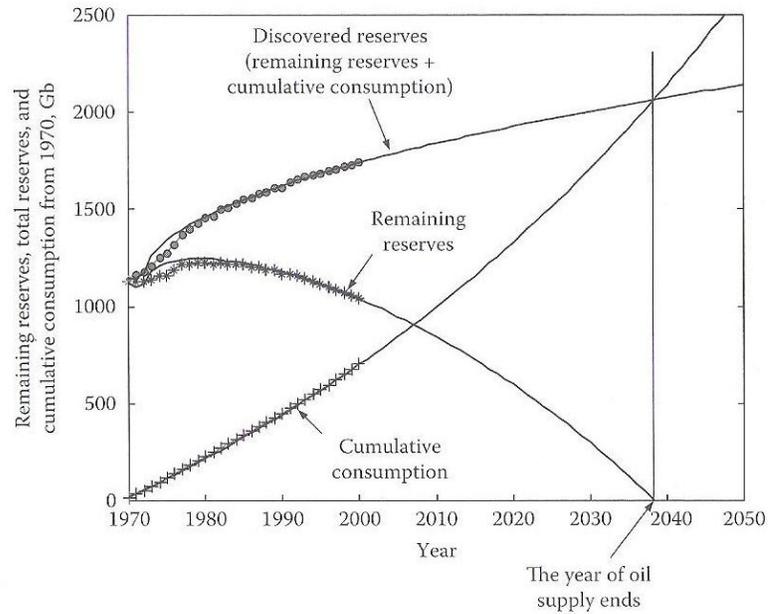


Figura II.II- Descubrimiento de petróleo, reservas restantes, y consumo acumulado a nivel mundial. [5, p. 10]

Cada vez es más difícil encontrar nuevas reservas de petróleo, el costo de exploración y explotación de yacimientos se torna cada vez más y más caro. Se cree que el escenario de suministro de petróleo no cambiará mucho si la velocidad de consumo no se reduce considerablemente.

Los países en desarrollo incrementan rápidamente su sector de transporte, estos países representan una gran parte de la población mundial y como se observa en la siguiente gráfica, Figura II.III, las emisiones de dióxido de carbono generadas por el sector del transporte representaron aproximadamente una tercera parte del total de emisiones en el periodo de 1980 -1999. Los patrones de consumo de países industrializados y en desarrollo son bastante diferentes pero en ambos se observa una clara tendencia de aumento en el sector de nuestro interés, figura II.IV.

Antecedentes

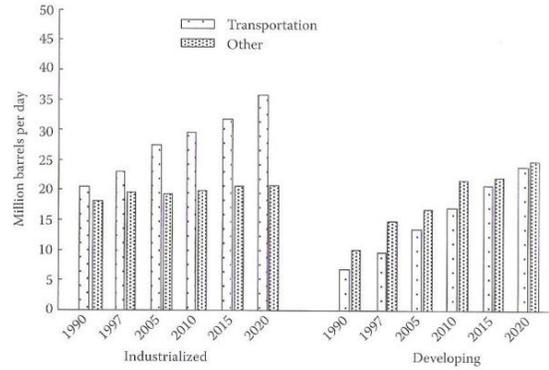
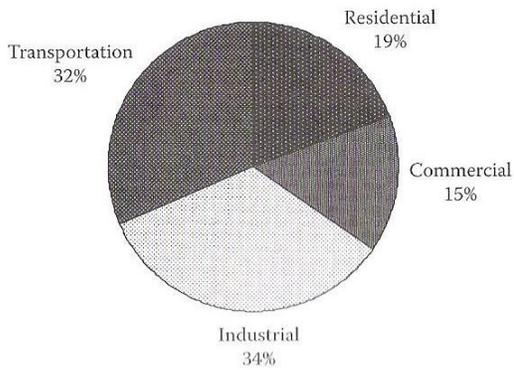


FIGURE 1.7 World oil consumption in transportation and others.

Figura II.III- Sectores de consumo. [5, p.5]

Figura II.IV- Consumo mundial en transporte y otros. [5, p.10]

De acuerdo a datos del INEGI, en México también se observa una tendencia a incrementar el número de vehículos de motor en circulación, la clase y el uso que representan mayoría son automóviles y particular respectivamente.

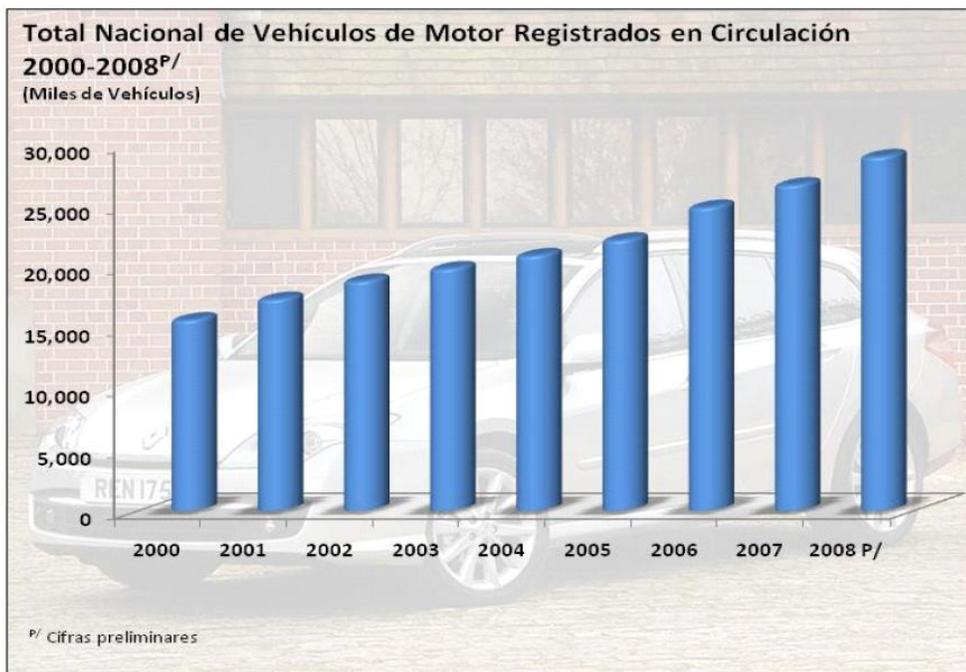


Figura II.V- Total de vehículos de motor registrados en circulación. 2000 – 2008. [10, p.14]

Antecedentes

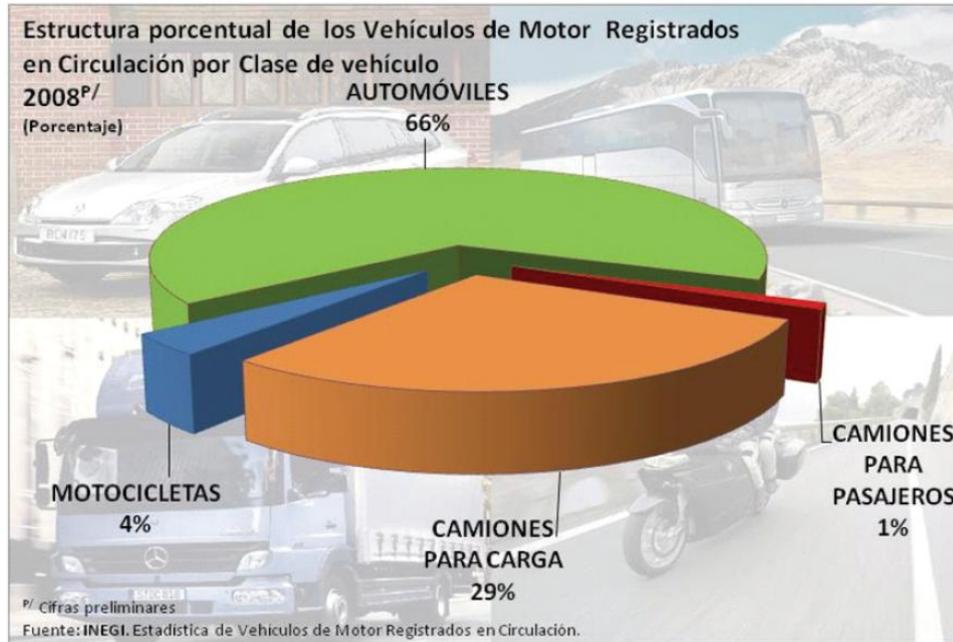


Figura II.VI- Estructura porcentual de los vehículos de motor registrados en circulación por clase de vehículo. [10, p.15]

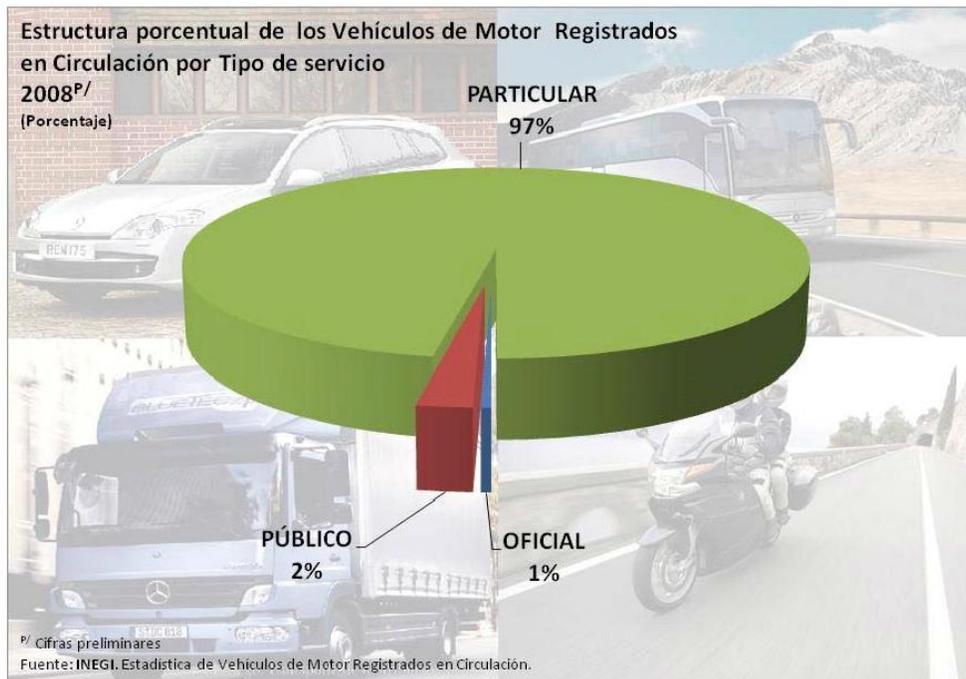


Figura II.VII- Estructura porcentual de los vehículos de motor registrados en circulación por tipo de servicio. [10, p.15]

Antecedentes

En resumen, el suministro de petróleo está próximo a agotarse y es necesario disminuir su consumo para modificar esta tendencia, para lograr esto debemos enfocarnos en el sector de transporte, más específicamente en el transporte particular ya que representa casi el total del tipo de servicio en la Ciudad de México.

Puesto que se quiere estudiar el transporte particular, a lo largo de este trabajo la atención se centrará en los vehículos híbridos, debido a que este tipo de vehículos presentan un alto rendimiento de combustible y están basados en tecnologías actuales suficientemente desarrolladas, de esta manera se buscará reducir el consumo de combustible de los vehículos para uso urbano.

II.1 - Problema

El decremento de fuentes de energía de combustibles fósiles y el incremento de emisiones contaminantes a la atmósfera generan la necesidad de crear sistemas de transporte que partan de la filosofía de fuentes de energía renovables además de aprovechar al máximo los recursos energéticos con los que se cuentan sin importar si son renovables o no.

En general los vehículos convencionales de hoy en día no aprovechan eficientemente la energía cuando se encuentran inmersos en congestionamientos viales, el motor, que generalmente es un *motor de combustión interna reciprocante (MCIR)*, siempre se encuentra funcionando sin importar si la potencia generada se aprovecha o no, las condiciones de manejo fluctuantes ocasionan que el MCIR no opere en las condiciones de máxima eficiencia, en conclusión los trenes de potencia son poco flexibles y además no tienen la capacidad de recuperación de energía.

Para proporcionar una buena aceleración y capacidad de pendiente con un número limitado de cambios, el MCIR debía sobredimensionarse alrededor de 10 veces de lo necesario para poder llegar a una velocidad crucero de 95 [Km/h] en un cierto tiempo y alrededor de 3 ó 4 veces para mantener los 95 [Km/h] a una pendiente de 6%. Debido a la naturaleza de los MCIR es imposible optimizarlos para todas las condiciones de velocidad y par necesarias en uso urbano.

Por otro lado, es muy común observar en las calles que vehículos de uso particular con capacidades para transportar 5 – 7 pasajeros son utilizados por hasta una o dos personas, lo que ocasiona un desaprovechamiento del espacio y energía necesaria para mover lo que en realidad se requiere además de que muchas veces los espacios de estacionamiento son escasos. Otro aspecto importante es que los materiales utilizados en la manufactura de los vehículos convencionales generalmente son pesados.

En respuesta a estos inconvenientes, principalmente enfocados al uso eficiente de la energía, se han fabricado vehículos eléctricos los cuales no producen ningún gas contaminante, pero tienen la gran desventaja de tener una autonomía reducida en comparación con los vehículos a gasolina. El problema radica principalmente en las baterías ya que estas no tienen la capacidad de almacenar una gran cantidad de energía, el tiempo necesario para cargarlas, la degradación que sufren en los ciclos de carga/descarga, el peso inherente, disponibilidad de materia prima, posibles descargas de plomo hacia el medio ambiente, etc.

Problemas específicos

Se cuenta con el diseño (computacional hasta el momento) del chasis de un vehículo biplaza en el que se pretende implementar un tren de potencia híbrido para obtener un bajo consumo de combustible. Para lograr esto se requiere evaluar que tan conveniente sería implementar un tren de potencia híbrido serie a partir de la selección del motor eléctrico y el MCIR comerciales.

II.II - Justificación

Mejorar la economía de consumo de combustibles tiene un impacto crucial en el abastecimiento de petróleo, pero hay que ser conscientes del efecto social que provoca un cambio en las tendencias actuales, es claro que la dependencia de las fuentes de combustibles de petróleo tienen grandes implicaciones económicas y políticas.

Hasta ahora, las tecnologías más prometedoras son los vehículos híbridos eléctricos y los de celda de combustible. La tecnología necesaria para manufacturar en masa vehículos híbridos está suficientemente desarrollada y disponible mientras que la tecnología usada en las celdas de combustible que no producen emisiones contaminantes se encuentra en etapa de desarrollo y le tomará tiempo para solucionar las dificultades técnicas y de infraestructura para su comercialización.

Los vehículos híbridos eléctricos son un gran tema de interés debido a que son vistos como un “puente” hacia otros vehículos de fuentes de energía alternas, se espera que sean aceptados con mayor entusiasmo que los vehículos completamente eléctricos. Por mencionar algunas de las ventajas de los vehículos híbridos tenemos: bajo consumo de combustible, bajos costos de operación, poca contaminación auditiva, reducidas emisiones contaminantes, motores de combustión pequeños, largo tiempo de operación y se adaptan perfectamente a la infraestructura actual de distribución de combustible. A partir de estudios sobre vehículos híbridos eléctricos se espera que sean más populares en los próximos años gracias al desarrollo tecnológico en baterías, técnicas de control y apoyos del gobierno para propietarios y fabricantes de estos vehículos.

Los vehículos eléctricos de baterías son más adecuados para ser vehículos pequeños, de autonomía reducida, bajas velocidades de operación y transporte local; Boon, Issacs y Gupta mencionan que investigaciones en las preferencias del consumidor demuestran que existe un mercado para vehículos con autonomías menores a 240 [Km] e inclusive menores que 130 [Km]. Mientras que Silva, Ross y Farías (2009) aseguran que la distancia diaria promedio entre el hogar y el lugar de trabajo es de 30 [km] en Estados Unidos, entre 5 – 30 [km] en Europa, 20 [km] para Japón y en general, alrededor del mundo es de 20 [km].

II.III - Objetivos

Objetivo general

Realizar una propuesta de tren de potencia híbrido, para un diseño previamente existente de un vehículo biplaza y evaluar el funcionamiento de la configuración híbrido serie en condiciones de tráfico urbano. Este tren de potencia debe de tener bajo consumo de combustible partiendo de la selección de componentes en su gran mayoría comerciales y satisfacer los requerimientos de manejo urbano en la Ciudad de México.

Objetivos específicos

- Realizar un análisis numérico de la potencia demandada en los ciclos de manejo urbanos
- Especificar el motor eléctrico
- Satisfacer las demandas de manejo urbanas
- Especificar el sistema MCIR - generador
- Calcular un estimado de consumo de combustible

Preguntas a responder

¿Por qué actualmente no existe un híbrido biplaza para uso urbano que posea las características de esta propuesta?

¿Resulta conveniente disponer de una gran autonomía en vehículos de uso urbano?

¿Es conveniente utilizar la configuración de híbrido en serie para un vehículo de estas dimensiones (relación peso/potencia)?

¿Será más eficiente un vehículo eléctrico o uno híbrido en uso urbano?

II.IV - Hipótesis

Partiendo de un chasis ligero, restringiendo la misión del vehículo a uso urbano, utilizando freno regenerativo, limitando el desempeño y prescindiendo de la transmisión de varias relaciones; la configuración de híbrido en serie será capaz de satisfacer las demandas de potencia y contar con un bajo consumo de combustible en un entorno urbano.

Objetivos e hipótesis

1.- Marco teórico.

1.1- Tren de potencia convencional

Un tren de potencia se define como la combinación de una fuente de energía y el convertidor de energía o fuente de potencia por ejemplo: combustible – motor térmico, baterías – motor eléctrico, etc. Básicamente, el tren de potencia en cualquier vehículo debe satisfacer las siguientes necesidades.

1. Entregar potencia suficiente para satisfacer las demandas de desempeño del vehículo
2. Llevar suficiente energía a bordo para poder satisfacer los requerimientos de autonomía
3. Tener alta eficiencia
4. Emitir la menor cantidad de contaminantes posible

El tren de potencia convencional incluye: el tanque de combustible y el motor de combustión interna (**MCI**); estos componentes entregan potencia al tren motriz que se compone de los siguientes elementos: embrague, caja de cambios, cardán, diferencial, ejes de transmisión y las ruedas de tracción. Enseguida se muestra un esquema del ensamble de un tren de potencia y tren motriz de tracción trasera, posteriormente se describen las funciones de sus componentes.

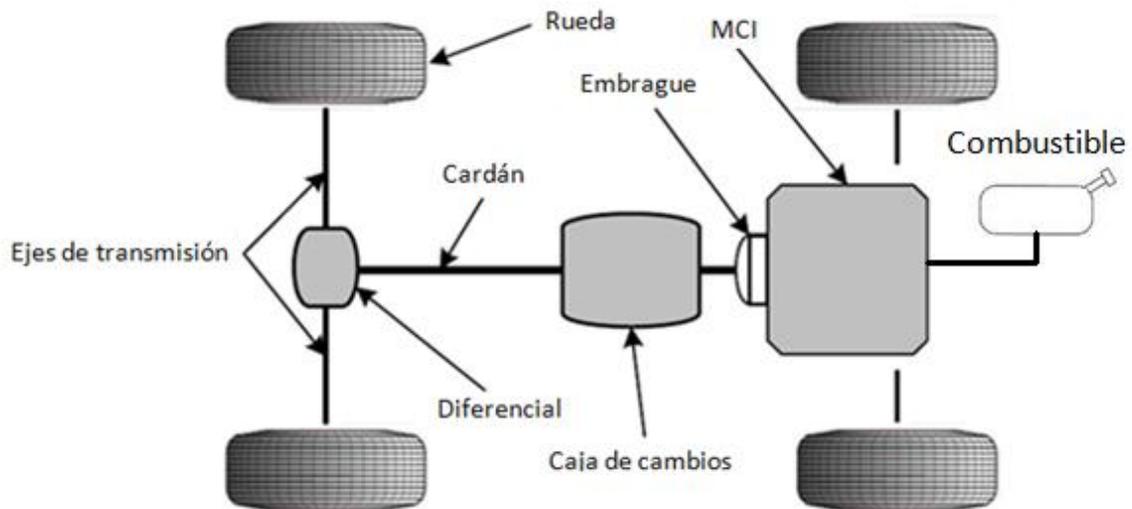


Figura 1.1 - Tren motriz convencional [Adaptado de 20, p. 174]

A grandes rasgos, cada uno de los elementos tiene las siguientes funciones:

- El tanque de combustible funciona como almacén de la fuente de energía
- El MCI es el convertidor de energía o la fuente de potencia
- El embrague conecta y desconecta el MCIR del resto del tren motriz cuando el vehículo cuenta con transmisión manual
- La caja de cambios se utiliza para cambiar la relación de transmisión entre el motor y las ruedas
- El cardán conecta la caja de velocidades al diferencial, este no existe en vehículos con motor al frente y tracción delantera y en vehículos con motor atrás y tracción trasera. En este tipo de vehículos que no cuentan con cardán el diferencial es integrado en la caja de cambios en una unidad llamada transeje
- El diferencial es una transmisión que permite mover las ruedas a diferentes velocidades para tomar curvas en el camino
- Los ejes de transmisión conectan el diferencial con las ruedas
- Finalmente, las ruedas transforman el par del motor en fuerza de tracción sobre el camino

El tren de potencia convencional tiene un buen desempeño y una gran autonomía al utilizar la gran densidad energética de los combustibles de origen fósil. Sin embargo estos vehículos tienen desventajas como:

- Discrepancia entre las condiciones de eficiencia óptima de uso combustible y los requerimientos de operación reales
- La disipación de la energía cinética durante el frenado especialmente en áreas urbanas
- Baja eficiencia de las transmisiones automáticas en condiciones de paro – arranque

1.2- Concepto de vehículo híbrido

Un vehículo puede tener más de un tren de potencia, entonces; un vehículo que cuenta con dos o más trenes de potencia (a partir de fuentes de energía por ejemplo: electricidad o combustible) es llamado vehículo híbrido. Normalmente en estos vehículos uno de los trenes de potencia permite el flujo bidireccional de energía mientras que el otro tren de potencia puede ser de flujo de energía unidireccional o bidireccional. A partir de aquí, se le llamara *tren de potencia híbrido* al conjunto de trenes de potencia que integren el vehículo híbrido.

El tren de potencia de un vehículo híbrido normalmente consiste en no más de dos trenes de potencia ya que más de dos trenes de potencia harían al tren de potencia híbrido muy complicado de controlar, empaquetar y muy probablemente pesado. La siguiente figura muestra el concepto de un tren de potencia híbrido y los posibles flujos de energía.

Capítulo 1

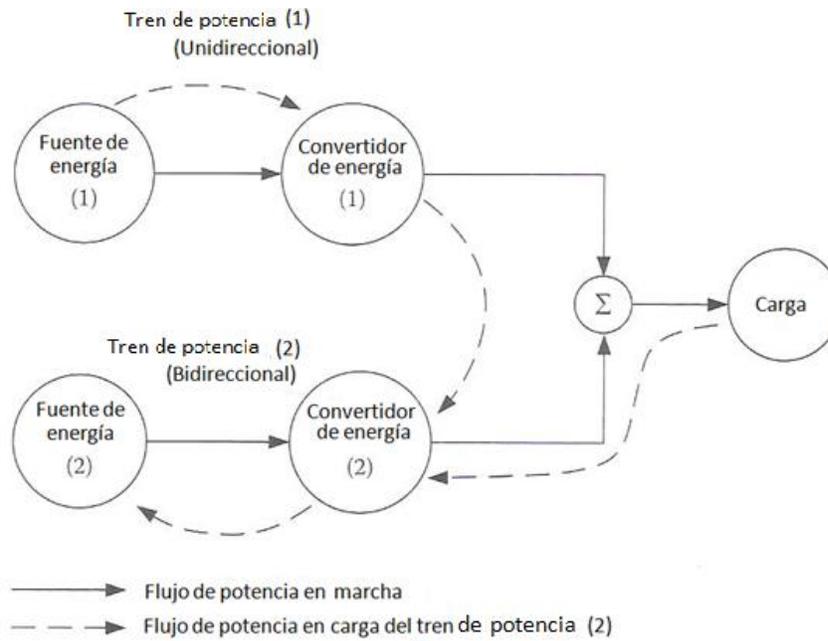


Figura 1.2 - Concepto del tren de potencia de un vehículo híbrido. [Adaptado de 5, p.118]

Existen varios patrones de operación de los trenes de potencia para satisfacer los requerimientos de la carga:

1. Sólo el tren de potencia 1 suministra potencia a la carga
2. Sólo el tren de potencia 2 suministra potencia a la carga
3. Ambos trenes suministran potencia a la carga simultáneamente
4. El tren de potencia 2 obtiene potencia de la carga (freno regenerativo)
5. El tren de potencia 2 obtiene potencia del tren de potencia 1
6. El tren de potencia 2 obtiene potencia del tren de potencia 1 y de la carga simultáneamente
7. El tren de potencia 1 entrega potencia a la carga y al tren de potencia 2 simultáneamente
8. El tren de potencia 1 entrega potencia al tren de potencia 2 y este a su vez entrega potencia a la carga
9. El tren de potencia 1 entrega potencia a la carga y la carga (el camino) entrega la potencia al tren de potencia 2

En el caso de hibridación utilizando *combustible - MCIR* como tren de potencia 1 y *baterías -motor eléctrico* como tren de potencia 2, los patrones mencionados anteriormente funcionarían de la siguiente manera:

1. Sólo el MCIR entrega potencia. Este modo puede ser usado cuando las baterías están casi descargadas por completo y al MCIR no le queda potencia suficiente para cargar las baterías o cuando las baterías están completamente cargadas y el MCIR está disponible para suministrar potencia suficiente para satisfacer las demandas de potencia del vehículo.

Marco teórico

2. Modo sólo eléctrico. Este modo puede ser usado en situaciones donde *el MCRI no pueda operar de manera óptima, por ejemplo a velocidades muy bajas* o en zonas en donde la emisión de contaminantes están estrictamente prohibidas.
3. Modo de tracción híbrida y puede ser usado cuando se requiere de una gran potencia, por ejemplo durante una aceleración repentina o en una pendiente muy inclinada.
4. Modo de freno regenerativo en el cual la energía cinética del vehículo es recuperada a través del motor eléctrico que funciona como generador. La energía recuperada se almacena en las baterías para ser usada después.
5. Modo en el que el MCIR carga las baterías mientras el vehículo está detenido, en punto muerto o descendiendo una pendiente ligera, en este modo la potencia no se suministra ni se obtiene de la carga.
6. En este modo el freno regenerativo y el MCIR cargan las baterías simultáneamente.
7. En este modo el MCIR mueve el vehículo y carga las baterías simultáneamente
8. En este modo el MCIR carga las baterías y a su vez las baterías suministran potencia a la carga
9. En este modo la potencia del MCIR fluye hacia las ruedas del eje trasero o delantero para mover al vehículo y parte de esa potencia se transmite a través del camino hasta llegar al eje delantero o trasero para almacenar parte de la potencia total suministrada por el MCIR. La configuración típica de este modo es que los dos tren motriz están separados colocados en los ejes delantero y trasero del vehículo.

La variedad en los modos de operación en un vehículo híbrido ofrecen mayor flexibilidad respecto a los vehículos con un solo tren de potencia. Con una configuración y control adecuados y al aplicar un modo de operación se puede optimizar potencialmente el desempeño general, eficiencia y emisiones. Sin embargo en un diseño práctico, decidir cual modo deberá ser implementado depende de muchos factores como el empaquetamiento de la configuración, las características de eficiencia, características de la carga, etc.

La arquitectura de un vehículo híbrido se define como la conexión entre los componentes que definen el flujo de energía. Normalmente los vehículos híbridos eléctricos eran clasificados dentro de dos tipos básicos: serie y paralelo, pero a partir del año 2000 surgieron nuevos vehículos híbridos eléctricos que no podían clasificarse dentro de esos dos tipos; desde entonces los vehículos híbridos eléctricos son clasificados dentro de cuatro tipos: serie, paralelo, serie – paralelo y por ultimo híbrido complejo. A continuación se describen los primeros tres tipos de configuraciones.

1.3- Configuración híbrido serie

Un tren de potencia híbrido en serie es un tren de potencia en el cual dos fuentes de potencia eléctrica (generador y baterías) alimentan a una única planta de potencia (motor eléctrico) que mueve al vehículo; de manera más simple, un vehículo híbrido en serie es aquel en el que sólo un convertidor de energía puede entregar potencia a las ruedas motrices. La configuración más utilizada es la que se muestra en la figura 1.3. La fuente de energía unidireccional es el tanque de combustible y el convertidor unidireccional de energía (planta de potencia) es el MCIR acoplado a un generador eléctrico. La salida del generador eléctrico es conectada a un rectificador. La fuente de energía bidireccional es un paquete de baterías conectado a un controlador de potencia bidireccional. El motor de tracción puede ser controlado como motor o como generador y también se puede controlar la dirección de giro. Los vehículos híbridos en serie surgieron a partir de los vehículos eléctricos en los que se agrega un MCIR para aumentar la autonomía que anteriormente estaba limitada por la baja densidad energética de las baterías.

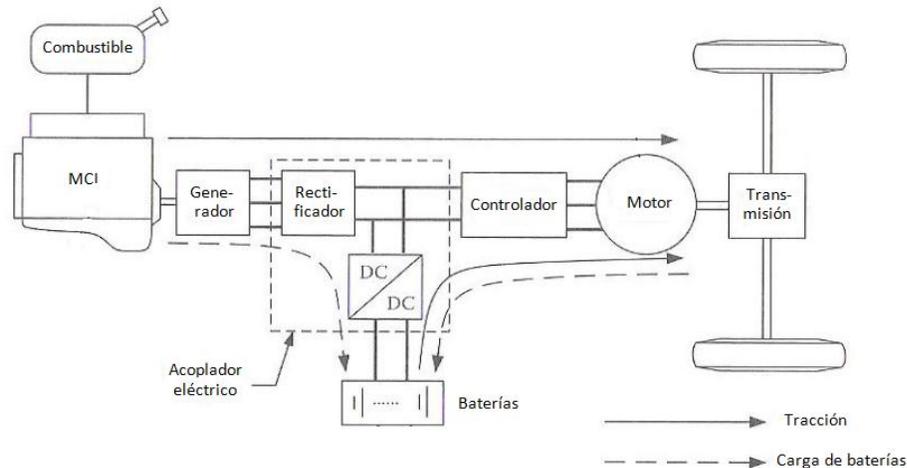


Figura 1.3 - Configuración de un tren de potencia híbrido en serie. [Adaptado de 5, p.122]

El tren de potencia requiere de un controlador para regular el flujo de potencia basado en las demandas del conductor a través de los pedales de acelerador, freno y otros sensores.

El controlador del vehículo controla el MCIR a través del régimen de giro, el acoplador eléctrico y el motor de tracción para producir el par o el freno regenerativo demandado, esto se lleva a cabo en alguno de los siguientes modos de operación.

1. *Tracción sólo eléctrica.* El MCIR se encuentra apagado y el vehículo es propulsado sólo por las baterías
2. *Tracción sólo con el MCIR.* La potencia de tracción del vehículo proviene sólo del MCIR – generador, mientras que las baterías no suministran ni reciben potencia del tren motriz. Las maquinas eléctricas sirven como transmisión eléctrica desde el MCIR hacia las ruedas de tracción.

Marco teórico

3. *Tracción híbrida*. La potencia de tracción es tomada de ambas fuentes; el MCIR – generador y las baterías, fusionándose en el acoplador eléctrico.
4. *Tracción con el MCIR y carga de baterías*. El MCIR – generador suministra potencia para cargar baterías y para propulsar el vehículo simultáneamente. La potencia del MCIR – generador se envía al acoplador eléctrico.
5. *Freno regenerativo*. El MCIR – generador están apagados y el motor de tracción es operado como generador que obtiene al recuperar la energía cinética del vehículo. La potencia generada es usada para cargar las baterías y ser reusada posteriormente.
6. *Carga de baterías*. El motor de tracción no recibe potencia y el MCIR – generador es operado sólo para cargar las baterías.
7. *Carga de baterías híbrida*. El MCIR – generador y el motor de tracción opera como generador en el frenado para que ambos carguen las baterías.

Los trenes de potencia híbridos en serie tienen ventajas como:

1.- No existe conexión mecánica entre el MCIR y las ruedas de propulsión, debido a esto, el MCIR puede ser operado en cualquier punto. Esto resulta una gran ventaja ya que permite que el MCIR opere siempre dentro de su región de máxima eficiencia.

La eficiencia y cantidad de emisiones del MCIR pueden mejorarse al usar algún diseño especial y estrategias de control ya que es mucho más fácil realizar estas mejoras solo en una zona de operación que en todo el rango de operación.

2.- Debido a que los motores eléctricos tienen una curva de par – velocidad muy similar a la curva de tracción es posible prescindir de la transmisión; lo que simplifica considerablemente la estructura del tren motriz. Además, se pueden usar dos motores, uno en cada lado, para no tener la necesidad de instalar un diferencial.

3.- La estrategia de control puede ser simple comparada con otras configuraciones

Sin embargo los vehículos híbridos en serie tienen algunas desventajas como:

1. La energía proveniente del MCIR cambia su forma dos veces hasta alcanzar su destino, las ruedas motrices. Las eficiencias del generador y del motor eléctrico de tracción pueden causar pérdidas significativas
2. El generador agrega peso y costo adicional
3. Debido a que el motor eléctrico de tracción es la única planta de potencia que mueve al vehículo, debe producir suficiente potencia para un buen desempeño de aceleración y al subir pendientes

Fuhs (2009) menciona que la configuración en serie se encuentra principalmente en grandes vehículos (con potencias mayores a 150 [kW]) como grandes camiones o locomotoras debido a que este tipo de vehículos son poco sensibles al aumento de peso de los componentes que los integran. Esta configuración es adecuada para vehículos que transitan en rutas fijas de tal manera que la configuración se puede optimizar para el ciclo de manejo que se desempeña en tal ruta. Por otro

lado, es más complicado implementar esta configuración en vehículos de pasajeros debido a que se agrega peso debido al sistema MCIR –generador, el motor/generador de tracción/freno regenerativo y el almacenamiento de energía.

1.4- Configuración híbrido paralelo

Un tren motriz híbrido paralelo es aquel en el que más de un dispositivo de conversión de energía puede entregar potencia a las ruedas motrices, los dispositivos de conversión de energía se conectan a un acoplador mecánico en el que las potencias se conjuntan. Generalmente en este tipo de tren motriz el MCIR suministra potencia mecánica directamente a las ruedas motrices de manera similar que un vehículo convencional. El MCIR es asistido por un motor eléctrico que esta acoplado mecánicamente al tren motriz. Todos los modos de operación mencionados en el tren motriz híbrido serie son efectivos. Las mayores ventajas del tren motriz híbrido paralelo sobre la configuración en serie son las siguientes:

1. El motor eléctrico y el MCIR suministran par a las ruedas motrices y por lo tanto no ocurren transformaciones de energía, debido a esto las pérdidas de cambio de energía pueden ser menores.
2. Es compacto porque no es necesario utilizar un generador adicional y el motor eléctrico es más pequeño que en la configuración en serie.

La mayor desventaja es que el acoplamiento mecánico entre el MCIR y las ruedas motrices no siempre permiten que el MCIR opere siempre en su región de máxima eficiencia.

En los vehículos híbridos con configuración en paralelo poseen transmisiones que pueden ser acopladores de par o de velocidad, a continuación se describen las configuraciones más comunes de estos sistemas.

1.4.1- Acopladores mecánicos por par

Los acopladores mecánicos de par pueden ser usados en vehículos híbridos en paralelo con varias configuraciones que pueden consistir en uno o dos ejes. En cada configuración la transmisión puede ser ubicada en diferentes posiciones con diferentes relaciones de transmisión, de esta manera se obtienen varias características de tracción.

En la siguiente figura se muestra una configuración de dos ejes y dos transmisiones, una de ellas se encuentra ubicada entre el MCIR y el acoplador de par y la otra entre el motor eléctrico y el acoplador de par. Ambas transmisiones pueden ser de una o varias velocidades. Las transmisiones de varias velocidades generan varias curvas de tracción, debido a esto el desempeño y la eficiencia global del tren motriz puede ser mejor que en otros diseños porque se tienen mayores posibilidades de operar

Marco teórico

el MCIR, el motor eléctrico y las baterías en su región de óptimo funcionamiento. Este diseño también es flexible con las características del MCIR.

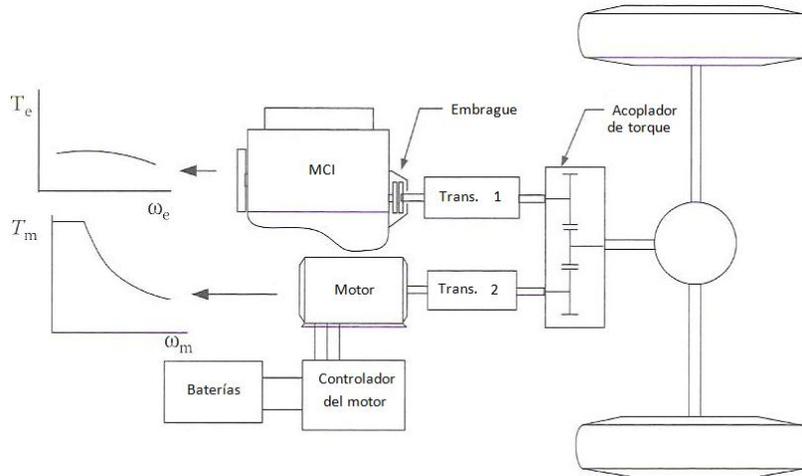


Figura 1.4 - Configuración de dos ejes y dos transmisiones. [Adaptado de 5, p.126]

Ambas transmisiones deben ser seleccionadas a partir de las condiciones de manejo a las que estará sometido el vehículo, los requerimientos de desempeño, el tamaño de los componentes y condiciones de empaquetamiento. Al usar estas transmisiones con varias relaciones de transmisión se obtiene una mayor flexibilidad de operar los motores en sus zonas de mejor eficiencia pero esto generaría una mayor complejidad del sistema y del control necesario para su operación.

Otra configuración de híbrido paralelo de dos ejes se muestra en la siguiente figura, en esta configuración la transmisión se encuentra entre el acoplador de par y el cardán. La transmisión amplifica el par proveniente del MCIR y el motor eléctrico en la misma relación. El diseño de la relación de transmisión en el acoplador de par permite que el motor eléctrico y el MCIR alcancen su máxima velocidad al mismo tiempo. Esta configuración es apropiada cuando se utilizan un MCIR y motor eléctrico relativamente pequeños y la transmisión tiene que amplificar el par para satisfacer las cargas a bajas velocidades.

Capítulo 1

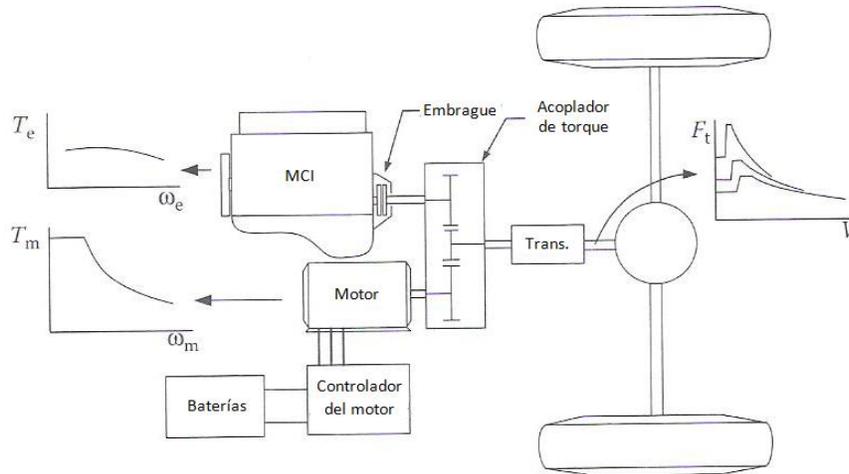


Figura 1.5 - Configuración de dos ejes y una transmisión. [Adaptado de 5, p.127]

La configuración más simple de un híbrido paralelo con acoplamiento por par es la configuración de un solo eje, en donde el rotor del motor eléctrico funciona como acoplador de par. El motor eléctrico puede ser localizado ya sea entre el MCIR y la transmisión o entre la transmisión y el cardán como se muestra en la figura 1.6.

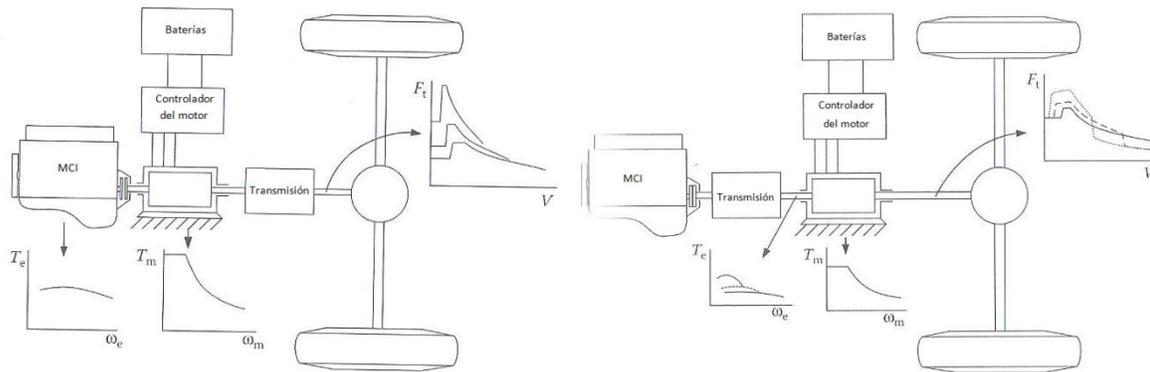


Figura 1.6 - Configuraciones de un solo eje. [Adaptado de 5, p.128 y 129]

En la configuración MCI – motor eléctrico – transmisión los pares del MCI y el motor son modificados por la transmisión. Sin embargo, el MCI y el motor eléctrico necesariamente deben girar a la misma velocidad. Esta configuración se utiliza normalmente cuando el motor eléctrico es pequeño, en este caso el motor eléctrico realiza las siguientes funciones: asistir al arranque, generador de electricidad y freno regenerativo.

En la configuración MCI – transmisión – motor eléctrico la transmisión modifica el par del MCI mientras que el motor eléctrico entrega directamente su par al cardán sin modificaciones. Esta configuración puede ser usada cuando se utiliza un motor eléctrico grande con una amplia región de potencia constante. La transmisión solo se usa para cambiar los puntos de operación y mejorar el desempeño y eficiencia del MCI.

Marco teórico

Es importante dejar en claro que las baterías no pueden ser cargadas por el MCIR cuando el vehículo está detenido debido a que el eje del motor eléctrico está unido rígidamente al cardán.

Otra configuración de acoplamiento de par en un híbrido paralelo es la de ejes independientes en la cual un eje es accionado por el MCIR y el otro eje por el motor eléctrico como se muestra en la figura 1.7.

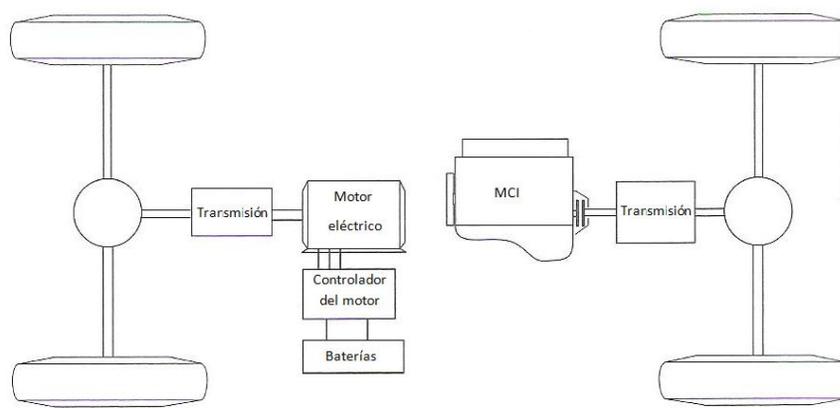


Figura 1.7 - Configuración de ejes independientes. [Adaptado de 5, p.129]

La potencia producida por los dos trenes de potencia se suma a través del chasis y el camino.

El principio de operación es similar a la configuración con dos ejes y dos transmisiones. Las transmisiones utilizadas en el motor eléctrico y el MCI pueden ser de una o más velocidades, la configuración de ejes independientes ofrece algunas de las ventajas de un vehículo convencional ya que conserva el MCI con su transmisión sin alteraciones y sólo aumenta un sistema de tracción eléctrica en el otro eje.

De esta manera el vehículo es de tracción en las cuatro ruedas lo que mejora la tracción en caminos con poca adherencia y reduce la carga de tracción en cada rueda.

Sin embargo, las máquinas eléctricas y el uso de un diferencial ocuparían mucho espacio y podrían reducir el espacio disponible para pasajeros y cajuela, este problema puede ser resuelto si la transmisión del motor eléctrico es de una sola velocidad y si en vez de utilizar sólo un motor eléctrico se utilizan dos de la mitad de su tamaño. Es muy importante aclarar que no es posible cargar las baterías usando el MCIR cuando el vehículo esté detenido.

1.4.2- Acopladores mecánicos por velocidad

Las potencias producidas por los dos trenes de potencia se acoplan en un dispositivo que suma las velocidades de ambas entradas. El dispositivo de acoplamiento es un dispositivo mecánico de tres puertos y dos grados de libertad. El puerto 1 con flujo unidireccional de energía puede ser conectado al MCIR y los puertos 2 y 3 ambos con flujo bidireccional de energía pueden conectarse al motor eléctrico y a la carga.

Un dispositivo típico de acoplamiento se muestra en la figura 1.8.

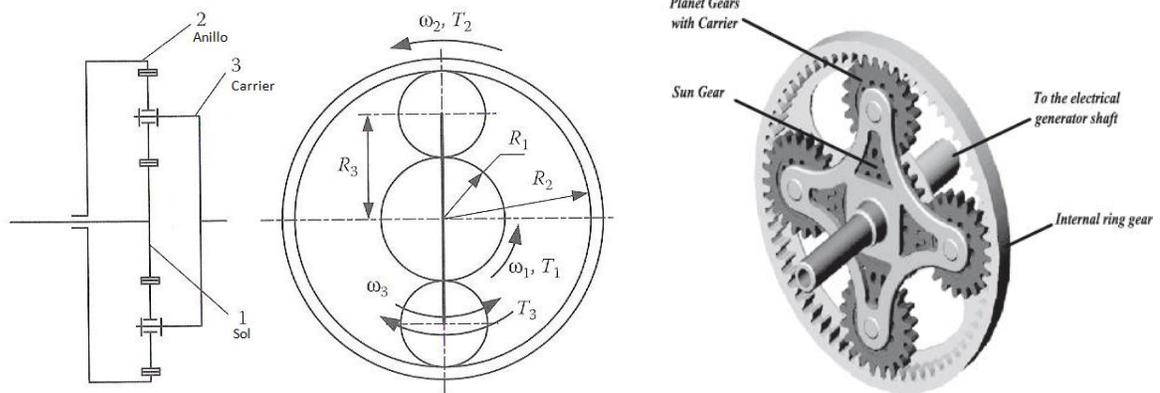


Figura 1.8 - Dispositivo planetario de acoplamiento. [Adaptado de 5, p.131]

Configuraciones de vehículos híbridos con acoplamiento por velocidad

De manera similar al acoplamiento por par los dispositivos de acoplamiento por velocidad pueden ser usados en varias configuraciones de trenes de potencia. A continuación se muestran un par de ejemplos de configuraciones en los que se usa el mecanismo planetario de acoplamiento. En la configuración que se muestra en la siguiente figura el MCIR entrega potencia al engrane sol del mecanismo a través de un embrague y una transmisión. La transmisión es usada para modificar las características de velocidad y par del motor para satisfacer los requerimientos de la carga. La transmisión puede ser de una o varias velocidades dependiendo de las características de par y velocidad del MCIR. El motor eléctrico entrega su potencia al engrane anillo a través de un par de engranes. Los seguros 1 y 2 se utilizan para sujetar a los engranes sol y anillo para tener varios modos de operación. Se pueden presentar los siguientes modos de operación.

Marco teórico

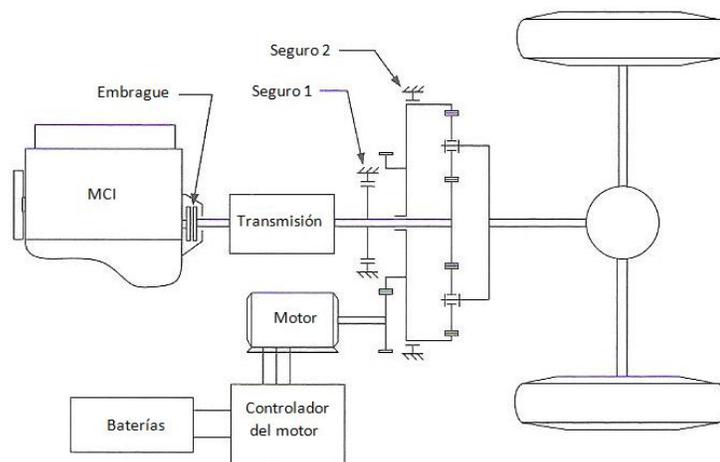


Figura 1.9 - Acoplamiento con mecanismo planetario. [Adaptado de 5, p.131]

1.- Tracción híbrida

Cuando los seguros 1 y 2 están liberados (los engranes sol y anillo pueden rotar), el MCI y el motor eléctrico entregan velocidad y par a las ruedas motrices. La velocidad del carrier es la suma de las velocidades de los engranes sol y anillo. Sin embargo el par de salida del carrier es proporcional al par del motor eléctrico y el MCI

2.- Tracción sólo con el MCI

Cuando el seguro 2 sujeta al engrane anillo para inmovilizarlo y el seguro 1 esta liberado, sólo el MCI suministra potencia a las ruedas motrices.

3.- Tracción sólo con el motor eléctrico

Cuando el seguro 1 sujeta al engrane sol (el MCI se encuentra apagado y el embrague desconectado) y el seguro 2 esta liberado. Sólo el motor eléctrico suministra su potencia a las ruedas motrices.

4.- Freno regenerativo

El seguro 1 sujeta al engrane sol (el MCI se encuentra apagado y el embrague desconectado), el seguro 2 esta liberado y el motor eléctrico funciona como generador.

5.- Carga de baterías por el MCI

Los seguros 1 y 2 están liberados pero la corriente en el motor eléctrico fluye en dirección contraria al modo de tracción híbrida. Debido a esto se transfiere la energía del MCI al motor eléctrico y la entrega a las baterías.

Otra configuración de acoplamiento por velocidad consiste en utilizar un dispositivo llamado "transmotor" que se muestra en la siguiente figura. El seguro 1 y el embrague 2 son usados para sujetar el rotor externo a la estructura del vehículo y el rotor externo al rotor interno respectivamente. Este tren de potencia funciona bajo los mismos modos de operación que el mecanismo planetario mencionado anteriormente.

Capítulo 1

La ventaja principal del acoplamiento por velocidad es que la velocidad de las dos plantas de potencia son independientes de la velocidad del vehículo así que la velocidad de ambas plantas se puede escoger libremente.

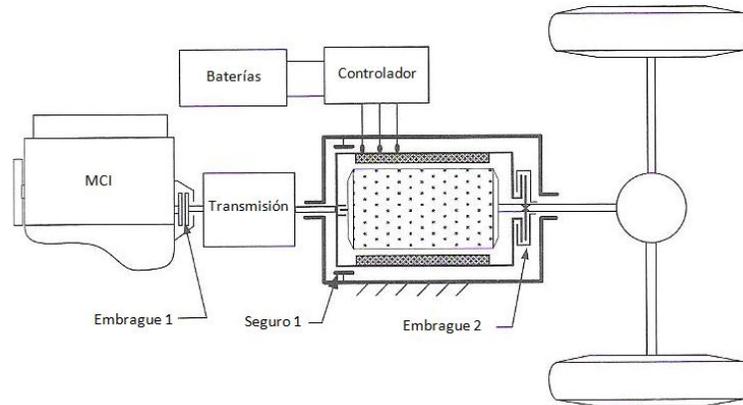


Figura 1.10 - Acoplamiento con transmisor. [Adaptado de 5, p.132]

Trenes de potencia con acoplamiento por par y velocidad

Al combinar el acoplamiento por par y velocidad se puede establecer un tren de potencia en el que se puede elegir en qué condiciones el acoplamiento será por par o por velocidad. La figura muestra 1.11 el tren de potencia.

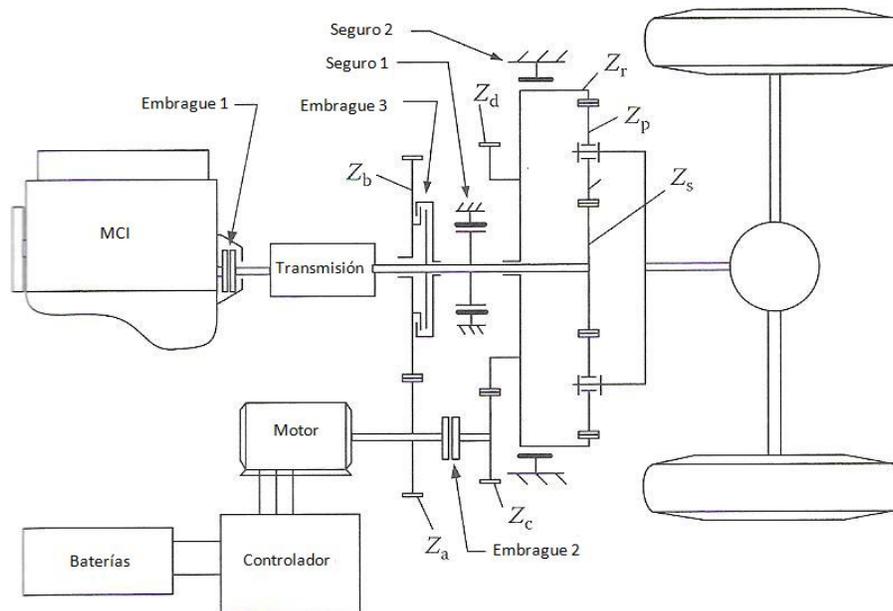


Figura 1.11 - Acoplamiento por par y velocidad. [Adaptado de 5, p.133]

Cuando se elige el acoplamiento por par, el seguro 2 sujeta al engrane anillo del mecanismo planetario y los embragues 1 y 2 están embragados. Las potencias del MCIR y el motor eléctrico se suman al unir sus pares a través de los engranes Z_a y Z_b y el embrague 3 en el eje del engrane sol. En este caso, el mecanismo planetario funciona sólo como un reductor de velocidad. Este modo es una configuración típica de un tren motriz con acoplamiento por par.

Cuando se elige el acoplamiento por velocidad los embragues 1 y 2 están embragados, mientras que el embrague 3 esta desembragado y los seguros 1 y 2 liberan los engranes sol y anillo. Cuando se tiene la posibilidad de elegir el modo de acoplamiento, las plantas de potencia tienen mayores posibilidades de operar en sus regiones de máxima eficiencia y de optimizar su desempeño. Por ejemplo: a bajas velocidades del vehículo, el modo de acoplamiento por par puede ser adecuado para una gran aceleración o para subir pendientes. Por otro lado, a velocidades altas, el modo de acoplamiento por velocidad podría ser usado para mantener al MCI en su región de operación de desempeño óptimo.

La característica principal del híbrido con acoplamiento por par o velocidad es que se puede elegir la mejor opción de acoplamiento en diferentes situaciones de manejo para alcanzar el mejor desempeño y eficiencia del vehículo. Sin embargo, no es posible seleccionar los dos modos al mismo tiempo debido a que solo se dispone de dos fuentes de potencia.

1.5- Configuración Serie – Paralelo

Los híbridos con configuración serie – paralelo combinan los beneficios de las arquitecturas serie y paralelo. En esta combinación el MCIR se utiliza para propulsar las ruedas motrices y también para cargar las baterías. Esta arquitectura es relativamente más complicada ya que requiere mecanismos de acoplamiento, otros controles y un generador adicional.

Al agregar otra planta de potencia se puede obtener un híbrido con ambos modos de acoplamiento (par y velocidad) al mismo tiempo. Un buen ejemplo de este sistema es el desarrollado e implementado en el Toyota Prius. Este tren motriz se muestra esquemáticamente en la figura 1.12.

Capítulo 1

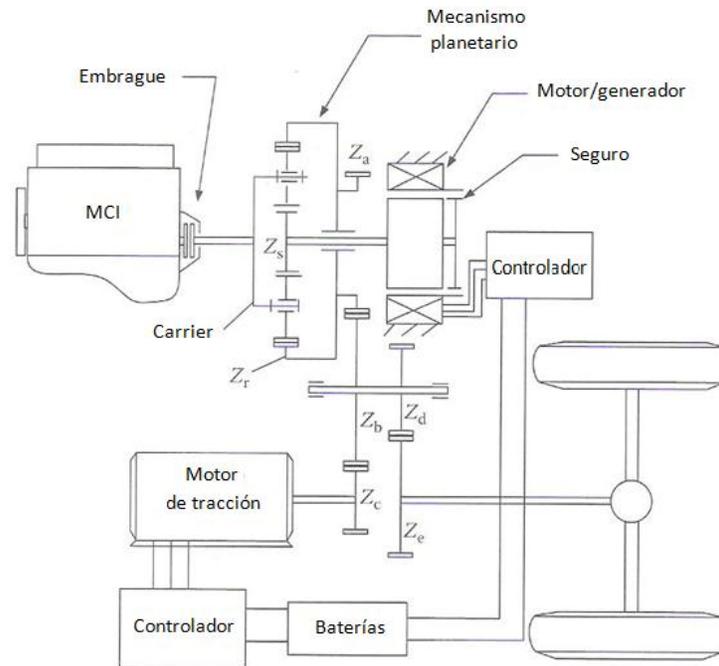


Figura 1.12 - Configuración serie – paralelo. [Adaptado de 5, p.135]

El tren motriz utiliza un mecanismo planetario como acoplador de velocidad y un sistema de engranes fijos como acoplador de par. Un MCI es conectado al carrier del mecanismo planetario y un pequeño motor/generador (de unos cuantos kW) es conectado al engrane sol del mecanismo planetario para constituir el acoplamiento por velocidad. El engrane anillo es conectado a las ruedas motrices a través de los engranes fijos que funcionan como acopladores de par. Mientras tanto, un motor de tracción también es conectado al sistema de engranes fijos para constituir el sistema de acoplamiento por par. Esta configuración permite: (1) independizar las velocidades de las ruedas motrices y el MCI y (2) controlar la velocidad del MCI por medio del motor/generador.

1.6 - Panorama de vehículos eléctricos de uso urbano

Se realizó una investigación con el fin de conocer las características técnicas (peso, potencia, autonomía, dimensiones, velocidad máxima, etc.) de vehículos biplaza eléctricos. A continuación se muestra la tabla 1.1 con el resumen de dicha información.

Tabla 1.1 Resumen de las características de vehículos eléctricos existentes.

Vehículo	Dimensiones (LxWxH)[mm]	Potencia [hp]	Par [Nm]	Peso [kg]	Autonomía [km]	Vel. Máxima [km/h]	Configuración
Shell Eco - marathon	2200x1200x1000	libre	libre	205	libre	libre	libre
	3500x1300x1300						
Renault Twizy	2337x1191x1461	5	37	450	100	45	Tándem
		17.4	57			80	
Hiriko (MIT)	2600x1650x1500	20.1	X	400	120	50 - 80	1+1
Zagato Volpe	2200x1000x1490	5.4	X	448	60	48	Tándem
Tazzari Zero	2880x1560x1425	20	150	542	140	100	1+1
GM EN - V	1540x1420x1770	X	X	500	40	X	1+1
	1520x1405x1635						
	1500x1425x1640						
Audi Urban Concept	3220x1680x1190	20.1	47	480	75	100	1+1
Toyota COMS	2300x1200	6.7	X	405	50	60	1+1
Smart For - US	3547x1506x1700	74	130	X	140	120	1+1
Icona E3WM	2500x1230x1760	74	X	400	150	X	Tándem
VW Nils	3040x1390x1300	20	130	460	65	130	monoplaza
		34					
Daihatsu Pico	2400x1000x1530	X	X	400	50	X	Tándem
Opel Ligthweight	X	X	X	400	100	120	Tándem
Nice MyCar	X	5.4	X	635	64	64	1+1
KTM E3W	x	20	x	500	100	x	1+1
Lumeneo Smera	2500x960x1450	40.2	100	550	100.0	110	Tándem
Smart Fortwo Electric Drive	2695x1560x1540	73.7	130	805	145	125	1+1
Peugeot BB1	2500x1600x1540	20	320	500 * - 600	120	90	1+1
PSA Velv	x	27	x	650	100	110	Tándem triplaza
Pininfarina Nido EV	2910x1683x1503	40	X	900	140	120	1+1
Zemic	2697x1739x1545	20	X	450	80	80	1+1

X – Información no disponible

En la tabla 1.2 se observan los rangos de valores y los promedios de las características de interés que servirán para comparar nuestra propuesta

Tabla 1.2.- Rangos de valores y promedios de las características de interés.

	Potencia [hp]	Peso [kg]	Autonomía [km]	Vel. Máx. [km/hr]
Mínimo	5	400	40	45
Máximo	74	900	150	130
Promedio	34	504	97	94

1.7- Grado de hibridación

Definición de hibridación:

$$H = \frac{\text{Total de potencia de los motores eléctricos}}{\text{Total de potencia de los motores electricos+potencia del MCIR}} \quad (1.1)$$

En la siguiente figura se ilustran diferentes grados de hibridación para una configuración en paralelo.

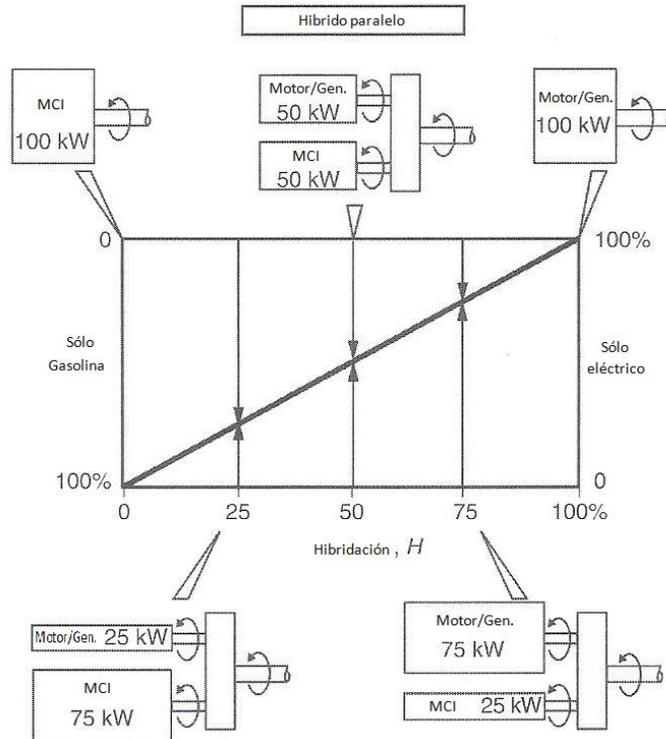


Figura 1.13 - Ejemplos de grados de hibridación. [Adaptado de 6, p.234]

H = 0%

En este porcentaje se trata de un vehículo convencional propulsado solo por el MCIR, no se cuenta con un motor eléctrico que suministre potencia a las ruedas.

H = 25%

El vehículo híbrido tiene una parte eléctrica de 25 [kW] de potencia y un MCIR con 75 [kW]. Ambos motores se encuentran conectados a una transmisión de tres vías. Esta es la región de un “híbrido ligero” (mild hybrid). Los híbridos ligeros son una buena solución para ciertos vehículos, este grado de hibridación tiene un efecto moderado en la economía de combustible y la relación costo beneficio es altamente favorable.

Marco teórico

H = 50%

En este caso el vehículo cuenta con la misma cantidad de potencia proveniente del MCI y del motor eléctrico. Se encuentra en la región de “híbrido completo” (full hybrid)

H = 75%

En esta combinación el motor eléctrico genera mucha más potencia que el MCI. Se requiere de una batería grande para alimentar al motor eléctrico. Esta es la región de un “híbrido enchufable” (plug – in hybrid). Este grado de hibridación tiene mayor potencial de proporcionar mejoras en economía de combustible. También se obtienen mejores resultados en cuanto a emisiones debido a que el MCI se utiliza sólo cuando se requiere de gran potencia. Es la región de un vehículo eléctrico con autonomía extendida

H = 100%

El vehículo es sólo eléctrico. Toda la energía proviene de la batería o del freno regenerativo. La energía almacenada en la batería es suministrada por una estación de carga.

En la figura 1.14 se muestran las opciones serie, serie paralelo y vehículo eléctrico con autonomía extendida.

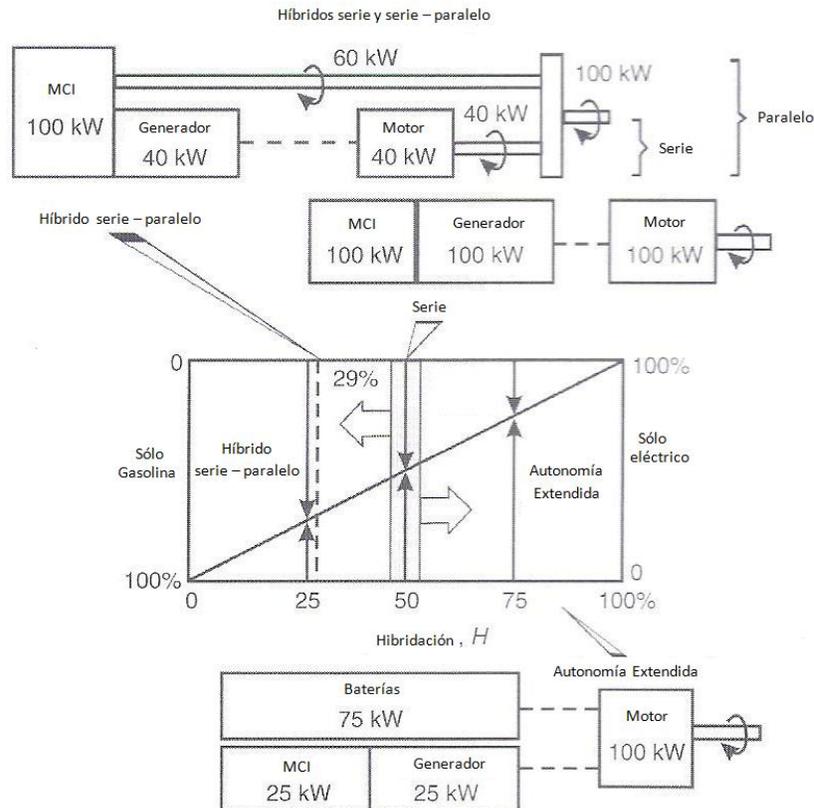


Figura 1.14 - Ejemplos de híbridos en serie y paralelo. [Adaptado de 6, p.235]

Por otro lado, recordando uno los objetivos de este trabajo es calcular un estimado del rendimiento de combustible del vehículo, para realizar esto es necesario hacer una simulación numérica en la que se modelen las características del vehículo y las condiciones de manejo a las que estará sometido. En las secciones 1.8 y 1.9 se explican brevemente los ciclos de manejo y como se realizan algunos tipos de simulaciones.

1.8- Ciclos de manejo

Según González Oropeza (1992)

Un ciclo de manejo es un perfil de velocidades trazado en un plano velocidad – tiempo, 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 carreteras, 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.

Las condiciones de tráfico cambian permanentemente debido a varios factores, como son: el crecimiento de la población, tecnología de los vehículos, cambios en el transporte público, modificaciones en la red de carreteras, nuevas legislaciones para mantener el equilibrio ecológico, etc. Esto hace que las formas de conducir sean dinámicas, o dicho en otras palabras, que vayan cambiando conforme exista una mayor demanda del transporte en el contexto descrito anteriormente. Si no se atiende esta dinámica de cambio, es decir, si no se actualizan los ciclos de manejo, éstos dejan de ser una herramienta confiable para estimar los inventarios de emisiones, certificación u homologación de vehículos, medición del consumo de combustible, etc. (p. 148).

Los ciclos de manejo fueron creados en distintos sentidos. Algunos fueron derivados teóricamente y otros fueron obtenidos a partir de mediciones en los escenarios reales de manejo. Los ciclos de manejo se clasifican dentro de dos tipos diferentes:

Marco teórico

- Ciclos de manejo transitorios:

La velocidad presenta grandes variaciones en este tipo de ciclo debido a que se basa en las condiciones típicas de manejo. Los ciclos “American Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)” y “Federal Test Procedure (FTP)” pertenecen a este tipo de manejo.

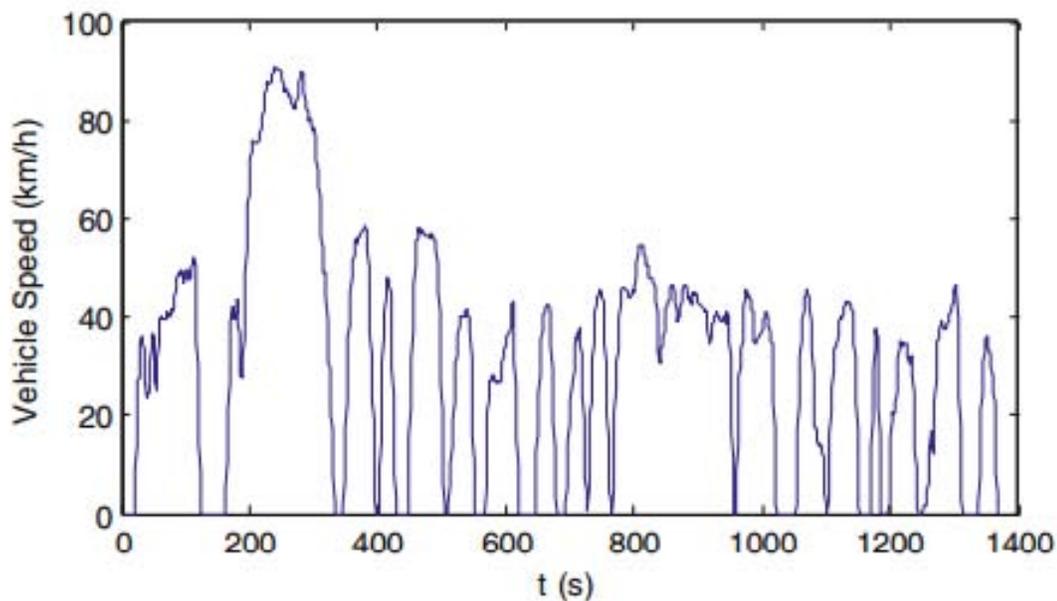


Figura 1.15 - Ciclo UDDS. [24, p.N.D.]

Tabla 1.3 - Características del ciclo UDDS

Tiempo	1,369 [s]
Distancia	11.99 [km]
Velocidad máxima	91.25 [km/h]
Velocidad promedio	31.51 [km/h]
Aceleración máxima	1.48 [m/s ²]
Desaceleración máxima	-1.48 [m/s ²]
Promedio de aceleraciones	0.5 [m/s ²]
Promedio de desaceleraciones	-0.58 [m/s ²]
Tiempo de funcionamiento sin carga	259 [s]
Número de paros	17

Capítulo 1

- Ciclos de manejo que involucran periodos prolongados a velocidad constante

Los ciclos “New European Driving Cycle (NEDC)” y el “Japanese 10 – 15 Mode” son ejemplos de este tipo de ciclos, como su nombre menciona, se observan varios periodos en donde la velocidad permanece constante. A continuación se muestra el perfil de velocidades y las características del ciclo NEDC.

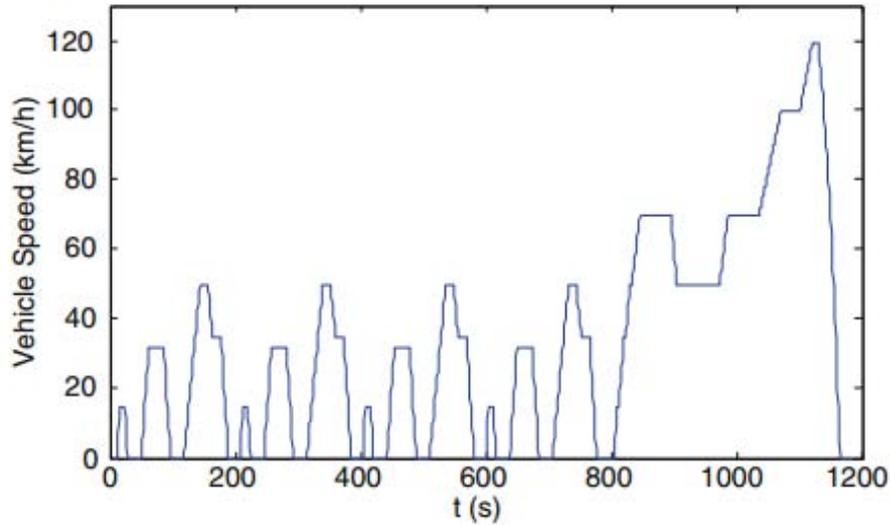


Figura 1.16 - Ciclo NEDC. [24, p.N.D.]

Tabla 1.4 - Características del ciclo NEDC

Tiempo	1,184 [s]
Distancia	10.93 [km]
Velocidad máxima	120 [km/h]
Velocidad promedio	33.21 [km/h]
Aceleración máxima	1.06 [m/s ²]
Desaceleración máxima	-1.39 [m/s ²]
Promedio de aceleraciones	0.54 [m/s ²]
Promedio de desaceleraciones	-0.79 [m/s ²]
Tiempo de funcionamiento sin carga	298 [s]
Número de paros	13

1.9- Modelado y simulación de vehículos

El modelado y simulación de vehículos es indispensable para la *evaluación de nuevos conceptos, prototipos y análisis, particularmente cuando se trata de una configuración novedosa o de nuevas estrategias de operación*. Existen varios tipos de modelos matemáticos y simuladores capaces de realizar simulaciones de vehículos. Por ejemplo, algunos simuladores pueden ser usados para construir modelos que utilicen datos estadísticos de *ciclos de manejo y eficiencias promedio* de componentes para realizar una predicción instantánea del consumo de combustible y desempeño.

Generalmente los modelos de los sistemas contienen una mezcla de datos empíricos, idealizaciones ingenieriles y algoritmos basados en leyes de la física. La precisión en los resultados obtenidos a partir de estos modelos depende de la cantidad de idealizaciones y el grado de detalle del modelo. Con un modelo simple, utilizando datos de ciclos de manejo y eficiencias de los componentes que integran el tren motriz se puede estimar el consumo de combustible un vehículo.

Los simuladores confiables poseen una gran variedad de información de los componentes del vehículo a través de los cuales fluyen datos. Estos componentes pueden ser conectados por el usuario hasta conformar el tren motriz, las conexiones entre estos componentes transmiten matemáticamente “esfuerzo” y “flujo” (por ejemplo par y velocidad o voltaje y corriente) durante la simulación.

Los modelos que comienzan con la fuerza de tracción requerida en las ruedas y “fluyen hacia atrás” hasta el MCIR son conocidos como “backward-facing models” mientras que los modelos que comienzan en la posición del acelerador y el MCIR, la información fluye hasta las ruedas son llamados “forward-facing models”.

Miller (2006) señala que debido a la necesidad de simulaciones rápidas, los componentes complejos como el MCIR y motores eléctricos típicamente son simulados utilizando mapas de consumo de energía en función de par y velocidad angular. Una vez que el par y la velocidad angular son determinados para un tiempo dado, se utilizan datos empíricos o interpolaciones de esos datos para determinar el consumo de energía de tal componente.

1.10- Enfoque general de la simulación “backward-facing”

Las simulaciones que utilizan el enfoque backward-facing (o “simulación hacia atrás”) parten de responder a la siguiente pregunta “suponiendo que el vehículo cumple con las solicitudes; ¿Cómo debería desempeñarse cada componente?”. Con este enfoque no se requiere de ningún modelo de comportamiento del conductor y en lugar de esto, la fuerza requerida para acelerar el vehículo en un lapso de tiempo se calcula directamente en base a las solicitudes del vehículo, dichas solicitudes se obtienen de un perfil de velocidades (ciclo de manejo), la potencia requerida se traduce en par que debe ser entregado por el componente que se encuentra en un componente anterior y de la misma manera la velocidad lineal del vehículo es traducida en velocidad angular. Este enfoque de cálculo lleva la información componente a componente “hacia atrás” a través del tren motriz contra la dirección del flujo de potencia hasta poder obtener el consumo de combustible o de energía eléctrica que sería necesaria para cumplir con los requerimientos.

Este enfoque es adecuado debido a que los componentes del tren motriz generalmente son probados en ambientes de laboratorio de tal manera que se obtienen tablas de eficiencias o pérdidas contra par y velocidad (o potencia). Esto significa que este cálculo puede determinar la eficiencia de un componente y permite el progreso del cálculo.

Markel, Brooker, Hendricks, Johnson, Kelly, Krammer, O’Keefe, Sprink y Wipke (2002) señalan que algunas desventajas de la simulación backward – facing son las siguientes:

- Desde un inicio se asume que el vehículo cumple las solicitudes
- Si el sistema de control es muy complejo, no es posible contemplarlo
- Uso de mapas de eficiencias
- No es posible realizar mediciones de algunos parámetros en el vehículo, por ejemplo: la posición del acelerador y el freno

Puesto que este enfoque asume que se cumplen los requerimientos, no es conveniente utilizarlo para evaluar el desempeño del vehículo, por ejemplo la aceleración, por otro lado, los mapas de eficiencias generalmente se obtienen en pruebas en estado estable así que los efectos dinámicos no son incluidos en estos mapas.

1.11- Replanteamiento de la hipótesis

La configuración híbrido en serie es utilizada en grandes vehículos con altas potencias ya que son poco sensibles al aumento de peso y tienen un buen desempeño al utilizarse en vehículos que transitan en rutas fijas, esta propuesta de vehículo no cuenta con estas características pero debido a las siguientes razones podría resultar conveniente utilizar la configuración en serie:

- Los materiales utilizados en el vehículo son ligeros.
- La misión del vehículo está restringida a uso urbano, por lo que parte del tiempo de operación del vehículo estará en reposo y con esta configuración es posible que el MCIR permanezca apagado durante el tiempo de espera además de que no se somete a constantes cambios de puntos de operación (aceleración y desaceleración angular), de esta manera se puede mantener funcionando en su zona de máxima eficiencia.
- En condiciones de manejo urbano es poco probable permanecer conduciendo a alta velocidad por periodos prolongados, por lo que la descarga de la batería debido a este modo de operación no es del todo relevante.
- Regenerar parte de la energía cinética en el frenado.
- Dimensionando el motor eléctrico y las baterías para satisfacer las demandas máximas de potencia mientras que el MCIR/gen para satisfacer las demandas promedio.
- Las pérdidas en la transmisión podrían eliminarse si prescindimos de ella ya que el motor podría adaptarse a la curva de carga y tiene la capacidad de operar en dos sentidos.

2.- Solución

2.1- Procedimiento

Para realizar el dimensionamiento del tren de potencia híbrido del vehículo, primero se analizarán los datos obtenidos de cuatro ciclos de manejo en la Ciudad de México, se obtendrán los datos más representativos de cada ciclo y se validarán.

Posteriormente se calcularán las fuerzas de resistencia al movimiento para obtener la curva de carga del vehículo en función de la velocidad.

Se realizará el cálculo de la potencia máxima teórica del motor eléctrico para cumplir el requerimiento de aceleración, después este valor se comparará con la potencia máxima requerida para satisfacer las demandas de los ciclos de manejo, conocidos estos valores se realizará la propuesta de la potencia del motor eléctrico.

Para el dimensionamiento del MCIR/gen se calcularán las demandas de potencia promedio debidas a la carga y aceleración en modo de tracción en cada ciclo, la suma de las potencias de carga y aceleración será la potencia del MCIR/gen.

Se realizará un modelo teórico de la batería para conocer el estado de carga en cada instante del ciclo, es necesario conocer el estado de carga para controlar el MCIR/gen, el control del MCIR/gen sólo consiste en encenderlo o apagarlo, en función del estado de carga se conocerá el tiempo total en el que el MCIR/gen permaneció encendido y con base en ese tiempo se calculará el consumo de combustible. Este modelo también servirá para verificar si la potencia entregada por el MCIR/gen será suficiente para satisfacer las demandas del ciclo y cargar las baterías.

2.2- Requerimientos del vehículo

Para conocer las demandas a las que estará sometido el vehículo se hará uso de la información registrada en algunos ciclos de manejo obtenidos en la Facultad de Ingeniería, los datos de los ciclos mencionados fueron obtenidos en la Ciudad de México, a continuación se muestran las gráficas de los ciclos y el resumen de todos los ciclos. En todos los ciclos se registro la velocidad cada segundo.

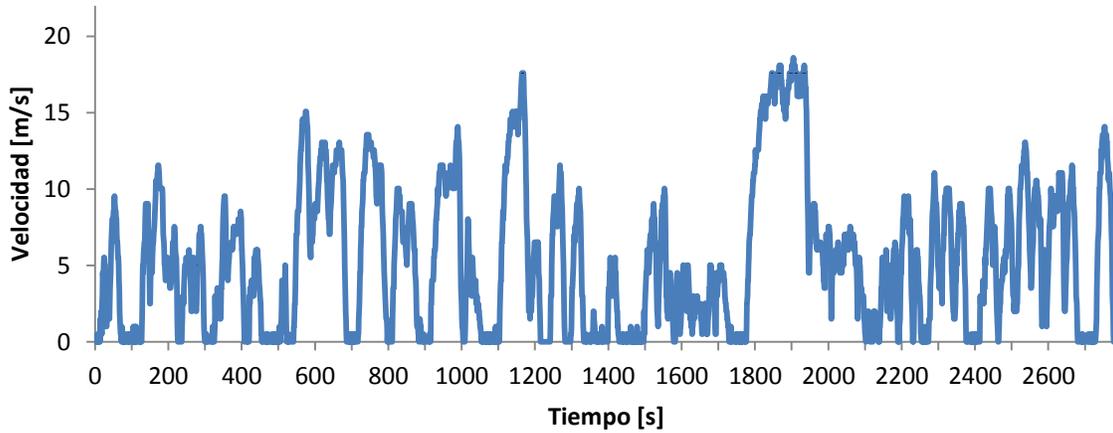


Figura 2.1 - Ciclo I

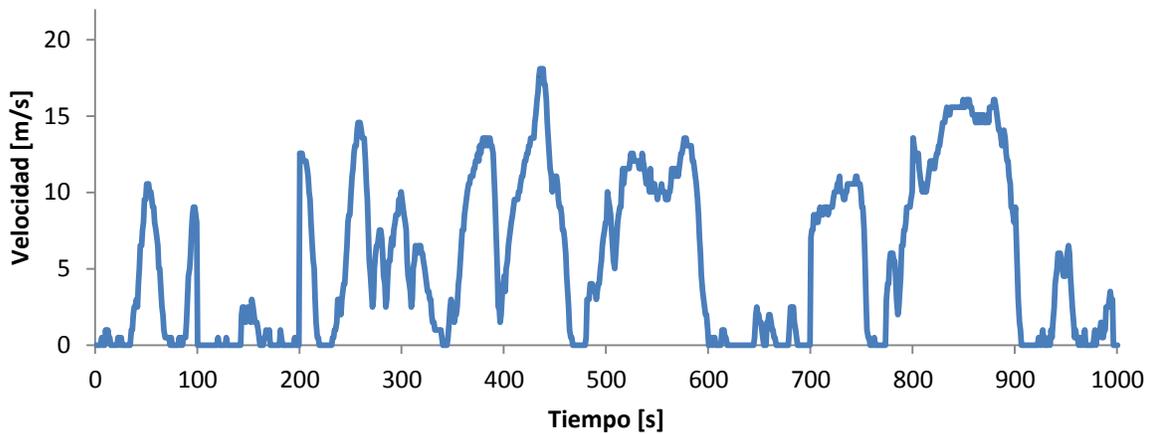


Figura 2.2 - Ciclo II

Capítulo 2

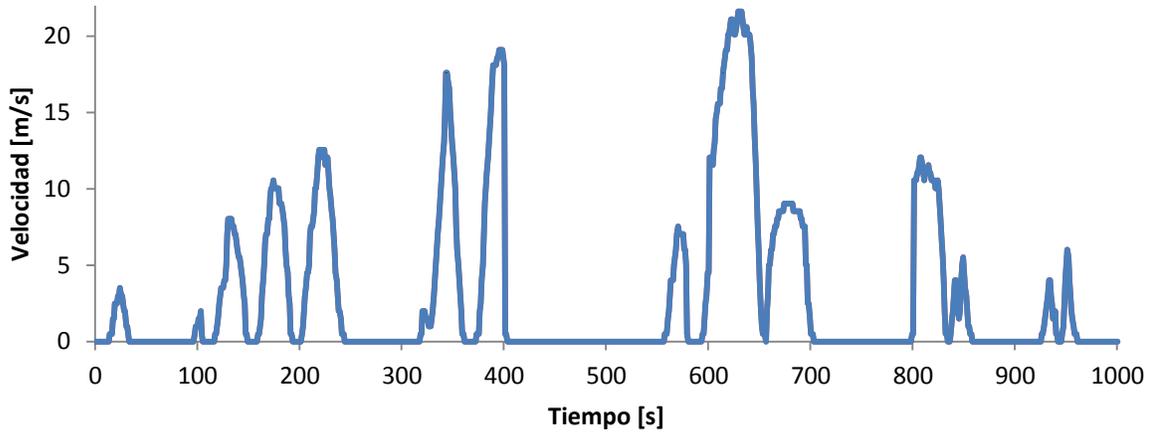


Figura 2.3 - Ciclo III

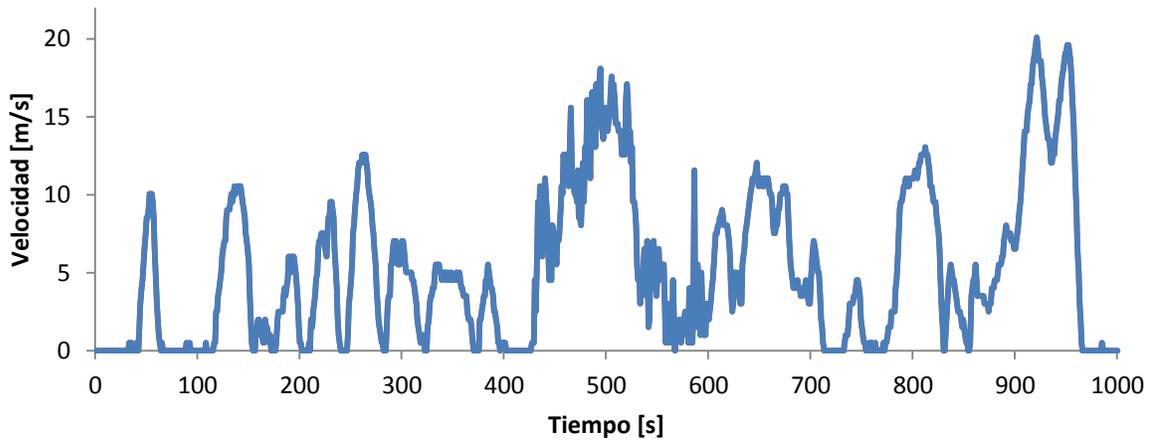


Figura 2.4 - Ciclo IV

Resumen de los ciclos de manejo

Tabla 2.1.- Resumen de los ciclos de manejo

Ciclo	V_{prom} [m/s]	t_{total} [s]	$V_{m\acute{a}x}$ [m/s]	$a_{prom(+)}[m/s^2]$	$a_{prom(-)}[m/s^2]$	$a_{m\acute{a}x}[m/s^2]$	$a_{min}[m/s^2]$	t_{espera} [s]	% espera
I	5.36	2788	19	0.733	-0.721	4.02	-2.51	557	19.98
II	5.64	1000	18	0.824	-0.796	12.56	-8.04	260	26.00
III	3.06	1000	22	0.950	-1.037	10.05	-17.59	575	57.50
IV	5.25	1000	20	1.061	-1.003	7.54	-10.05	221	22.10

Al observar la columna de $a_{m\acute{a}x}$ se puede apreciar que los valores registrados son bastante mayores que los obtenidos en los ciclos estandarizados, no se esperaba obtener valores cercanos a los de los ciclos estandarizados ya que las condiciones de manejo pueden ser bastante distintas en cada lugar, pero llama la atención que un vehículo convencional al circular en ciudad experimente aceleraciones

Solución

de magnitud similar o aún más grandes que la aceleración en caída libre. Debido a esta observación surgió la necesidad de investigar los parámetros de otros ciclos de manejo para tener una mejor referencia. A continuación se muestra el resumen de 16 ciclos de manejo obtenidos en distintas regiones.

Tabla 2.2 - Resumen de distintos ciclos de manejo

Driving cycle	Time horizon <i>t/s</i>	Driving distance <i>S/km</i>	Average vehicle speed <i>u/km/h</i>	acceleration <i>a_{max}/m/s²</i>	special power <i>K_{max}/m²/s³</i>
CYC_1015	660	4.163	22.67	0.79	21.41
CYC_ECE_EUDC	1225	10.93	32.5	1.055	18.51
CYC_UDDS	1369	11.99	31.53	1.48	40.15
CYC_HWFET	766	16.5	77.66	1.43	31.29
CYC_SC03	600	5.759	34.56	2.28	47.06
CYC_US06	600	12.88	77.31	3.75	97.69
CYC_NYCC	598	1.898	11.43	2.68	38.76
CYC_LA92	1435	15.79	39.62	3.08	57.08
CYC_WVUSUB	1665	11.97	25.86	1.295	25.24
CYC_WVUINTER	1640	24.95	54.78	1.424	25.32
CYC_WVU CITY	1408	5.317	13.59	1.143	20.65
CYC_Bus	601	0.9892	5.925	2.771	39.7
CYC_MANHANTAN	1090	3.324	10.98	2.056	26.22
Indian_URBAN	2690	17.49	23.4	1.73	36.9
CYC_HL07	422	10.05	85.52	3.576	84.81
CYC_CSHVR	1781	10.81	21.85	1.162	21.01

Es posible que la gran diferencia en los valores de aceleración se deban a que en los ciclos obtenidos en la facultad, el valor de la velocidad se registró cada segundo, mientras que Caccitori, (2007) y Tan (2011) recomiendan registrar el valor de la velocidad cada 0.1 [s]

También es posible que haya ocurrido un error en el sistema de adquisición de datos, por lo que se realizó una grafica de las aceleraciones del ciclo para hacer una observación general.

Capítulo 2

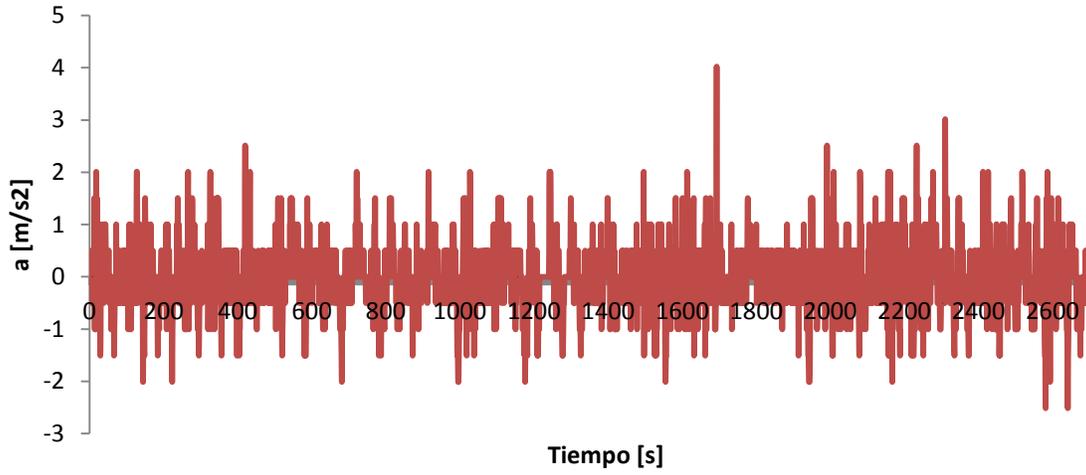


Figura 2.5 - Aceleraciones del ciclo I

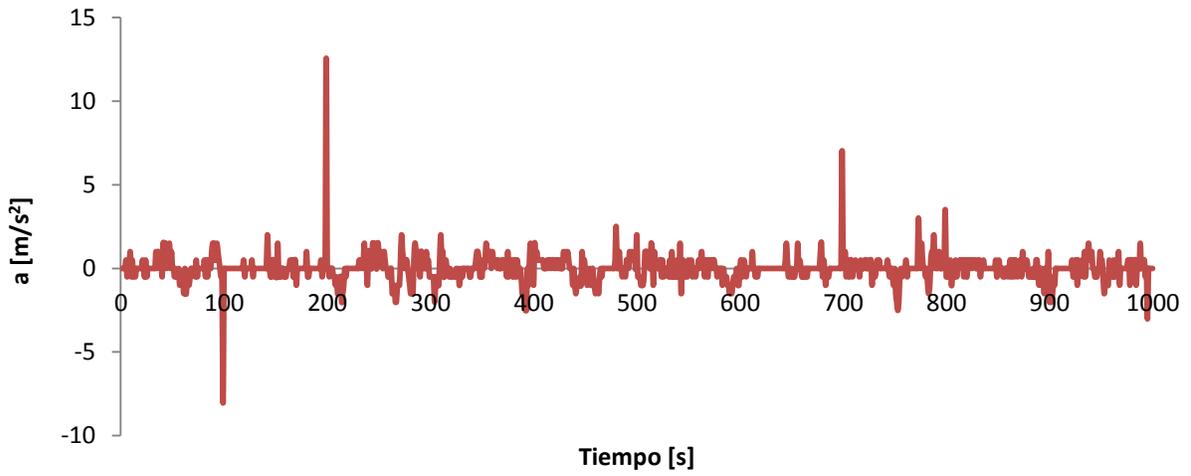


Figura 2.6 - Aceleraciones del ciclo II

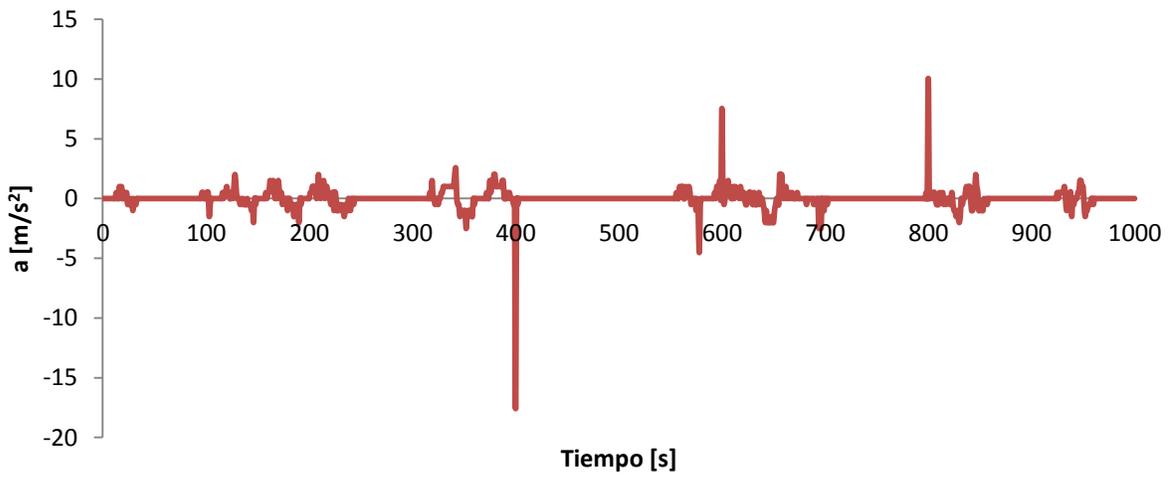


Figura 2.7 - Aceleraciones del ciclo III

Solución

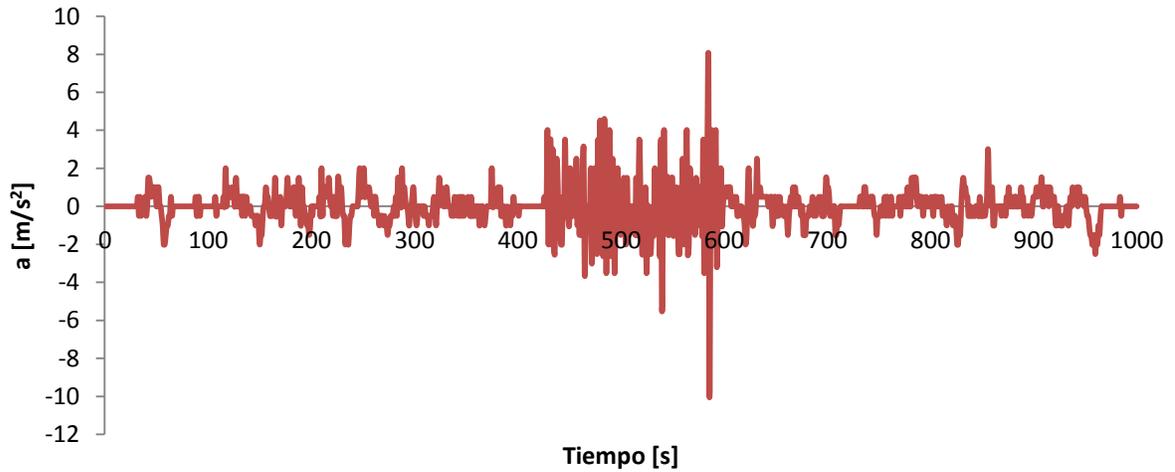


Figura 2.8 - Aceleraciones del ciclo IV

En las últimas cuatro graficas se observa que los valores de aceleración que se habían considerado muy grandes en la tabla 2.1, sólo se presentan en muy pocos instantes comparados con la longitud total del ciclo mientras que el resto de los valores siempre permanecen dentro de un rango razonable e incluso similares a los registrados en los ciclos estandarizados, por lo que los cuatro ciclos se considerarán válidos.

Como se mencionó en la sección 1.11, en condiciones de manejo urbano es poco probable permanecer conduciendo a alta velocidad por periodos prolongados, para visualizar esta afirmación se realizó una gráfica en donde se representa la velocidad contra el porcentaje del tiempo total del ciclo en el que permaneció a esa velocidad el vehículo.

Porcentaje del tiempo vs velocidad

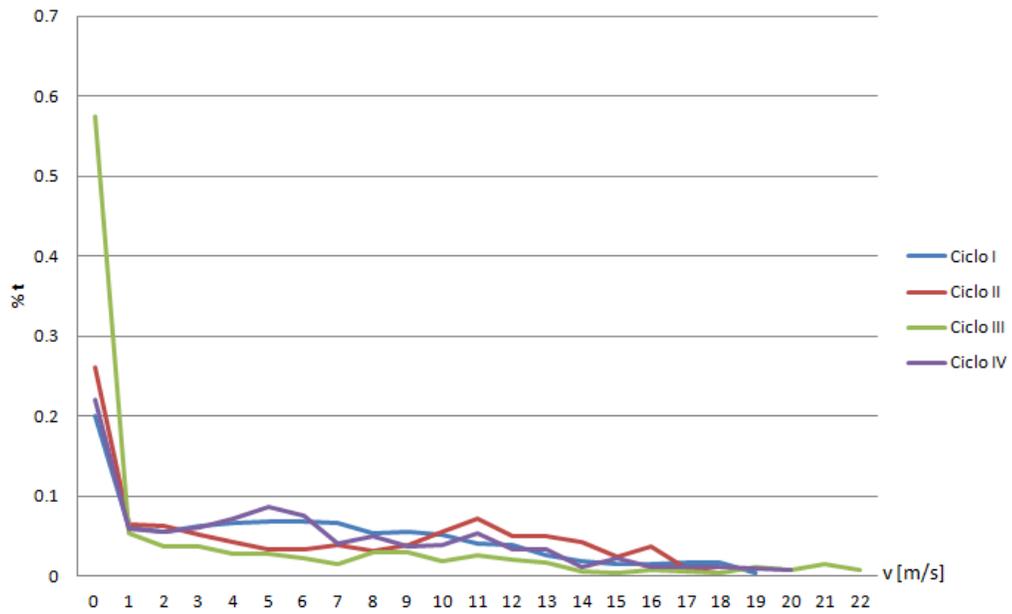


Figura 2.9 - Porcentajes del tiempo total del ciclo a distintas velocidades

Se observa que cuando el vehículo está en marcha se encuentra a una velocidad de entre 5 – 12 [m/s]

De acuerdo con los datos observados en la tabla del resumen de los ciclos de manejo (tabla 2.1) y la tabla 2.2 se proponen los siguientes valores:

$$v_{prom} = 5.5 \left[\frac{m}{s} \right] = 20 \left[\frac{km}{h} \right]$$

$$v_{m\acute{a}x} = 27.77 \left[\frac{m}{s} \right] = 100 \left[\frac{km}{h} \right]$$

$$v_{crucero} = 22.22 \left[\frac{m}{s} \right] = 80 \left[\frac{km}{h} \right]$$

$$a_{prom (+)} = 0.52 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$a_{max} = 1.27 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

2.3- Obtención de la curva de carga

2.3.1- Información general del vehículo

A continuación se presenta la propuesta de Chanocua, J. (2013) del diseño de la carrocería del vehículo y sus dimensiones, las figuras de la 2.10 a la 2.12 fueron tomadas de dicho trabajo.



Figura 2.10 - Propuesta del diseño de la carrocería. [4, p.135]

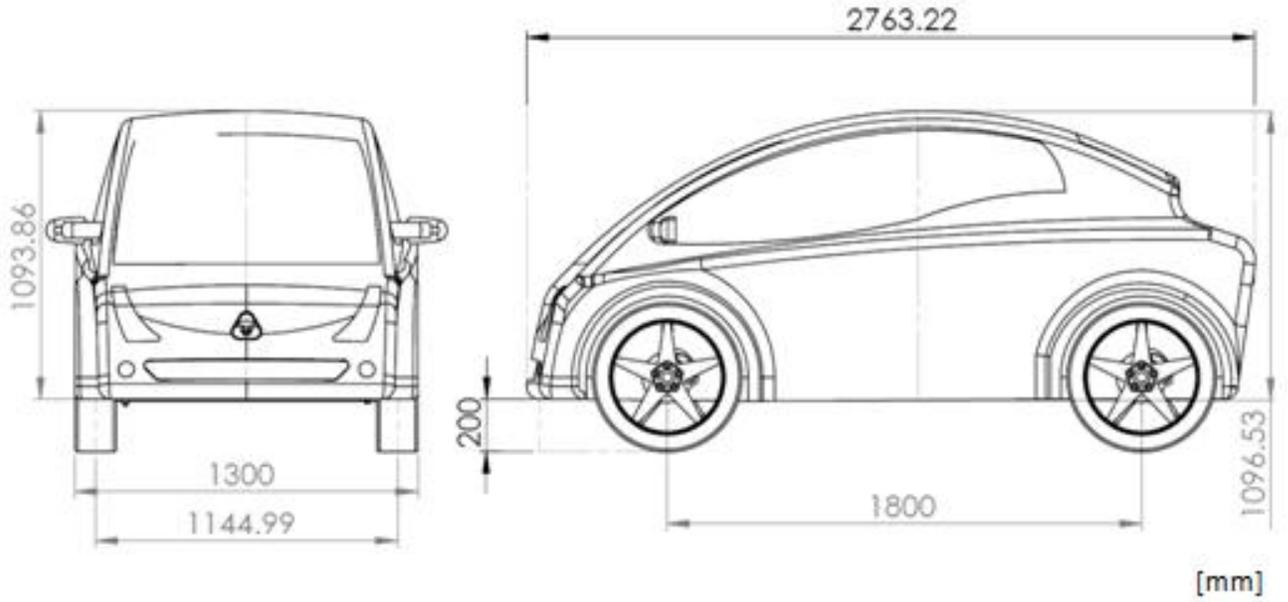


Figura 2.11 - Dimensiones de la carrocería del diseño propuesto

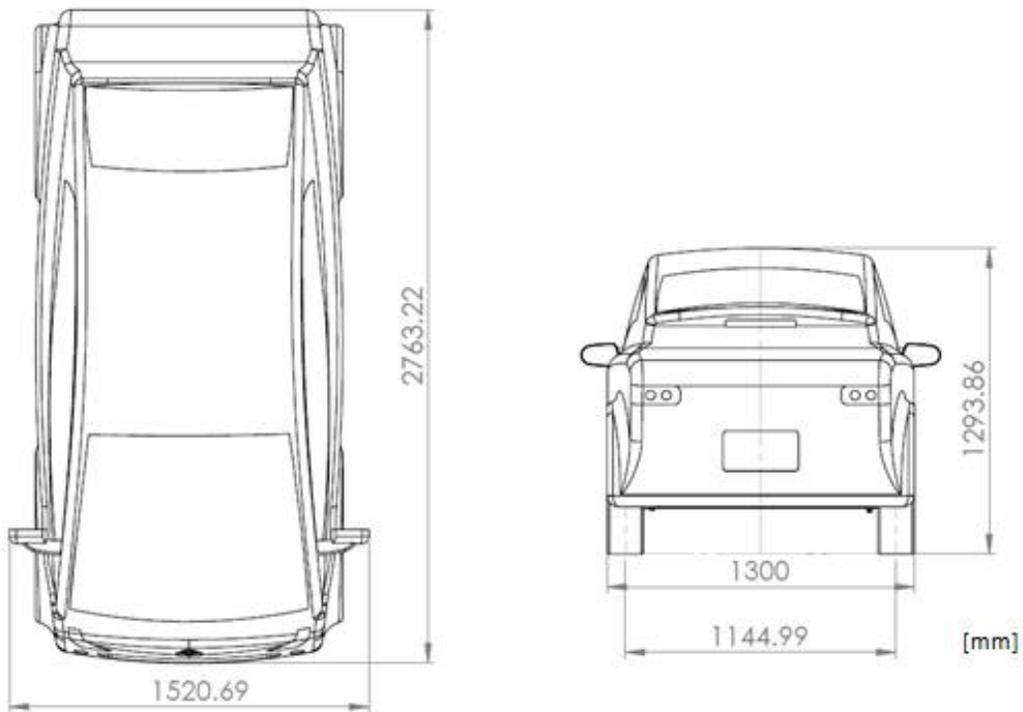


Figura 2.12 - Dimensiones de la carrocería del diseño propuesto. [4, p.133]

$$m_{vehículo} = 400 \text{ [kg]}$$

$$m_{pasajero} = 100 \text{ [kg]}$$

2.3.2- Fuerzas que intervienen en el movimiento del vehículo

Proponiendo un diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que intervienen en el movimiento del vehículo.

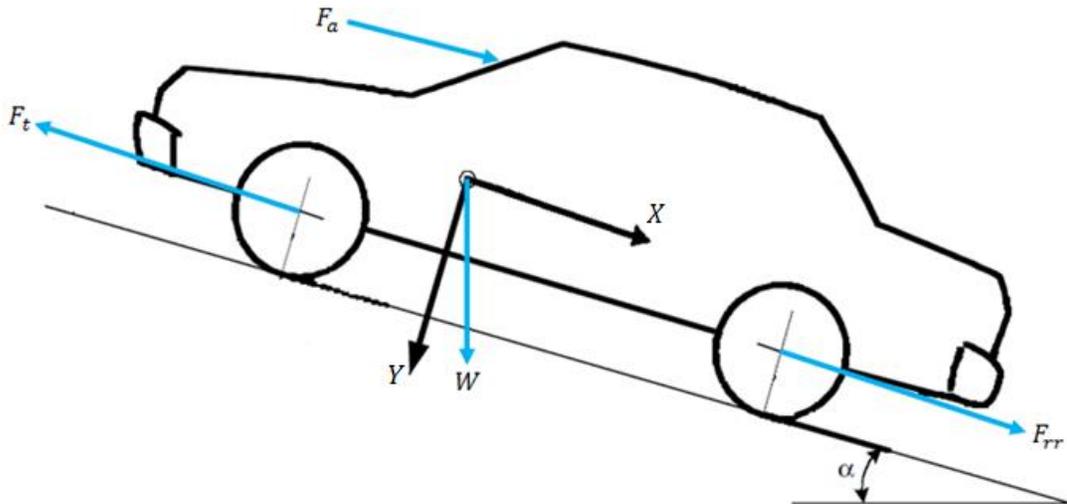


Figura 2.13 - Diagrama de cuerpo libre del vehículo en movimiento

Realizando la sumatoria de fuerzas con respecto al eje de las abscisas

$$F_t = m_v f_m \frac{dv}{dt} + F_{rr} + F_a + W \sin \alpha \quad (2.1)$$

Donde:

F_t = Fuerza de tracción [N]

m_v = Masa del vehículo [kg]

f_m = Factor de masa

F_{rr} = Fuerza de resistencia a la rodadura [N]

F_a = Fuerza de arrastre aerodinámico [N]

W = Peso del vehículo [N]

A continuación se explicará brevemente como intervienen cada una de estas fuerzas y su cálculo.

El factor de masa se define como el equivalente en movimiento lineal de todas las inercias debidas a la rotación de los elementos que transmiten el par desde la fuente de potencia hasta las ruedas. Este factor está en función del radio de las ruedas, las inercias de los componentes que transmiten par y las relaciones de la transmisión. Para calcular este factor es necesario conocer a detalle los componentes que integran el tren motriz. Miller (2006) señala que los efectos ocasionados al

considerar estas inercias son relativamente pequeños pero no despreciables, al considerarlos se obtiene un incremento en la masa del orden de 6% pero como en este trabajo se trata de una primera aproximación y aún no se conocen a detalle los componentes del tren motriz, el factor de masa será despreciado.

2.3.3- Fuerza de resistencia a la rodadura

A bajas velocidades la resistencia a la rodadura es la principal resistencia al movimiento del vehículo y se mantiene presente durante todo el tiempo en el que el vehículo permanece en movimiento.

La resistencia a la rodadura se debe a por lo menos siete mecanismos:

1. Pérdida de energía debido a la deformación de la pared lateral del neumático
2. Pérdida de energía debido a la deformación de la zona de contacto con el camino
3. Deslizamiento con la superficie de contacto
4. Deslizamientos en dirección longitudinal y lateral
5. Deformación de la superficie
6. Arrastre aerodinámico dentro y fuera del neumático
7. Pérdida de energía en las irregularidades del camino

Para cálculos teóricamente correctos, el peso dinámico del vehículo incluyendo los efectos de aceleración y la componente vertical de la resistencia del aire deberían de considerarse pero para realizar estimaciones del rendimiento de combustible; la magnitud cambiante del peso dinámico complica considerablemente el cálculo sin ofrecer mejoras significativas en la precisión del cálculo.

Además la transferencia del peso dinámico entre los ejes tiene mínima influencia en la resistencia a la rodadura total. Debido a estas razones, el peso estático del vehículo es suficiente para obtener un cálculo preciso de la resistencia a la rodadura. En sentido estricto, todas estas consideraciones aplican sólo para movimiento en línea recta.

Considerando al vehículo como un todo, la resistencia total a la rodadura es la suma de la resistencia a la rodadura de cada neumático.

Gillespie (1992) menciona que es imposible elaborar una fórmula que relacione todas las variables que intervienen en la resistencia a la rodadura, a través de los años se han desarrollado varias ecuaciones para estimar esta resistencia, la precisión del cálculo al utilizar estas ecuaciones está limitada por los factores que se desprecian. Para el desarrollo de este trabajo se utilizará la siguiente expresión:

$$F_{rr} = W f_r \quad (2.2)$$

Solución

Donde:

F_{rr} = Fuerza de resistencia a la rodadura [N]

W = Peso del vehículo [N]

f_r = Coeficiente de resistencia a la rodadura

A su vez el coeficiente de resistencia a la rodadura a condiciones comunes de presión en el neumático, considerando vehículos para pasajeros y circulando sobre concreto se calcula con la siguiente expresión:

$$f_r = 0.01 \left(1 + \frac{v}{100[\text{mph}]} \right) \quad (2.3)$$

Donde:

v = Velocidad del vehículo [mph]

En la figura 2.14 se muestra la gráfica con los resultados obtenidos para el vehículo.

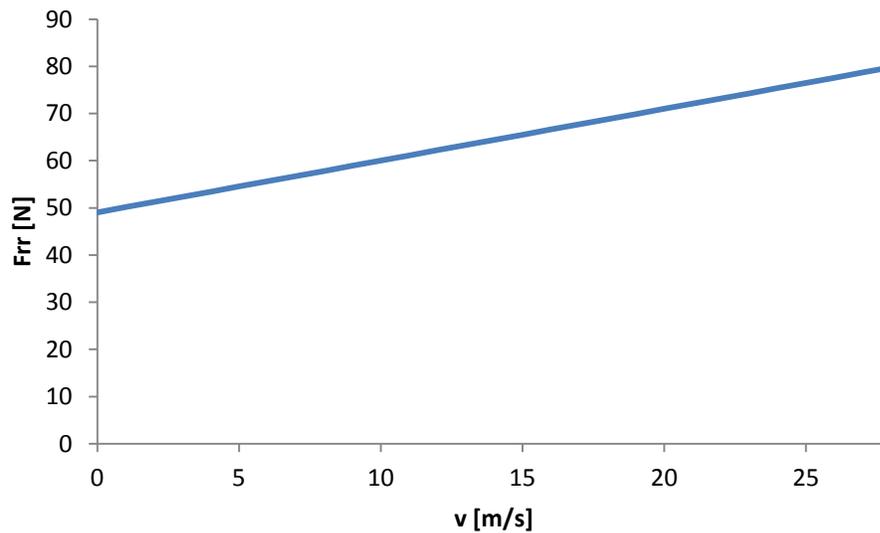


Figura 2.14 - Fuerza de resistencia a la rodadura

2.3.4- Fuerza de resistencia aerodinámica

Según Mott R. (2006)

Un cuerpo en movimiento inmerso en un fluido experimenta fuerzas ocasionadas por la acción del fluido. El efecto total de estas fuerzas es muy complejo. Sin embargo, para propósitos de diseño o estudio del comportamiento de un cuerpo en un fluido, son dos las fuerzas resultantes de mayor importancia: el arrastre y la sustentación. Las fuerzas de arrastre y sustentación son iguales sin importar si es el cuerpo el que se mueve en el fluido o el fluido el que se mueve alrededor del cuerpo.

Arrastre es la fuerza sobre un cuerpo ocasionada por el fluido que opone resistencia en la dirección del movimiento del cuerpo. Las aplicaciones más familiares que requieren el estudio del arrastre se dan en el campo del transporte. La resistencia al viento es el término que se emplea con frecuencia para describir los efectos del arrastre sobre las aeronaves, automóviles, camiones y trenes. La fuerza de arrastre debe contrarrestarse por medio de una fuerza de propulsión en la dirección opuesta, con el fin de mantener o incrementar la velocidad del vehículo. Como la generación de una fuerza de propulsión requiere que se agregue energía, es deseable minimizar su arrastre.

La disminución del arrastre es una meta muy importante al diseñar la mayor parte de vehículos, porque se requiere una cantidad significativa de energía para superarlo. En épocas recientes, se han vuelto a diseñar los automóviles de pasajeros y camiones de transporte para que su arrastre disminuya.

Son muchos los factores que influyen en el coeficiente de arrastre conjunto de los vehículos; entre otros los siguientes:

1. Forma del extremo delantero, o nariz, del vehículo
2. Lo liso de las superficies del cuerpo
3. Accesorios, como espejos, manijas de las puertas, antenas y otros
4. Forma de la cola del vehículo
5. Efecto de las superficies cercanas, como el piso bajo el automóvil
6. Discontinuidades, como las ruedas y los rines
7. Efecto de los vehículos cercanos
8. Dirección del vehículo respecto a los vientos dominantes
9. Entradas de aire para enfriamiento del motor o ventilación
10. Propósito específico del vehículo
11. Acomodo de los pasajeros
12. Visibilidad que se concede a los operadores y pasajeros
13. Estabilidad y control del vehículo
14. Estética

Según la literatura en mecánica de fluidos, la fuerza de arrastre puede calcularse con la siguiente expresión:

$$F_a = C_D \frac{A\rho v_f^2}{2} \quad (2.4)$$

Donde:

F_a = Fuerza de arrastre aerodinámico[N]

C_D = Coeficiente de arrastre

ρ = Densidad del fluido[Kg/m³]

A = Área frontal [m²]

v_f = Velocidad del fluido[m/s]

La magnitud del coeficiente de arrastre depende de muchos factores, sobre todo la forma del cuerpo, el número de Reynolds del flujo, la rugosidad de la superficie y la influencia de otros cuerpos o superficies en las cercanías. (p. 520-531)

En la figura 2.15 se muestran algunos C_D para algunas formas vehiculares comunes:

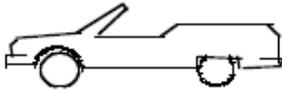
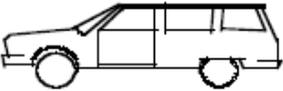
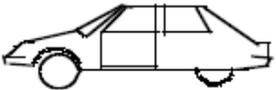
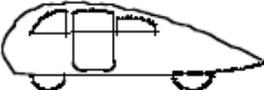
Vehicle Type	Coefficient of Aerodynamic Resistance
 Open convertible	0.5–0.7
 Van body	0.5–0.7
 Ponton body	0.4–0.55
 Wedge-shaped body; headlamps and bumpers are integrated into the body, covered underbody, optimized cooling air flow	0.3–0.4
 Headlamp and all wheels in body, covered underbody	0.2–0.25
 K-shaped (small breakway section)	0.23
 Optimum streamlined design	0.15–0.20
Trucks, road trains	0.8–1.5
Buses	0.6–0.7
Streamlined buses	0.3–0.4
Motorcycles	0.6–0.7

Figura 2.15 - Coeficientes de arrastre aerodinámico para distintos tipos de vehículos. [5, p. 26]

Capítulo 2

Se observa que ninguno de los tipos de vehículos mostrados en la tabla se adapta a nuestro modelo, por lo que se utilizó un paquete de cómputo llamado “SolidWorks 2012” para realizar una simulación del flujo y así poder obtener el valor de la fuerza de arrastre. Las simulaciones se realizaron en intervalos de 1 [m/s], desde 1 [m/s] hasta 28 [m/s] y bajo las siguientes condiciones:

Tipo de análisis: Externo

Exclusión de cavidades sin condiciones de flujo

Exclusión del espacio interno

Fluido: Aire

Presión: 101,325 [Pa]

Temperatura: 293.2 [K]

Velocidad: de -1 a -28 [m/s] en el eje Z

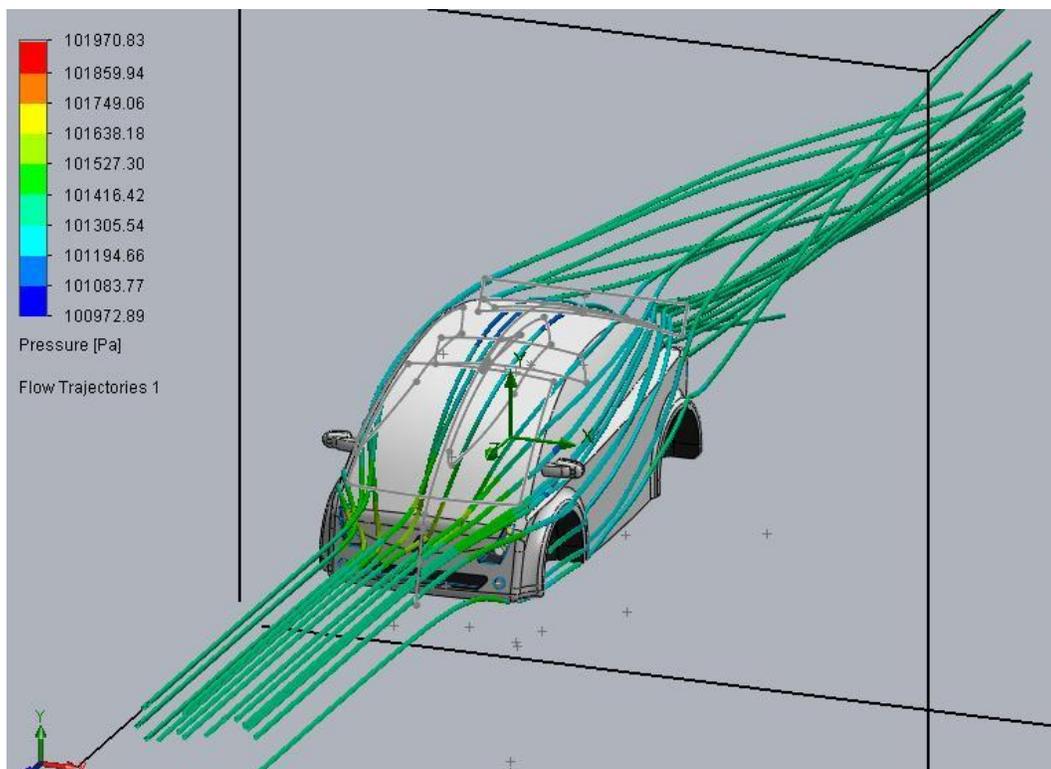


Figura 2.16 - Flujo de aire sobre la carrocería del vehículo

Solución

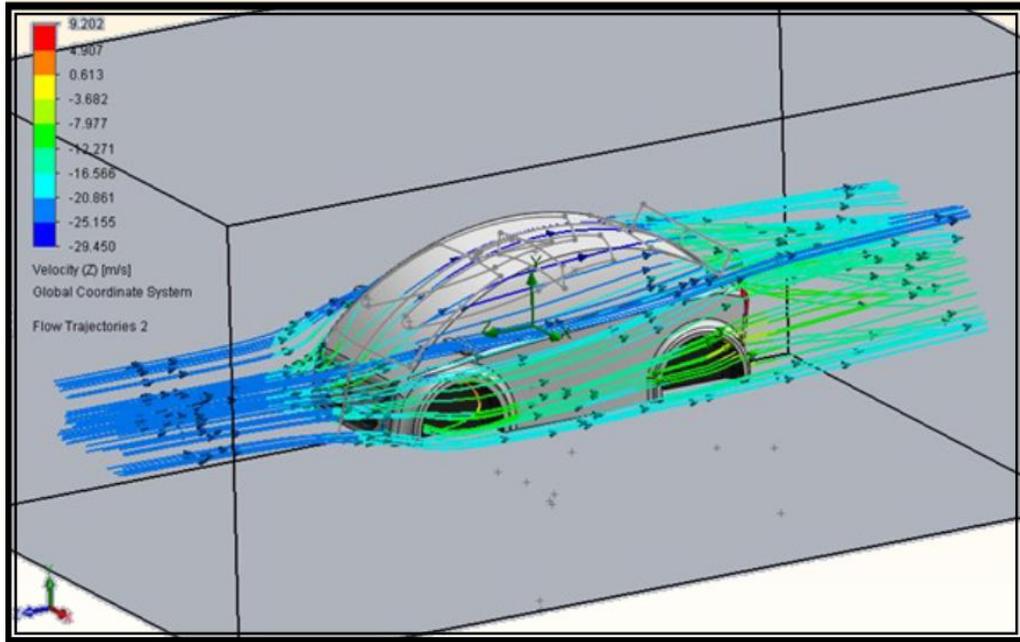


Figura 2.17 - Flujo de aire sobre la carrocería del vehículo

A partir de tales simulaciones se obtuvieron los siguientes resultados:

Capítulo 2

Tabla 2.3 - Fuerza y coeficiente de arrastre aerodinámico

v [m/s]	F_a [N]	C_D
0	0.0	0
1	0.2	0.302
2	1.2	0.394
3	2.7	0.391
4	4.8	0.393
5	7.4	0.391
6	10.1	0.370
7	14.7	0.394
8	19.4	0.398
9	24.4	0.396
10	30.1	0.395
11	34.6	0.376
12	43.4	0.396
13	51.8	0.403
14	59.1	0.396
15	67.6	0.395
16	77.5	0.398
17	87.2	0.397
18	98.3	0.399
19	109.0	0.397
20	114.2	0.375
21	133.4	0.398
22	146.0	0.396
23	160.6	0.399
24	173.8	0.397
25	188.3	0.396
26	204.4	0.397
27	220.2	0.397
28	236.9	0.397

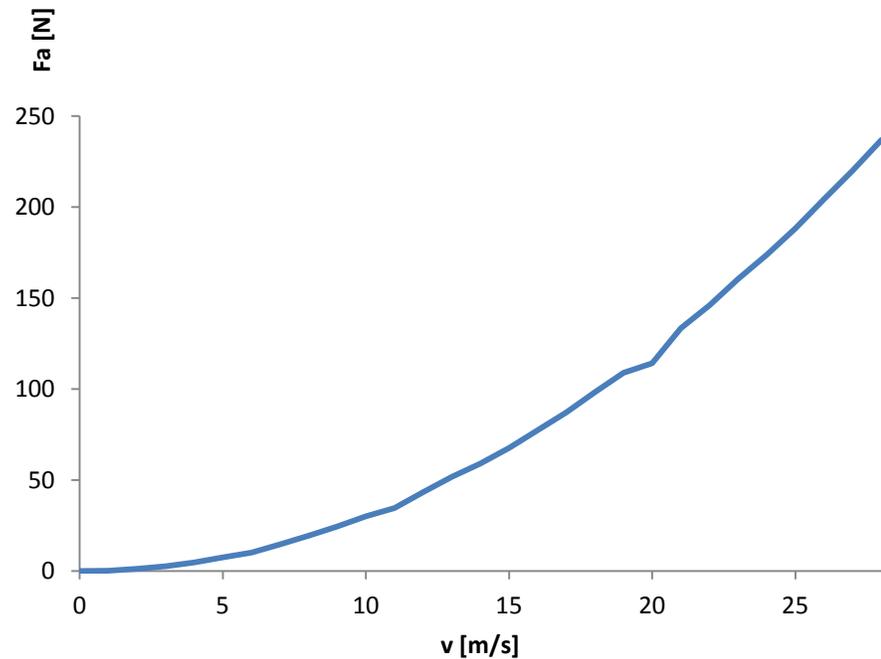


Figura 2.18 - Fuerza de arrastre aerodinámico

En la columna F_a [N] se encuentran registrados los datos obtenidos de cada simulación, para verificar que estos valores sean válidos se calculó el valor de C_D para cada valor obtenido en la simulación, se observa que el valor de C_D es alrededor de 0.4, un valor razonable y dentro de rango de acuerdo a la figura 2.15.

2.3.5- Efecto de la pendiente

Para calcular la fuerza debida a la pendiente basta con calcular la componente generada debido al peso del vehículo (ver diagrama de cuerpo libre del vehículo, figura 2.13).

$$F_p = W \sin \alpha \quad (2.5)$$

Donde:

F_p = Fuerza debida a la pendiente

W = Peso del vehículo [N]

2.3.6- Curva de carga

Después de calcular y sumar las fuerzas del vehículo (aerodinámica, rodadura y de pendiente) y al multiplicarlas por la velocidad se obtiene la potencia total requerida. Al representar la potencia requerida para cada valor de velocidad se obtiene la curva de carga, ilustrada en la figura 2.19.

$$\dot{W}_{req} = F_t v \quad (2.6)$$

Donde:

\dot{W}_{req} = Potencia requerida [W]

F_t = Fuerza de tracción [N]

v = Velocidad del vehículo $\left[\frac{m}{s}\right]$

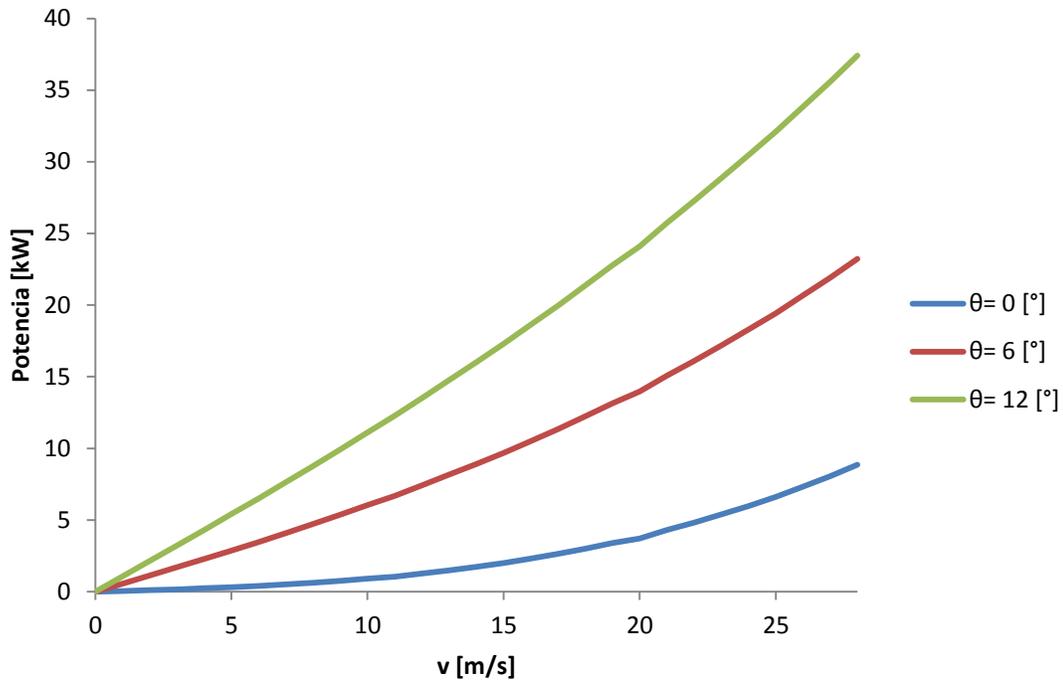


Figura 2.19 - Curvas de carga a diferentes pendientes

Esta curva de carga representa una primera aproximación a la potencia que requerirá el vehículo, ya que hasta el momento no se han considerado las eficiencias de los mecanismos de transmisión, inercias ni la potencia necesaria para abastecer a los sistemas auxiliares.

2.4- Propuesta de configuración en serie

Los componentes más importantes de la configuración en serie son: el motor eléctrico, el MCIR/generador y las baterías. El dimensionamiento de estos componentes es el primer y más importante paso en todo el diseño así que se comenzará por el dimensionamiento del motor eléctrico.

2.4.1- Dimensionamiento del motor eléctrico

Según Amjad (2009) la selección del motor eléctrico depende principalmente de las expectativas del conductor (es decir los requerimientos de aceleración), las características del motor y la transmisión. Al principio del diseño, la determinación de la potencia del motor puede ser estimada de acuerdo al desempeño de aceleración (el tiempo necesario para acelerar el vehículo de cero a cierta velocidad). Para obtener el valor de esta potencia se utiliza la siguiente ecuación:

Solución

$$\dot{w}_{mdme} = \left(\frac{m_v v_f}{2t_e} + \bar{F}_{rr} + \bar{F}_a \right) v_f \quad (2.7)$$

Donde:

\dot{w}_{mdme} = Potencia máxima demandada al motor eléctrico [w]

m_v = Masa del vehículo [kg]

t_e = Tiempo esperado de aceleración [s]

v_f = Velocidad final [m/s]

\bar{F}_{rr} = Promedio de la fuerza de resistencia a la rodadura [N]

\bar{F}_a = Promedio de la fuerza de arrastre [N]

Calculando para un vehículo con un tiempo de aceleración de 10 [s] y una velocidad de 100 [km/h]

$$\dot{w}_{mdme} = \left(\frac{(500[kg]) \left(27.77 \left[\frac{m}{s} \right] \right)}{2(10[s])} + 63.86 [N] + 80 [N] \right) \left(27.77 \left[\frac{m}{s} \right] \right)$$

$$\dot{w}_{mdme} = 23.30 [kw]$$

El valor de 10 [s] se consideró como un tiempo de aceleración dentro del rango de vehículos de pasajeros comerciales convencionales, aunque para vehículos de alto desempeño este tiempo puede llegar a tener valores incluso menores a 4 [s]. Ahora se utilizarán los ciclos de manejo para obtener la demanda máxima de potencia durante cada ciclo.

Los cálculos fueron realizados en una hoja de cálculo electrónica, a continuación se muestra como se realizaron tales cálculos.

Para cada instante de los ciclos de manejo se calcularon las velocidades promedio y aceleraciones en cada intervalo de tiempo utilizando las siguientes expresiones:

$$t_n = t_n + \frac{\Delta t}{s} \quad (2.8)$$

$$v_{pn} = \frac{v_{n+1} + v_n}{2} \quad (2.9)$$

$$a_n = \frac{v_{n+1} - v_n}{\Delta t} \quad (2.10)$$

Donde:

n = Enésimo instante del ciclo

t_n = Tiempo del ciclo en el enésimo instante [s]

Capítulo 2

$v_{pn} = \text{Velocidad promedio del enésimo instante } \left[\frac{m}{s} \right]$

$a_n = \text{Aceleración en el enésimo instante } \left[\frac{m}{s^2} \right]$

Recordando el inconveniente de las aceleraciones en la sección **2.2** se propone descartar las aceleraciones mayores a $4 \left[\frac{m}{s^2} \right]$ de la siguiente manera:

$$a_{cn} = \begin{cases} a_n & \text{si } a_n \leq 4 \left[\frac{m}{s^2} \right] \\ 0 & \text{si } a_n > 4 \left[\frac{m}{s^2} \right] \end{cases} \quad (2.11)$$

$$(2.12)$$

Donde:

$a_{cn} = \text{Aceleración corregida del enésimo instante } \left[\frac{m}{s^2} \right]$

La ecuación **2.1** se reescribe de la siguiente manera:

$$F_{tn} = \begin{cases} m_v a_{cn} + F_{rr} + F_a & \text{Para } a_{cn} \geq 0 \\ \%F_{frenado} m_v a_{cn} + F_{rr} + F_a & \text{Para } a_{cn} < 0 \end{cases} \quad (2.13)$$

$$(2.14)$$

Donde:

$F_{tn} = \text{Fuerza de tracción demandada por el ciclo en el enésimo instante } [N]$

$\%F_{frenado} = \text{Porcentaje de la fuerza de frenado en el eje de tracción}$

$F_{rr}, F_a, @ v_{pn}$

Estas modificaciones se deben a que como se explicó en la sección **2.3.2** el factor de masa se desprecia y a que en los ciclos de manejo disponibles no se registró el valor de la pendiente. Las fuerzas F_{rr} y F_a se obtienen de la curva de carga en función de la velocidad promedio en el enésimo instante.

También se observa que la fuerza de tracción es distinta dependiendo del valor de la aceleración, cuando el valor de aceleración es igual o mayor a cero, significa que el vehículo se mueve a velocidad constante o incrementando su velocidad y la fuerza necesaria para satisfacer el ciclo sólo se transmite a través del eje de tracción. Pero cuando la aceleración es menor a cero, significa que el vehículo está frenando, entonces la fuerza de frenado tiene que aplicarse a ambos ejes, no sólo al de tracción, razón por la cual se considera el $\%F_{frenado}$, el valor de este porcentaje está limitado a valores menores de 65% como mencionan Taymaz (2013) y Ehsani, Gao, Gay y Emadi (2005).

Solución

La potencia requerida se obtiene de la misma manera que se mencionó anteriormente.

$$\dot{w}_{req\ n} = F_{tn} v_{pn} \quad (2.15)$$

Donde:

$$\dot{w}_{req\ n} = \text{Potencia requerida en el enésimo instante [W]}$$

$$F_{tn} = \text{Fuerza de tracción en el enésimo instante [N]}$$

A manera de ilustración, se muestran sólo algunos de los resultados del ciclo I.

Tabla 2.4 - Resultados parciales del ciclo I

Ciclo real		Promedios		Cálculos			
Tiempo [s]	Vel. [m/s]	Tiemp t [s]	Vel t [m/s]	a [m/s ²]	a _c [m/s ²]	F _t [N]	w _{req} [w]
0	0.00	0.5	0.00	0	0	49.1	0.00
1	0.00	1.5	0.00	0	0	49.1	0.00
2	0.00	2.5	0.00	0	0	49.1	0.00
3	0.00	3.5	0.00	0	0	49.1	0.00
4	0.00	4.5	0.00	0	0	49.1	0.00
5	0.00	5.5	0.25	0.5025	0.5025	300.6	75.53
6	0.50	6.5	0.25	-0.5025	-0.5025	-113.9	-28.62
7	0.00	7.5	0.00	0	0	49.1	0.00
8	0.00	8.5	0.00	0	0	49.1	0.00
9	0.00	9.5	0.00	0	0	49.1	0.00
10	0.00	10.5	0.00	0	0	49.1	0.00
11	0.00	11.5	0.25	0.5025	0.5025	300.6	75.53
12	0.50	12.5	0.25	-0.5025	-0.5025	-113.9	-28.62
13	0.00	13.5	0.75	1.5075	1.5075	803.8	605.86
14	1.51	14.5	1.01	-1.005	-1.005	-276.2	-277.62
15	0.50	15.5	1.26	1.5075	1.5075	804.7	1010.85
16	2.01	16.5	1.51	-1.005	-1.005	-275.2	-414.86
17	1.01	17.5	0.75	-0.5025	-0.5025	-113.3	-85.37
18	0.50	18.5	1.51	2.01	2.01	1056.4	1592.56
19	2.51	19.5	2.76	0.5025	0.5025	305.7	844.78
20	3.02	20.5	3.77	1.5075	1.5075	811.2	3057.35

Capítulo 2

La siguiente tabla muestra los resultados de la *potencia máxima demandada al motor eléctrico* (\dot{w}_{mdme}) para los cuatro ciclos de manejo de la Ciudad de México

Tabla 2.5 - Demanda máxima de potencia en los cuatro ciclos

	Ciclo I	Ciclo II	Ciclo III	Ciclo IV
w_{mdme} [kw]	11.25	21.99	22.93	27.00

Para tener otra referencia, se realizó el mismo procedimiento para otros dos ciclos urbanos: UDDS y NYCC, en los que se obtuvieron potencias de 11.58 [kw] y 9.57 [kw] respectivamente. Para el valor final se tomará el valor promedio de la potencia de los cuatro ciclos: $\dot{w}_{mdme} = 20.80$ [kw]

Se elige el valor promedio de potencia máxima porque los valores máximos sólo ocurren durante cortos periodos de tiempo, si se eligiera el valor de la potencia máxima que se presentó en un ciclo, por ejemplo el ciclo IV, se estaría sobredimensionando para los ciclos I, II y III. Por otro lado, al seleccionar la potencia promedio, el ciclo III y IV quedarían fuera de rango. Así que por ahora se utilizará el valor de la potencia promedio y posteriormente se verificará que con esa potencia es posible satisfacer las demandas durante la gran mayoría del tiempo de los ciclos de manejo.

En resumen, hasta ahora se ha dimensionado el motor eléctrico desde dos enfoques diferentes:

1. Requerimiento de aceleración máxima:

$$\dot{w}_{mdme} = 23.30 \text{ [kw]} = 31.24 \text{ [hp]}$$

2. Requerimiento de máxima demanda de potencia en los ciclos de manejo:

$$\dot{w}_{mdme} = 20.80 \text{ [kw]} = 27.90 \text{ [hp]}$$

Por lo que se seleccionará un motor cuya potencia sea por lo menos de 20.80 [kw] = 27.90 [hp]

Se realizó una búsqueda de motores comerciales y se propone utilizar el siguiente motor:

Marca: ThunderStruck Motors

Voltaje: 48 [V]

Corriente: 650 [A]

Potencia máxima: 32.09 [hp]

Par máximo: 105.83 [lb -ft]

En la figura 2.20 se muestran las curvas de tal motor

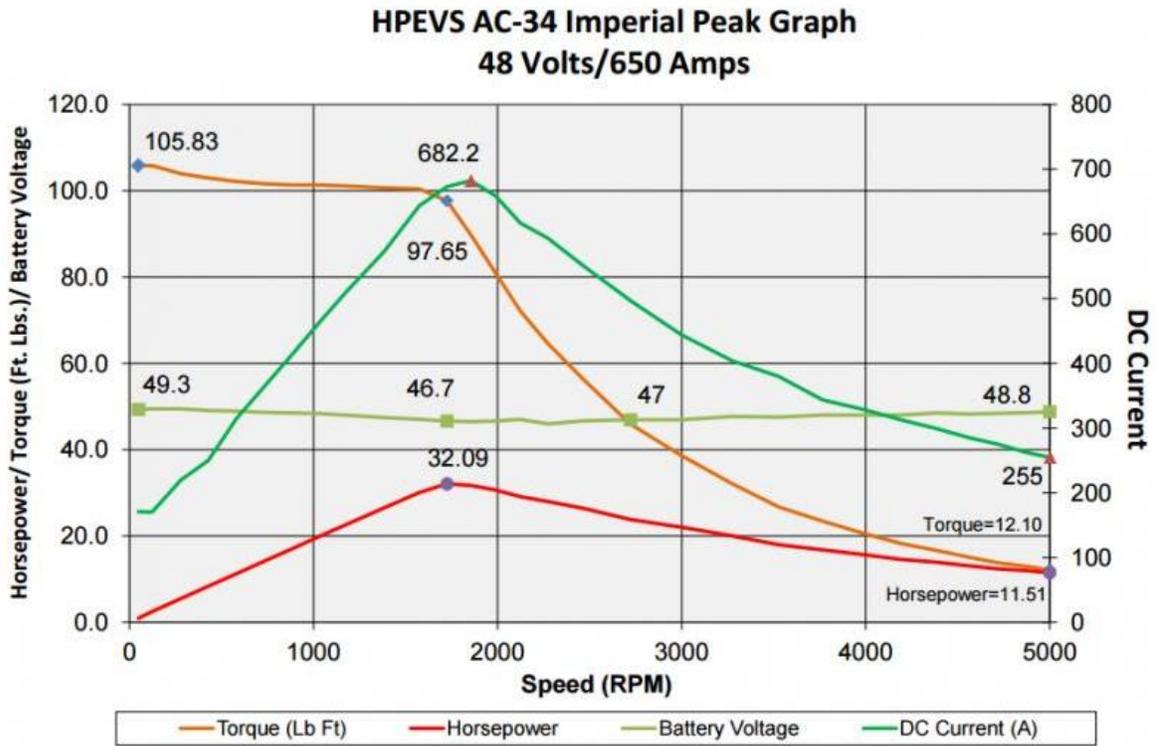


Figura 2.20 Curvas de par, potencia, voltaje en la batería y corriente en el motor eléctrico seleccionado

Se observa que el motor seleccionado cuenta con poco más de 3 [hp] de los calculados, esto es debido a que fue el valor más cercano entre los motores comerciales. Por otro lado para verificar que el motor cumple con los requerimientos del ciclo, se sobrepusieron los puntos de operación de cada ciclo sobre la curva de potencia del motor. Para esto se realizaron los siguientes cálculos:

Se calcula la velocidad angular del neumático a la velocidad máxima del vehículo

$$\omega_N = \frac{v}{r_N} \tag{2.16}$$

Donde:

$\omega_N =$ Velocidad angular del neumático [1/s]

$v =$ Velocidad del vehículo [m/s]

$r_N =$ Radio del neumático [m]

Sustituyendo:

$$\omega_N = \frac{27.77[m/s]}{0.2835[m]}$$

Capítulo 2

$$\omega_N = 97.95 \left[\frac{1}{s} \right]$$

Puesto que la gráfica proporcionada por el fabricante está en unidades de [rpm] es conveniente convertir el valor anterior a tales unidades

$$\omega_N = 97.95 \left[\frac{1}{s} \right] \left(\frac{60[s]}{1[min]} \right) \left(\frac{1}{2\pi} \right)$$

$$\omega_N = 935.4[rpm]$$

Para poder operar el motor eléctrico en todo su rango de velocidades es necesario obtener una relación de reducción, suponiendo que el motor eléctrico y el vehículo alcanzan su máxima velocidad al mismo tiempo, tenemos:

$$\omega_m = i_g \omega_N \quad (2.17)$$

Donde:

$$\omega_m = \text{Velocidad angular del motor eléctrico [1/s]}$$

$$i_g = \text{Relación de reducción}$$

Sustituyendo:

$$i_g = \frac{5,000 [RPM]}{935.4 [RPM]}$$

$$i_g = 5.34$$

Con base en esto ahora podemos graficar los puntos de operación de a cuerdo a la velocidad angular del motor eléctrico y la potencia demandada por el ciclo.

Solución

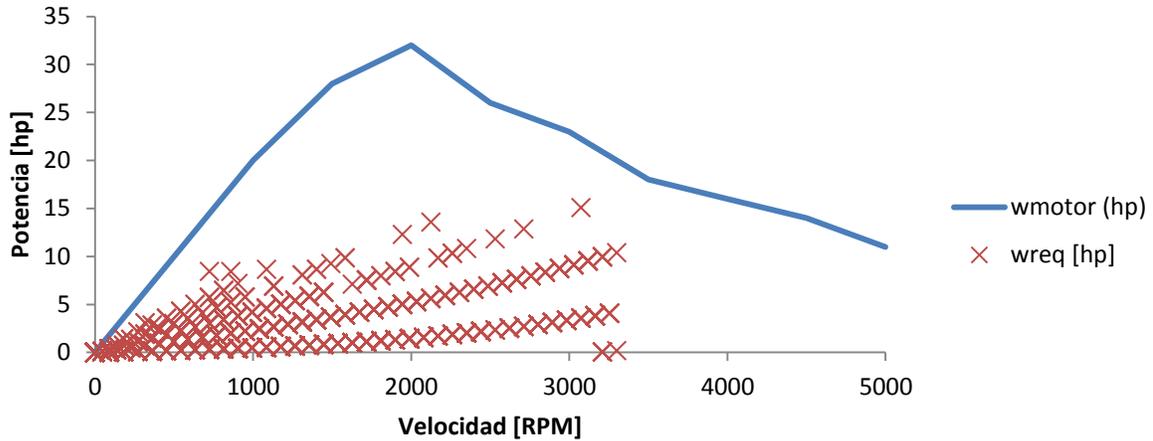


Figura 2.21. Curva de potencia del motor eléctrico y puntos de operación del ciclo I

La línea azul representa los datos proporcionados por el fabricante (figura 2.20) y las equis rojas los puntos de operación, entonces, si las equis rojas están por debajo de la línea azul, el motor cumple con los requerimientos. En el siguiente capítulo se mostraran las gráficas de todos los ciclos.

2.4.2- Dimensionamiento del MCIR/generador

Para dimensionar el MCIR/generador se deben considerar dos condiciones de manejo: manejo por largo tiempo a velocidad constante (velocidad crucero) y el manejo con condiciones frecuentes de paro – arranque. Para el primer caso, el MCIR/generador debe de proporcionar la potencia suficiente para operar a tal velocidad sin hacer uso de las baterías. En el segundo caso de condiciones frecuentes de paro arranque, el MCIR/generador debe producir potencia suficiente para mantener el nivel de carga de las baterías a cierto nivel, de este modo se cuenta con potencia suficiente para acelerar el vehículo.

A velocidad constante y en un camino completamente horizontal, la potencia a la salida de la fuente puede expresarse como:

$$\dot{w}_{MCI/g} = \frac{v}{\eta_t \eta_m} (F_{rr} + F_a) \quad (2.18)$$

Donde:

$$\dot{w}_{MCI/g} = \text{Potencia a la salida del MCI/generador [kw]}$$

$$F_{rr} = \text{Fuerza de resistencia a la rodadura @ } v_v$$

$$F_a = \text{Fuerza de arrastre aerodinámico @ } v_v$$

$$\eta_t = \text{Eficiencia de la transmisión}$$

Capítulo 2

$\eta_m = \text{Eficiencia del motor eléctrico}$

Sustituyendo para una velocidad crucero de 80 [km/h] y suponiendo eficiencias de 0.85 para la transmisión y el motor eléctrico

$$\dot{w}_{MCI/g} = \left(\frac{22.22 \left[\frac{m}{s} \right]}{(0.85)(0.85)} \right) (73.43 + 149.2) [N]$$

$$\dot{w}_{MCI/g} = 6.85 [kw]$$

Por otro lado, cuando el vehículo es conducido en condiciones de *paro – arranque* en zonas urbanas, la potencia que el MCI/generador produce debe ser igual o ligeramente superior que el promedio de la potencia de la carga, de esta manera se puede mantener balanceado el sistema de baterías. El promedio de la potencia de carga puede ser expresado como:

$$\dot{w}_{MCI/gen} = \dot{w}_{prom-carga} + \dot{w}_{prom-acel} \quad (2.19)$$

$$\dot{w}_{prom-carga} = \frac{1}{k} \int_0^f (F_{rr} + F_a) v_{pn} dt \quad \text{Para } \begin{cases} v_{pn} > 0 \\ a_{cn} = 0 \end{cases} \quad (2.20)$$

$$\dot{w}_{prom-acel} = \frac{1}{j} \int_0^f m_v v_{pn} \frac{dv}{dt} dt \quad \text{Para } a_{cn} > 0 \quad (2.21)$$

Donde:

$k = \text{tiempo total en el que se cumplen las condiciones } v_{pn} > 0 \text{ y } a_{cn} = 0, [s]$

$j = \text{tiempo total en el que se cumple la condición } a_{cn} > 0, [s]$

$f = \text{último instante del ciclo}$

$F_{rr} \text{ y } F_a \text{ @ } v_{pn}$

Se realizó el cálculo de la potencia promedio para cada uno de los cuatro ciclos, las expresiones fueron introducidas en la hoja de cálculo de la siguiente manera:

Solución

$$\frac{1}{k} \int_0^f (F_{rr} + F_a) v_p dt = \frac{1}{k} \left(\sum_{n=0}^f (F_{rr} + F_a) v_{pn} \Delta t \right) \quad \text{si } v_p > 0 \text{ y } a_n = 0$$

$$\frac{1}{j} \int_0^f m_v v_p \frac{dv}{dt} dt = \frac{1}{j} \left(\sum_{n=0}^f m_v v_{pn} a_{cn} \Delta t \right) \quad \text{si } a_n > 0$$

Tabla 2.6 - Potencia promedio y potencia debida a la aceleración del ciclo I (resultados parciales)

Ciclo real		Promedios		W _{prom-carga}		W _{prom-acel}	
Tiempo [s]	Vel. [m/s]	Tiemp t [s]	Vel t [m/s]	(F _a + F _{rr})v _p [w]	k	m _v a _n v _p [w]	j
0	0.00	0.5	0.00	0.0	0	0.0	0
1	0.00	1.5	0.00	0.0	0	0.0	0
2	0.00	2.5	0.00	0.0	0	0.0	0
3	0.00	3.5	0.00	0.0	0	0.0	0
4	0.00	4.5	0.00	0.0	0	0.0	0
5	0.00	5.5	0.25	0.0	0	63.1	1
6	0.50	6.5	0.25	0.0	0	0.0	0
7	0.00	7.5	0.00	0.0	0	0.0	0
8	0.00	8.5	0.00	0.0	0	0.0	0
9	0.00	9.5	0.00	0.0	0	0.0	0
10	0.00	10.5	0.00	0.0	0	0.0	0
11	0.00	11.5	0.25	0.0	0	63.1	1
12	0.50	12.5	0.25	0.0	0	0.0	0
13	0.00	13.5	0.75	0.0	0	568.1	1
14	1.51	14.5	1.01	0.0	0	0.0	0
15	0.50	15.5	1.26	0.0	0	946.9	1
16	2.01	16.5	1.51	0.0	0	0.0	0
17	1.01	17.5	0.75	0.0	0	0.0	0
18	0.50	18.5	1.51	0.0	0	1515.0	1
19	2.51	19.5	2.76	0.0	0	694.4	1
20	3.02	20.5	3.77	0.0	0	2840.7	1

La columna $(F_a + F_{rr}) v_p [w]$ verifica que se cumplan las condiciones necesarias descritas anteriormente, de ser así realiza el cálculo, para después realizar la sumatoria total del ciclo. La columna k muestra el valor 1 si en el mismo renglón de la columna $(F_a + F_{rr}) v_p [w]$ se tiene un valor mayor a cero, se realiza la sumatoria de la columna de los valores de k . Una vez conocidos los valores de las sumatorias de las dos columnas se realiza el cociente y se registra en la siguiente tabla. Se realiza lo mismo para las siguientes dos columnas con sus respectivas condiciones.

Capítulo 2

Tabla 2.7 - Potencia promedio total de los cuatro ciclos

	Ciclo I	Ciclo II	Ciclo III	Ciclo IV	Promedios	
$W_{prom\ carga}$	0.774	0.932	0.845	0.597	0.787	[kw]
$W_{prom\ acel}$	2.009	2.416	2.910	3.208	2.636	[kw]
$W_{prom\ total}$	2.78	3.35	3.76	3.80	3.42	[kw]

Puesto que el vehículo estará bajo condiciones de tránsito lento y *paro – arranque*, es poco probable que requiera la potencia que utilizaría a velocidad constante (6.85 [kw]), esto también se observa en la figura 2.9, el vehículo alcanza velocidades mayores a (15[m/s]) durante menos del 0.5% de la duración del ciclo. Debido a esto, la selección del MCI/gen dependerá únicamente de la potencia mostrada en la tabla 2.7, es decir, la potencia eléctrica del MCIR/gen debe ser aproximadamente 3.42 [kw].

Se realizó una búsqueda en internet de MCIR/gen y se seleccionó el siguiente equipo:

Marca: LIFAN

Modelo: ES4000

Potencia eléctrica continua: 3,500 [w]

Potencia pico: 4,000 [w]

Consumo en carga total: 0.3 [gal/hr]

Peso: 50 [kg]

Capacidad de combustible: 4 [gal]

2.4.3- Dimensionamiento del paquete de baterías

Potencia de las baterías:

De todos los subsistemas, la batería es el menos entendido, debido a la dificultad de estimar el estado de carga y la eficiencia, ya que estas propiedades están en función de la potencia demandada, la resistencia interna, antigüedad, sentido de la corriente y la temperatura.

Las características principales para seleccionar una batería son: capacidad, características de descarga y seguridad, especialmente las características de descarga ya que si la batería no entrega la cantidad de potencia suficiente, el desempeño del motor eléctrico estaría limitado.

Para utilizar por completo la capacidad del motor eléctrico, la potencia total del MCIR/generador y el paquete de baterías debe ser mayor o igual que la potencia máxima del motor eléctrico. De esta manera, la potencia de las baterías se puede expresar como:

Solución

$$\dot{w}_{bat} \geq \frac{\dot{w}_{mdme}}{\eta_m} - \dot{w}_{MCIR/gen} \quad (2.22)$$

Donde:

$$\dot{w}_{bat} = \text{Potencia de las baterías [w]}$$

$$\dot{w}_{mdme} = \text{Potencia máxima demandada al motor eléctrico}$$

Para este cálculo no se empleará la potencia máxima del motor seleccionado, porque la potencia del motor seleccionado es ligeramente mayor que la potencia calculada, así que si calculamos en base a la potencia del motor seleccionado, la batería se estaría dimensionando de más.

$$\dot{w}_{bat} \geq \frac{20.8[kw]}{0.85} - 3.5[kw]$$

$$\dot{w}_{bat} \geq 20.97 [kw]$$

Se realizó una búsqueda en la que de acuerdo a datos de (Fuhs, 2009, p.320) la batería utilizada en el Toyota Prius es capaz de satisfacer la demanda de potencia, pero aún falta verificar otro de los requerimientos más importantes, la capacidad de la batería. Posteriormente se verificará si tal batería cuenta con una capacidad aceptable. Tal batería cuenta con las siguientes características:

- Tipo: Ni-MH (Níquel – Metal Hidruro)
- 168 Celdas (28 módulos)
- Voltaje nominal: 201.6 [V]
- Capacidad nominal 6.5 [Ah]
- Potencia 21 [kw]
- Potencia específica 1,300 [W/Kg]
- Energía específica 46 [Wh/kg]

Capacidad de las baterías:

En este caso la batería se dimensionó inicialmente por la potencia que puede entregar, a partir de esta selección se calculará si la capacidad de tal selección resulta conveniente. Para esto es necesario conocer las demandas de potencia a las que estará sometido el vehículo y la estrategia de operación, por lo que se realizó una simulación del estado de carga de las baterías en función de la estrategia de operación a través de los cuatro ciclos de manejo mencionados anteriormente; a continuación se describe cómo se llevó a cabo tal simulación.

2.5- Simulación del vehículo

Para la simulación del vehículo se consideró la curva de carga de la sección 2.3.6 y los ciclos de manejo de la sección 2.2, estos datos se relacionaron con los modelos de la batería, freno regenerativo y la estrategia de operación. A continuación se describen los criterios considerados para el modelado de los sistemas y la relación con los ciclos de manejo.

2.5.1- Simulación de la batería

Existen varios modelos de baterías utilizados en las simulaciones de vehículos, Johnson (2002) menciona cinco tipos de modelos de uso común:

- Resistencia interna y fuente de voltaje
- Resistencia y capacitor
- PNGV (Partnership for a new generation of vehicles) modelo de capacitancia
- Redes neuronales
- Modelo fundamental para baterías de ácido plomo

Por cuestiones de: simplicidad, que no se cuenta con ninguna batería para su caracterización y a que sólo se cuenta con los datos más generales (voltaje, capacidad, potencia y eficiencia) de la batería seleccionada, se decidió utilizar el modelo de resistencia interna, este tipo de modelo también se utiliza en los trabajos de: Manazir (2013), Kuen (2007), Jianping, Fengchun, Sun, Hongwen (2009) y Hannan, Azidin y Mohamed (2013), a continuación se muestran las idealizaciones realizadas y el planteamiento.

El modelo eléctrico de la batería se hace en base a una fuente de voltaje y una resistencia interna, el valor del voltaje en la fuente y la resistencia interna varían de acuerdo al estado de carga, temperatura y dirección de la corriente pero para este caso los valores de voltaje en circuito abierto y resistencia interna se considerarán constantes. El estado de carga es estimado por medio de un conteo de la capacidad utilizada, considerando las pérdidas debidas a la eficiencia de carga, para realizar tal conteo es necesario conocer la magnitud de la corriente en la batería:

Solución

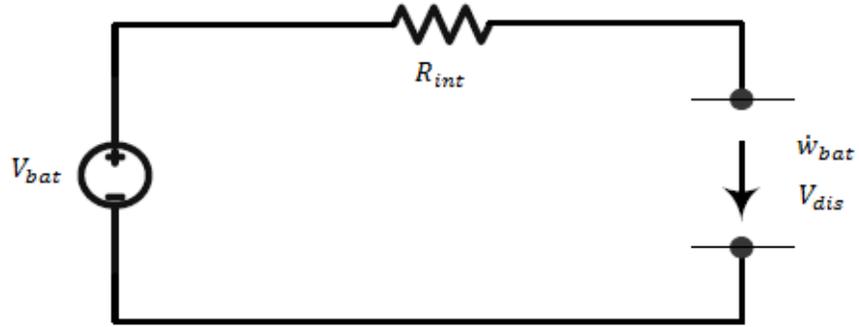


Figura 2.22 - Modelo de la batería

Donde:

$$V_{bat} = \text{Voltaje de circuito abierto [V]}$$

$$\dot{w}_{bat} = \text{Potencia en la batería [w]}$$

$$R_{int} = \text{Resistencia interna } [\Omega]$$

$$V_{dis} = \text{Voltaje disponible [V]}$$

$$I_b = \text{Corriente en la batería [A]}$$

Para calcular la corriente en la batería de acuerdo al modelo anterior:

$$\begin{aligned} \dot{w}_{bat\ n} &= V_{dis} I_{b\ n} \\ \dot{w}_{bat\ n} &= (V_{bat} - I_{b\ n} R_{int}) I_{b\ n} \\ \dot{w}_{bat\ n} &= V_{bat} I_{b\ n} - R_{int} I_{b\ n}^2 \\ I_{b\ n}^2 R_{int} - V_{bat} I_{b\ n} + \dot{w}_{bat} &= 0 \\ I_{b\ n} &= \frac{V_{bat} - \sqrt{V_{bat}^2 - 4R_{int}\dot{w}_{bat\ n}}}{2R_{int}} \end{aligned} \quad (2.23)$$

El valor de la potencia en la batería depende del estado del MCIR/gen, es decir si está encendido o apagado, más adelante se explicará más a detalle la estrategia de operación del MCI/gen.

$$\dot{w}_{bat\ n} = \begin{cases} \text{Si } MCI/gen = 0 & \dot{w}_{bat\ n} = \begin{cases} \dot{w}_{req\ n} & \text{si } a \geq 0 \\ \%reg \dot{w}_{req\ n} & \text{si } a < 0 \end{cases} \end{cases} \quad \begin{matrix} (2.24) \\ (2.25) \end{matrix}$$

$$\text{Si } MCI/gen = 1 \quad \dot{w}_{bat\ n} = -\dot{w}_{MCI/gen} + \begin{cases} 0 & \text{si } \dot{w}_{req\ n} \leq 0 \\ \dot{w}_{req} & \text{si } \dot{w}_{req\ n} > 0 \end{cases} \quad \begin{matrix} (2.26) \\ (2.27) \end{matrix}$$

Donde:

$$\%reg = \text{porcentaje de regeneración @ } v_{pn}$$

Este porcentaje será tratado con mayor detalle en la sección 2.5.3

Para el cálculo de la capacidad utilizada se utilizaron las mismas expresiones que en el trabajo de Hannan, M., Azidin, F. y Mohamed, A. (2013)

$$Ah_{us} = \begin{cases} \int_0^t I_b dt & \text{Para } I_b > 0 \text{ Descarga} & (2.28) \\ \int_0^t I_b \eta_{coulomb} dt & \text{Para } I_b < 0 \text{ Carga} & (2.29) \end{cases}$$

Donde:

$$\eta_{coulomb} = \text{Eficiencia de Coulomb de la batería}$$

Las expresiones anteriores fueron transcritas en la hoja de cálculo de la siguiente manera:

$$Ah_{us n} = \begin{cases} \int_0^t I_b dt = (\Delta t I_{b n}) + Ah_{n-1} & \text{si } I_{b n} > 0 \\ \int_0^t I_b \eta_{coulomb} dt = (\Delta t I_{b n} \eta_{coulomb}) + Ah_{n-1} & \text{si } I_{b n} < 0 \end{cases}$$

Una vez conocidos los valores de $I_{b n}$ y $Ah_{us n}$ es posible calcular el estado de carga de la siguiente manera:

$$EDC_n = \frac{Ah_{m\acute{a}x} - Ah_{us n}}{Ah_{m\acute{a}x}} \quad (2.30)$$

Donde:

$$EDC_n = \text{Estado de carga en el enésimo instante}$$

$$Ah_{m\acute{a}x} = \text{Capacidad máxima [Ah]}$$

$$Ah_{us n} = \text{Capacidad utilizada hasta el enésimo instante [Ah]}$$

2.5.2- Estrategia de operación

Una estrategia de operación es un conjunto de reglas establecidas en el controlador del vehículo que regulan la operación de cada componente. El controlador recibe los comandos de operación del conductor y retroalimentación de los componentes a controlar para tomar las decisiones sobre los modos de operación a utilizar. La estrategia de operación tiene un papel determinante en el desempeño y consumo de combustible del vehículo, su selección también depende de la misión del vehículo.

Para este trabajo se seleccionó la estrategia de termostato (encendido y apagado del MCIR) debido a que el vehículo estará sometido a condiciones de tráfico intenso y es poco probable que el vehículo alcance altas velocidades por un largo periodo de tiempo y, debido a esto, la batería se descargue rápidamente.

Una de las ventajas de esta estrategia es la relativa facilidad de implementarla ya que depende únicamente del estado de carga de la batería. Cuando el estado de carga alcanza su límite inferior, el MCIR/gen se enciende y suministra la energía necesaria para satisfacer las demandas del ciclo y cargar las baterías, cuando el estado de carga alcanza el límite establecido superior el MCIR/gen se apaga y el vehículo es propulsado únicamente con las baterías.

Con el uso de esta estrategia se aprovecha que la velocidad del vehículo es independiente del punto de operación del MCIR y de esta manera se puede seleccionar con gran libertad la zona de operación en donde presente mejor eficiencia.

La estrategia de operación se puede resumir de la siguiente manera:

$$MCI_n = \begin{cases} 0 & \text{si } EDC_{mín} \leq EDC_n \leq EDC_{max} \\ 1 & \text{si } EDC_{mín} > EDC_n \text{ y } EDC_x > EDC_{máx} \end{cases} \quad (2.31)$$

$$(2.32)$$

Donde:

MCI_n = Estado del MCI en el enésimo instante

EDC_x = Estado de carga en el que se cumple la condición $EDC_n > EDC_{máx}$

2.5.3- Porcentaje de regeneración

Una de las características más importantes de los vehículos híbridos es su capacidad para recuperar cantidades significativas de energía utilizada en el frenado. Los motores eléctricos pueden ser controlados para funcionar como generadores y convertir la energía cinética del vehículo en energía eléctrica que pueda ser almacenada en las baterías.

Según Taymaz, I. (2013) para que sea posible recuperar energía por medio del freno regenerativo es necesario que la velocidad del vehículo sea mayor que 16 [km/hr] ya que a velocidades menores no es posible que el motor eléctrico genere el par suficiente para frenar el vehículo. En la siguiente gráfica se muestra el porcentaje típico de energía recuperada en el freno regenerativo. Estos valores típicos fueron tomados de un simulador denominado Future Automotive Systems Technology Simulator (FASTSim) desarrollado por el National Renewable Energy Laboratory, 2013.

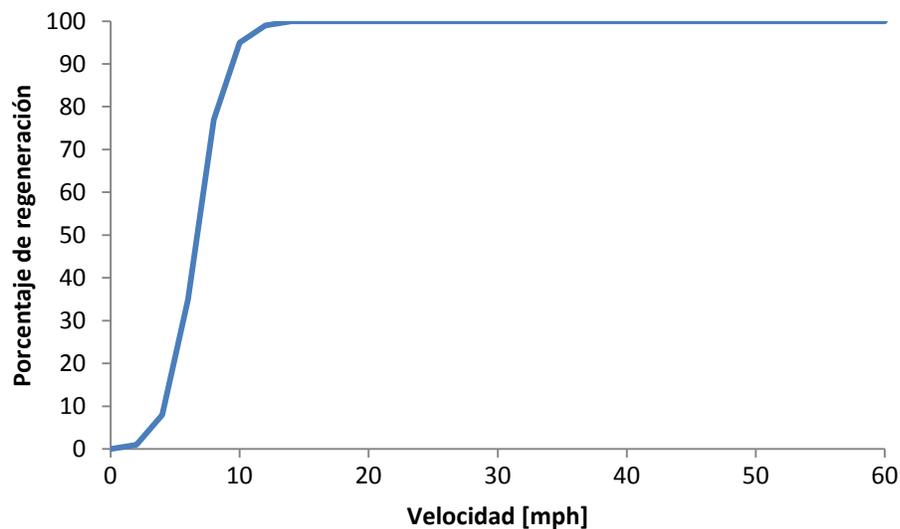


Figura 2.23 - Porcentaje de regeneración en función de la velocidad

En la hoja de cálculo el valor de %reg se obtiene en función de la velocidad del vehículo.

Se realizaron todos estos cálculos para los cuatro ciclos de manejo obtenidos en la Ciudad de México y para otros dos ciclos de manejo urbanos: UDDS y NYCC. Finalmente para verificar que tan limitado es el uso del vehículo en carretera se realizaron los mismos cálculos para el ciclo HWFET. En el siguiente capítulo se muestran los resultados.

Solución

Resultados

3.- Resultados

En esta sección sólo se mostrarán algunos de los resultados debido al gran número de datos.

Tabla 3.1 - Resultados parciales del ciclo I

Ciclo real		Promedios			Cálculos										Termostato		
Tiempo [s]	Vel. [m/s]	Tiempo [s]	Vel [m/s]	Vel [m/s]	a [m/s ²]	a _c [m/s ²]	F _t [N]	w _{req} [w]	ω ₁ [1/s]	w _{bat} [w]	I _b [A]	Ah _{us}	EDC	MCI prev	EDCmin?	OR	MCI/Gen
0	0.00	0.5	0.00	0.00	0	0	49.1	0.00	0.0	0.0	0.0	1.3000	0.800	X	X	X	0.0
1	0.00	1.5	0.00	0.00	0	0	49.1	0.00	0.0	0.0	0.0	1.3000	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.00	2.5	0.00	0.00	0	0	49.1	0.00	0.0	0.0	0.0	1.3000	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.00	3.5	0.00	0.00	0	0	49.1	0.00	0.0	0.0	0.0	1.3000	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.00	4.5	0.00	0.00	0	0	49.1	0.00	0.0	0.0	0.0	1.3000	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.00	5.5	0.25	0.5025	0.5025	0.5025	300.6	75.53	0.9	75.5	0.4	1.3001	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.50	6.5	0.25	-0.5025	-0.5025	-113.9	-28.62	0.9	-0.1	0.0	0.0	1.3001	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.00	7.5	0.00	0.00	0	0	49.1	0.00	0.0	0.0	0.0	1.3001	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.00	8.5	0.00	0.00	0	0	49.1	0.00	0.0	0.0	0.0	1.3001	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.00	9.5	0.00	0.00	0	0	49.1	0.00	0.0	0.0	0.0	1.3001	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.00	10.5	0.00	0.00	0	0	49.1	0.00	0.0	0.0	0.0	1.3001	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.00	11.5	0.25	0.5025	0.5025	300.6	75.53	0.9	75.5	0.4	1.3002	0.800	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.50	12.5	0.25	-0.5025	-0.5025	-113.9	-28.62	0.9	-0.1	0.0	0.0	1.3002	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.00	13.5	0.75	1.5075	1.5075	803.8	605.86	2.7	605.9	3.0	1.3010	0.800	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
14	1.51	14.5	1.01	-1.005	-1.005	-276.2	-277.62	3.5	-5.2	0.0	0.0	1.3010	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.50	15.5	1.26	1.5075	1.5075	804.7	1010.85	4.4	1010.9	5.0	1.3024	0.800	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
16	2.01	16.5	1.51	-1.005	-1.005	-275.2	-414.86	5.3	-24.1	-0.1	1.3024	0.800	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
17	1.01	17.5	0.75	-0.5025	-0.5025	-113.3	-85.37	2.7	-0.7	0.0	1.3024	0.800	0.800	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.50	18.5	1.51	2.01	2.01	1056.4	1592.56	5.3	1592.6	8.0	1.3046	0.799	0.799	0.0	0.0	0.0	0.0
19	2.51	19.5	2.76	0.5025	0.5025	305.7	844.78	9.7	844.8	4.2	1.3058	0.799	0.799	0.0	0.0	0.0	0.0
20	3.02	20.5	3.77	1.5075	1.5075	811.2	3057.35	13.3	3057.4	15.3	1.3101	0.798	0.798	0.0	0.0	0.0	0.0

3.1- Puntos de operación del motor eléctrico

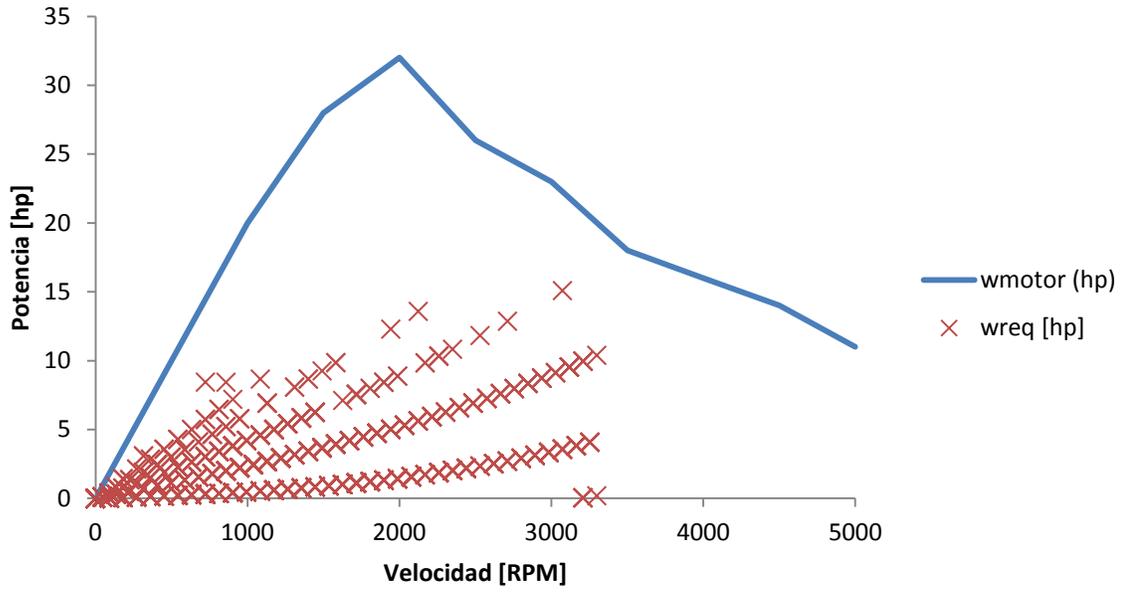


Figura 3.1 - Curva de potencia del motor eléctrico y puntos de operación del ciclo I

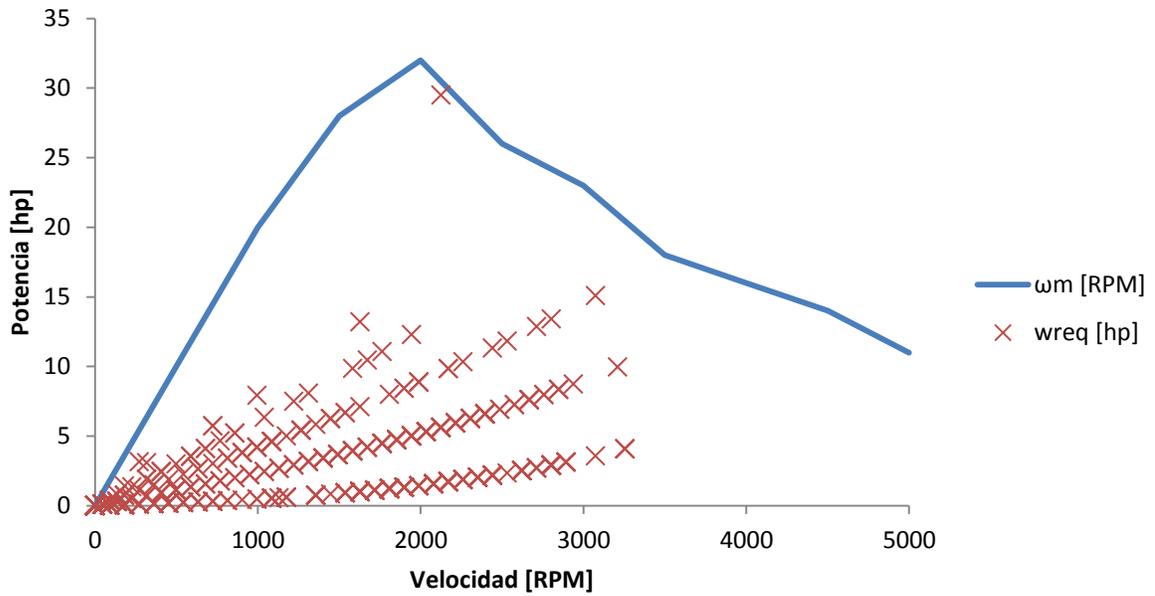


Figura 3.2 - Curva de potencia del motor eléctrico y puntos de operación del ciclo II

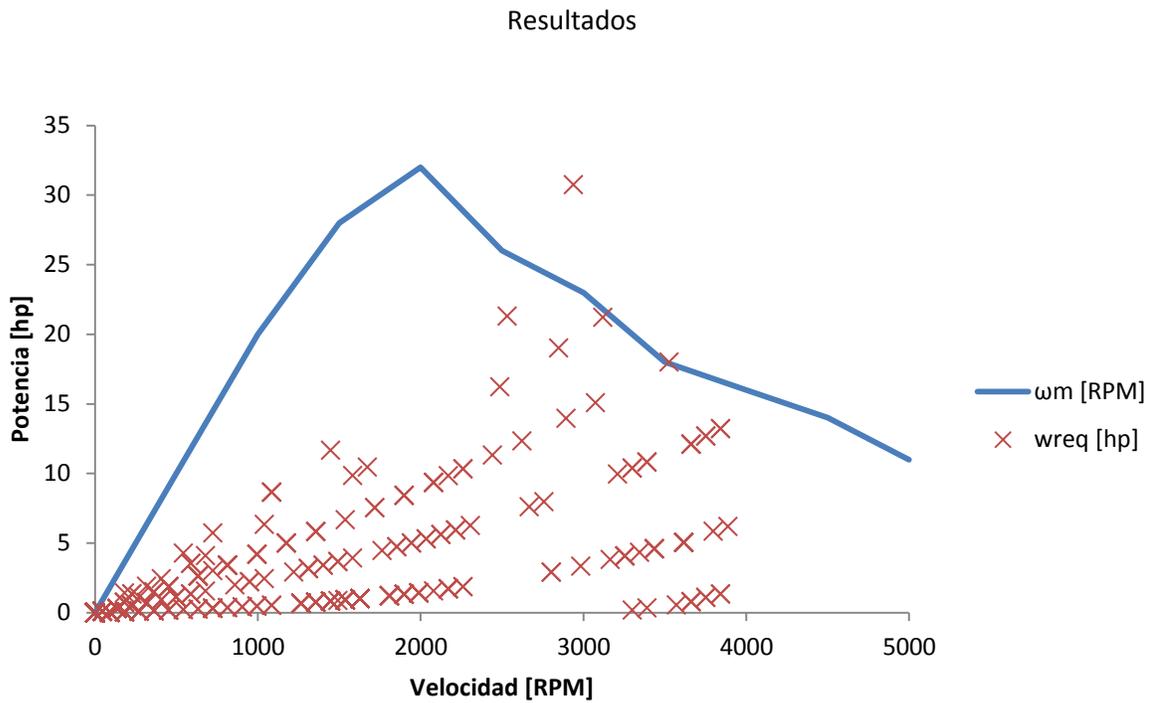


Figura 3.3 - Curva de potencia del motor eléctrico y puntos de operación del ciclo III

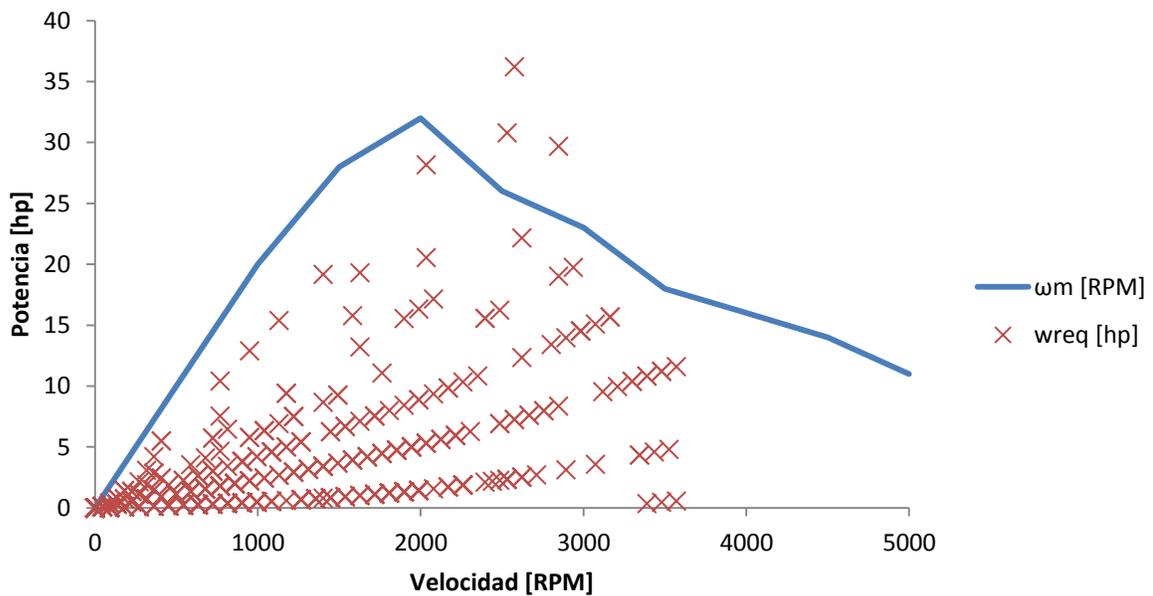


Figura 3.4 - Curva de potencia del motor eléctrico y puntos de operación del ciclo IV

Se observa que el motor eléctrico seleccionado satisface prácticamente la totalidad de los ciclos I, II y III, en el caso del ciclo IV hay más puntos de operación que el motor eléctrico no puede satisfacer, como se ha observado a lo largo de este trabajo el ciclo IV es el ciclo más demandante de los cuatro ciclos, así que debido a que el motor eléctrico cumple con la mayoría de los puntos de operación en la

mayoría de los ciclos se dará por hecho que tal motor tendrá un buen desempeño. Para tener un panorama más amplio de la demanda de potencia en el motor eléctrico se realizó el análisis en otros dos ciclos de manejo urbanos: UDDS y NYCC.

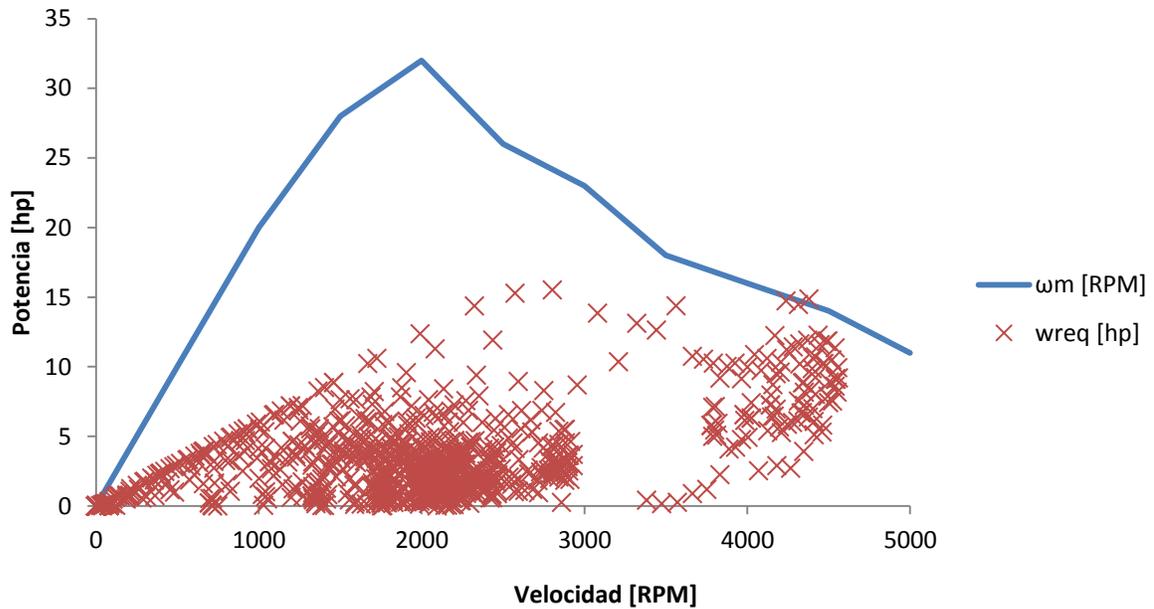


Figura 3.5 - Curva de potencia del motor eléctrico y puntos de operación del ciclo UDDS

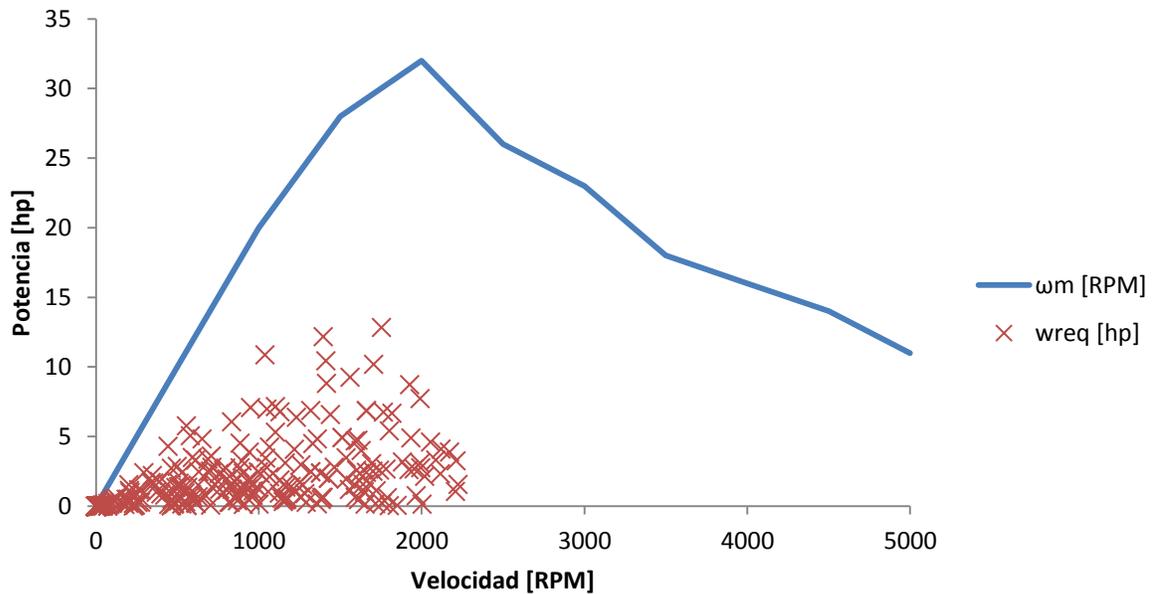


Figura 3.6 - Curva de potencia del motor eléctrico y puntos de operación del ciclo NYCC

A partir de las figuras 3.1 a 3.6 se puede concluir que el motor seleccionado puede satisfacer los ciclos de manejo urbanos siempre y cuando no sean tan demandantes como el ciclo IV. También es muy

importante aclarar que sólo se considera la potencia que puede entregar el motor, dicha potencia está limitada por la potencia que puede entregar la batería, si bien la potencia de la batería está dimensionada en base en la potencia que demandará el motor eléctrico, no se ha considerado que la potencia que puede entregar la batería está en función de su estado de carga, en otras palabras, una batería cargada al 100% no entregará la misma potencia que cuando está cargada a un 20%, por lo que, aunque el motor eléctrico puede entregar la potencia suficiente para satisfacer los ciclos de manejo, falta asegurar que la batería pueda suministrar tal cantidad de potencia a cierto estado de carga.

3.2- Simulaciones

Se realizaron cinco series de simulaciones para calcular el rendimiento de combustible a partir de diferentes enfoques.

- *Simulaciones para calcular la autonomía del vehículo en cada ciclo*

En esta simulación se realizaron todos los cálculos para cada ciclo partiendo de un estado de carga inicial de 100%, al terminar una corrida del ciclo las condiciones finales del ciclo calculado son las condiciones iniciales del ciclo siguiente y la simulación termina cuando el estado de carga llega al 20%. Si bien en esta simulación no se obtiene ningún consumo de combustible, se obtiene la autonomía del vehículo en modo eléctrico y el consumo específico de energía.

- *Simulaciones por ciclo durante 100 [km]*

De igual manera que en la simulación anterior se realizaron los cálculos para cada ciclo partiendo de un estado de carga inicial de 100% calculando un ciclo seguido de otro y las simulaciones se repiten hasta que el recorrido del vehículo llega a 100 [km,] para cada una de estas simulaciones se obtiene un rendimiento de combustible.

- *Simulaciones por ciclo partiendo de distintos estados iniciales de carga*

Para estas simulaciones se realizaron 10 corridas por ciclo, en la primera simulación se calculó con la condición inicial de 80% de estado de carga inicial, en la segunda con 50% y en la tercera con 20%. Se obtiene un consumo de combustible para cada ciclo y cada simulación a cada condición inicial de estado de carga.

- *Simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC a distintos estados de carga*

En este caso las corridas de cada ciclo se ejecutan sucesivamente, es decir, el final del ciclo I será el inicio del ciclo II, el final del ciclo II será el inicio del ciclo III y así sucesivamente. Las variaciones en los estados de carga se varían para el ciclo I en cada simulación de igual manera que en las simulaciones anteriores 80%, 50%, y 20%. Se obtiene un consumo de combustible para cada simulación.

- *Simulación de un ciclo de carretera*

Se realiza la simulación para un ciclo de carretera HWFET con un estado de carga inicial de 80%

3.2.1.-Simulaciones para calcular la autonomía en modo sólo eléctrico

A continuación se muestran las gráficas de la simulación del ciclo uno para obtener la autonomía del vehículo.

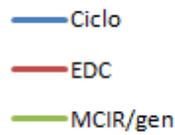


Figura 3.7 – Simbología de las siguientes gráficas

3.2.1.1-Ciclo I

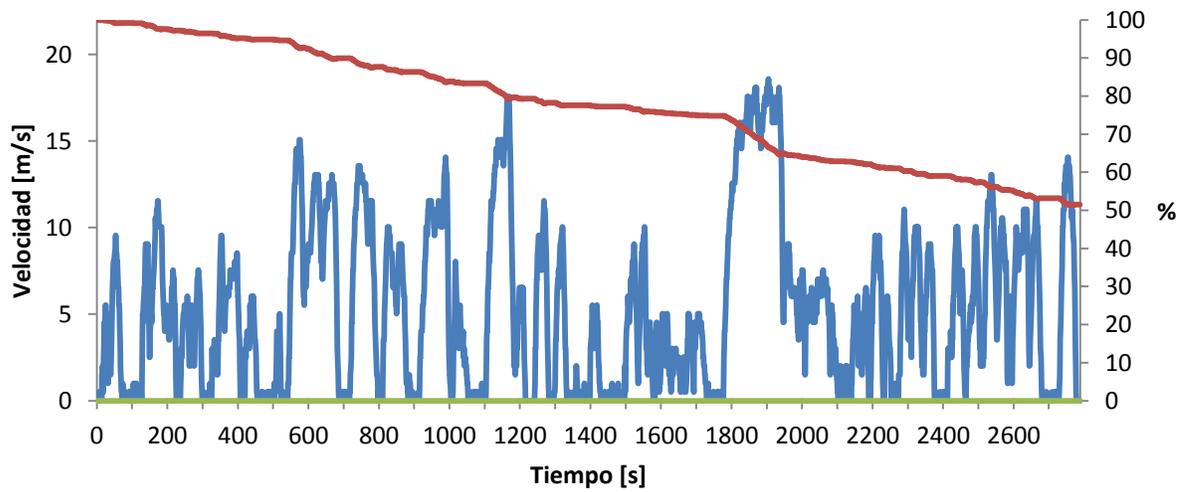


Figura 3.8 - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Resultados

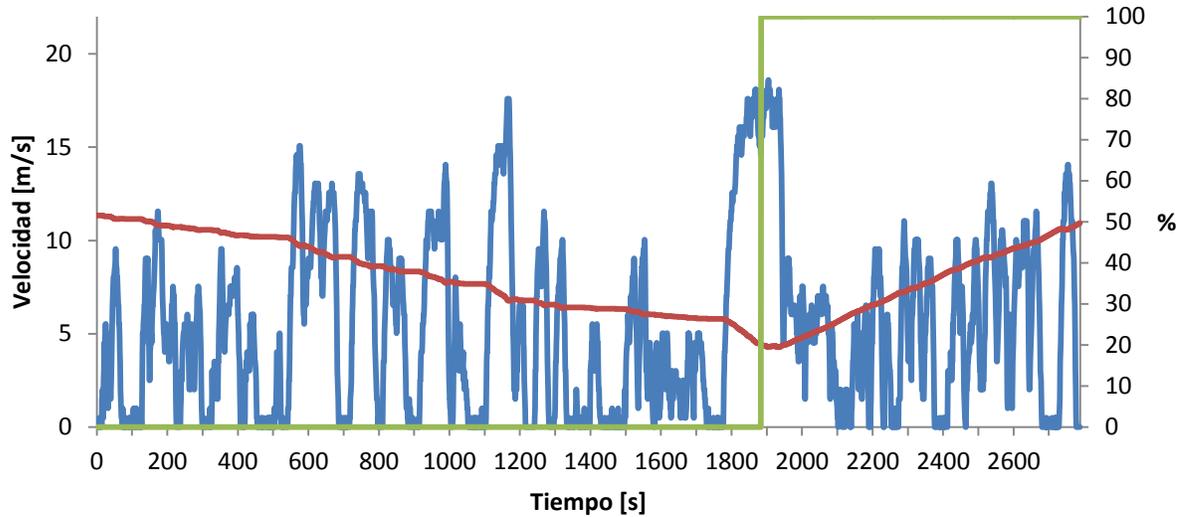


Figura 3.9 - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Un parámetro importante en los vehículos eléctricos es el consumo específico de energía se define como se muestra a continuación:

$$CEE = \frac{E_b}{m_v d_{me}} \quad (3.1)$$

Donde:

CEE: Consumo específico de energía [wh/kg km]

E_b: Energía almacenada en la batería [wh]

m_v = Masa del vehículo [kg]

d_{me} = Distancia recorrida en modo eléctrico [km]

Para el primer ciclo:

$$CEE = \frac{(1,306.5[wh])(0.8)}{(500[kg])(24.49[km])}$$

$$CEE = 0.085 \left[\frac{wh}{kg km} \right]$$

Tabla 3.2 – Resumen del cálculo de autonomía para el ciclo I

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	Tiempo [S]	CEE [Wh/kg km]
1	14.95	1	0.52	2,788	0.085
2	9.54	0.52	0.20	1,883	
Total	24.49				

3.2.1.2-Ciclo II

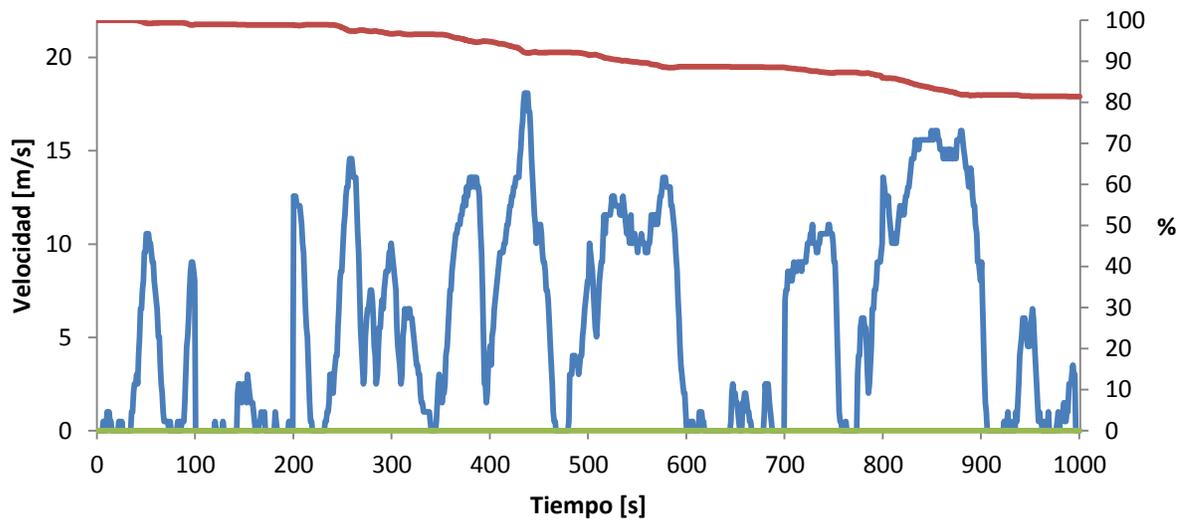


Figura 3.10 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

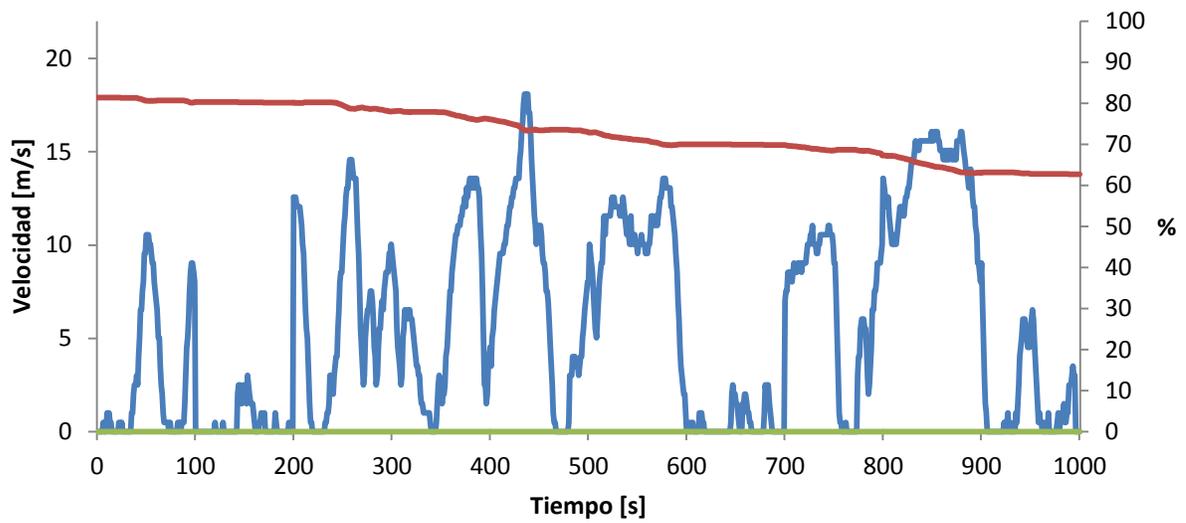


Figura 3.11 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Resultados

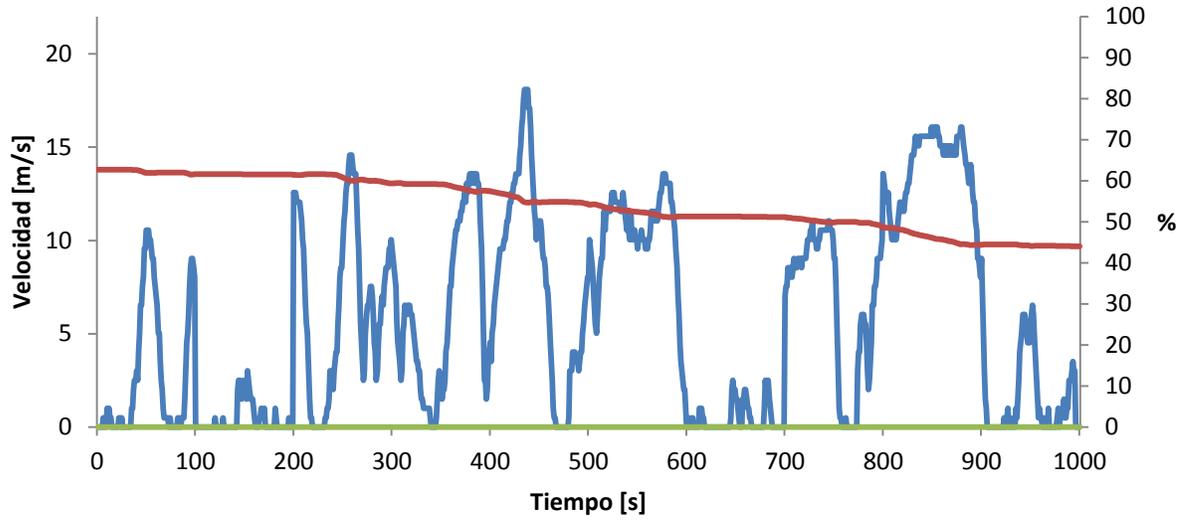


Figura 3.12 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

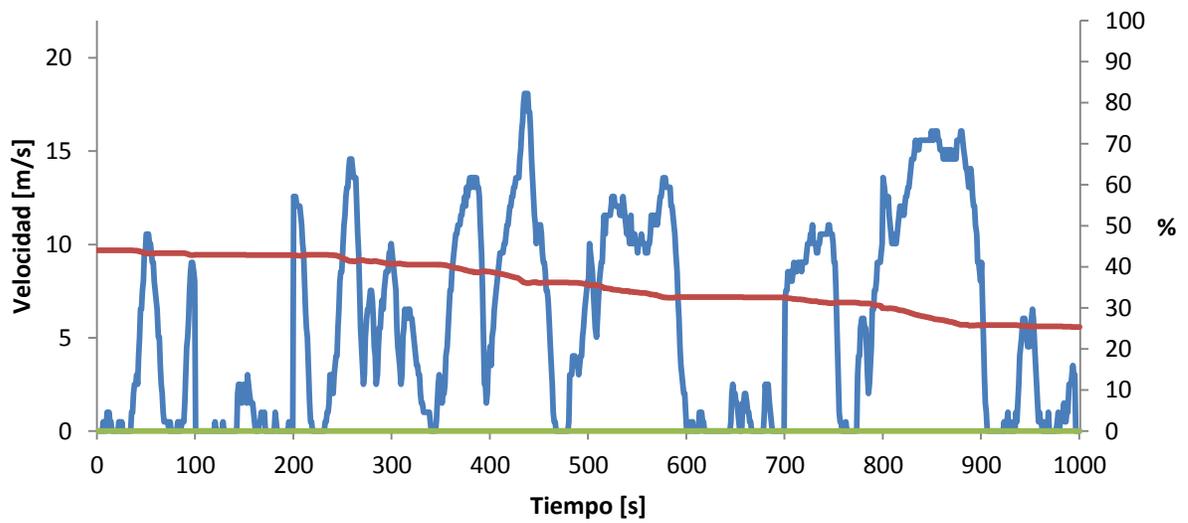


Figura 3.13 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Capítulo 3

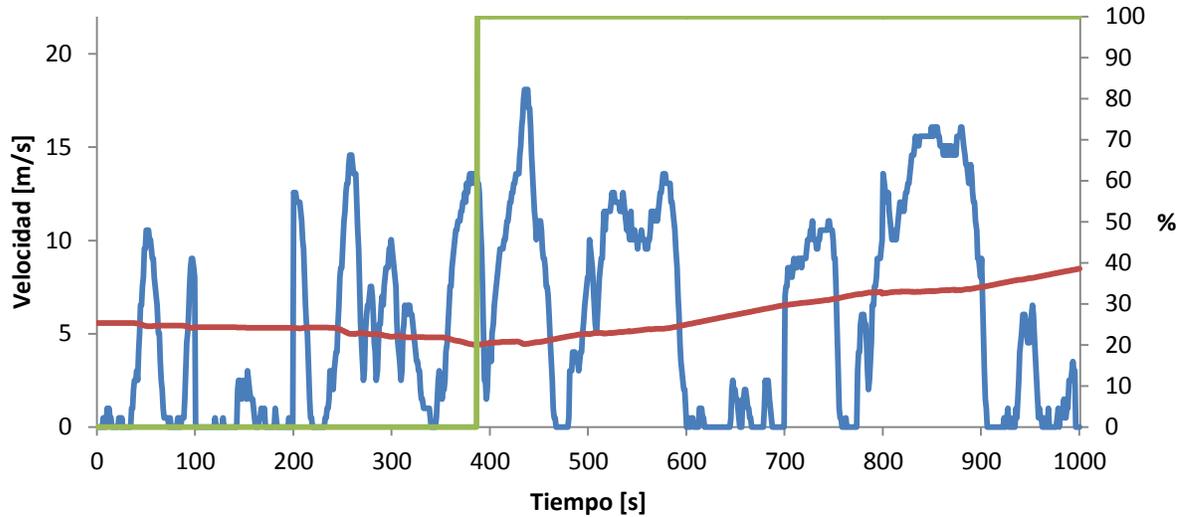


Figura 3.14 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Tabla 3.3 – Resumen del cálculo de autonomía para el ciclo II

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	Tiempo [S]	CEE [Wh/kg km]
1	5.6	1.00	0.81	1,000	0.087
2	5.6	0.81	0.63	1,000	
3	5.6	0.63	0.44	1,000	
4	5.6	0.44	0.25	1,000	
5	1.56	0.25	0.20	386	
Total	23.96				

Debido a la gran cantidad de gráficas generadas por cada simulación, sólo se mostrarán las tablas de resumen como la 3.2 y 3.3, todas las gráficas restantes (figuras de la 3.15 a la 3.347) se pueden consultar en el anexo al final de este trabajo, se continuará con la numeración que se lleva hasta el momento pero se antepondrá la letra “A” haciendo referencia al anexo de este trabajo, todo esto con la finalidad de no perder continuidad en el mismo.

Resultados

3.2.1.3-Ciclo III

Tabla 3.4 – Resumen del cálculo de autonomía para el ciclo III

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	Tiempo [S]	CEE [Wh/kg km]
1	3.06	1.00	0.88	1,000	0.107
2	3.06	0.88	0.76	1,000	
3	3.06	0.76	0.63	1,000	
4	3.06	0.63	0.51	1,000	
5	3.06	0.51	0.39	1,000	
6	3.06	0.39	0.27	1,000	
7	1.210	0.27	0.20	394	
Autonomía	19.57				

3.2.1.4-Ciclo IV

Tabla 3.5 – Resumen del cálculo de autonomía para el ciclo IV

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	Tiempo [S]	CEE [Wh/kg km]
1	5.256	1.00	0.80	1,000	0.102
2	5.256	0.80	0.59	1,000	
3	5.256	0.59	0.39	1,000	
4	4.661	0.39	0.20	923	
Autonomía	20.43				

3.2.1.5-Ciclo UDDS

Tabla 3.6 – Resumen del cálculo de autonomía para el ciclo UDDS

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	Tiempo [S]	CEE [Wh/kg km]
1	11.99	1.00	0.56	1,368	0.100
2	8.74	0.56	0.20	885	
Autonomía	20.73				

Capítulo 3

3.2.1.6-Ciclo NYCC

Tabla 3.7 – Resumen del cálculo de autonomía para el ciclo NYCC

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	Tiempo [S]	CEE [Wh/kg km]
1	1.90	1.00	0.94	598	0.089
2	1.90	0.94	0.87	598	
3	1.90	0.87	0.81	598	
4	1.90	0.81	0.74	598	
5	1.90	0.74	0.68	598	
6	1.90	0.68	0.61	598	
7	1.90	0.61	0.55	598	
8	1.90	0.55	0.48	598	
9	1.90	0.48	0.42	598	
10	1.90	0.42	0.35	598	
11	1.90	0.35	0.29	598	
12	1.90	0.29	0.22	598	
13	0.64	0.22	0.20	197	
Autonomía	23.42				

3.2.1.7-Resumen de resultados de las simulaciones para el cálculo de autonomía

Tabla 3.8 – Resumen de resultados de las simulaciones para el cálculo de autonomía

Ciclo	Distancia del ciclo [km]	Número de recorridos f(t)	Autonomía [km]	Tiempo [S]	CEE [Wh/kg km]
Ciclo I	14.95	1.67	24.49	4,671	0.085
Ciclo II	5.60	4.38	23.96	4,386	0.087
Ciclo III	3.06	6.39	19.54	7,394	0.107
Ciclo IV	5.25	3.92	20.43	3,923	0.102
UDDS	11.99	1.64	20.73	2,253	0.100
NYCC	1.90	12.32	23.42	7,373	0.089
		<i>Promedios</i>	22.01		0.095

Resultados

3.2.2.-Simulaciones por ciclo durante 100 [km]

3.2.2.1-Ciclo I

Tabla 3.9 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo I durante 100 [km]

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	Tiempo [S]	MCI =1 [s]
1	14.95	1.00	0.52	2,788	0
2	14.95	0.52	0.50	2,788	905
3	14.95	0.50	0.45	2,788	839
4	14.95	0.45	0.56	2,788	1,133
5	14.95	0.56	0.41	2,788	661
6	14.95	0.41	0.72	2,788	1,527
7	10.3	0.72	0.48	1,931	203
Total	100				5,268

rc [km/l]	60.26
-----------	-------

3.2.2.2-Ciclo II

Tabla 3.10 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo II durante 100 [km]

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	Tiempo [S]	MCI =1 [s]
1	5.6	1.00	0.81	1,000	0
2	5.6	0.81	0.63	1,000	0
3	5.6	0.63	0.44	1,000	0
4	5.6	0.44	0.25	1,000	0
5	5.6	0.25	0.39	1,000	614
6	5.6	0.39	0.71	1,000	1,000
7	5.6	0.71	0.63	1,000	198
8	5.6	0.63	0.44	1,000	0
9	5.6	0.44	0.25	1,000	0
10	5.6	0.25	0.39	1,000	619
11	5.6	0.39	0.72	1,000	1,000
12	5.6	0.72	0.63	1,000	196
13	5.6	0.63	0.44	1,000	0
14	5.6	0.44	0.25	1,000	0
15	5.6	0.25	0.39	1,000	617
	5.6	0.39	0.71	1,000	1,000

Capítulo 3

17	5.6	0.71	0.63	1,000	197
18	4.8	0.63	0.46	851	0
Total	100				5,444

rc [km/]	58.31
----------	-------

3.2.2.3-Ciclo III

Tabla 3.11 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo III durante 100 [km]

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	Tiempo [S]	MCI =1 [s]
1	3.10	1.00	0.88	1,000	0
2	3.10	0.88	0.76	1,000	0
3	3.10	0.76	0.63	1,000	0
4	3.10	0.63	0.51	1,000	0
5	3.10	0.51	0.39	1,000	0
6	3.10	0.39	0.27	1,000	0
7	3.10	0.27	0.44	1,000	607
8	3.10	0.44	0.80	1,000	980
9	3.10	0.80	0.68	1,000	0
10	3.10	0.68	0.56	1,000	0
11	3.10	0.56	0.43	1,000	0
12	3.10	0.43	0.31	1,000	0
13	3.10	0.31	0.36	1,000	363
14	3.10	0.36	0.73	1,000	1,001
15	3.10	0.73	0.68	1,000	148
16	3.10	0.68	0.56	1,000	0
17	3.10	0.56	0.44	1,000	0
18	3.10	0.44	0.32	1,000	0
19	3.10	0.32	0.29	1,000	194
20	3.10	0.29	0.66	1,000	1,000
21	3.10	0.66	0.72	1,000	366
22	3.10	0.72	0.59	1,000	0
23	3.10	0.59	0.47	1,000	0
24	3.10	0.47	0.35	1,000	0
25	3.10	0.35	0.23	1,000	0
26	3.10	0.23	0.43	1,000	666

Resultados

27	3.10	0.43	0.80	1,000	995
28	3.10	0.80	0.68	1,000	0
29	3.10	0.68	0.56	1,000	0
30	3.10	0.56	0.43	1,000	0
31	3.10	0.43	0.31	1,000	0
32	3.10	0.31	0.36	1,000	362
33	0.80	0.36	0.50	341	332
Total	100				7,015

rc [km/]	45.25
----------	-------

3.2.2.4-Ciclo IV

Tabla 3.12 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo IV durante 100 [km]

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	Tiempo [S]	MCI =1 [s]
1	5.25	1.00	0.80	1,000	0
2	5.25	0.80	0.59	1,000	0
3	5.25	0.59	0.39	1,000	0
4	5.25	0.39	0.22	1,000	77
5	5.25	0.22	0.50	1,000	1,000
6	5.25	0.50	0.78	1,000	1,000
7	5.25	0.78	0.60	1,000	62
8	5.25	0.60	0.40	1,000	0
9	5.25	0.40	0.22	1,000	57
10	5.25	0.22	0.50	1,000	1,000
11	5.25	0.50	0.77	1,000	1,000
12	5.25	0.77	0.60	1,000	63
13	5.25	0.60	0.40	1,000	0
14	5.25	0.40	0.22	1,000	57
15	5.25	0.22	0.50	1,000	1,000
16	5.25	0.50	0.77	1,000	1,000
17	5.25	0.77	0.60	1,000	64
18	5.25	0.60	0.40	1,000	0
19	5.25	0.40	0.22	1,000	57
20	0.25	0.22	0.27	135	136
Total	100				6,579

Capítulo 3

rc [km/]	48.25
----------	-------

3.2.2.5-UDDS

Tabla 3.13 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo UDDS durante 100 [km]

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	Tiempo [S]	MCI =1 [s]
1	11.99	1.00	0.56	1,368	0
2	11.99	0.56	0.37	1,368	484
3	11.99	0.37	0.68	1,368	1,368
4	11.99	0.68	0.66	1,368	764
5	11.99	0.66	0.22	1,368	0
6	11.99	0.22	0.49	1,368	1,292
7	11.99	0.49	0.80	1,368	1,361
8	11.99	0.80	0.36	1,368	0
9	4.08	0.36	0.20	314	51
Total	100				5,321

rc [km/lt]	59.66
------------	-------

3.2.2.6-NYCC

Tabla 3.14 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo NYCC durante 100 [km]

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	Tiempo [S]	MCI =1 [s]
1	1.89	1.00	0.94	598	0
2	1.89	0.94	0.87	598	0
3	1.89	0.87	0.81	598	0
4	1.89	0.81	0.74	598	0
5	1.89	0.74	0.68	598	0
6	1.89	0.68	0.61	598	0
7	1.89	0.61	0.55	598	0
8	1.89	0.55	0.48	598	0
9	1.89	0.48	0.42	598	0
10	1.89	0.42	0.35	598	0

Resultados

11	1.89	0.35	0.29	598	0
12	1.89	0.29	0.22	598	0
13	1.89	0.22	0.36	598	402
14	1.89	0.36	0.59	598	598
15	1.89	0.59	0.79	598	527
16	1.89	0.79	0.73	598	0
17	1.89	0.73	0.66	598	0
18	1.89	0.66	0.60	598	0
19	1.89	0.60	0.53	598	0
20	1.89	0.53	0.47	598	0
21	1.89	0.47	0.40	598	0
22	1.89	0.40	0.34	598	0
23	1.89	0.34	0.27	598	0
24	1.89	0.27	0.21	598	0
25	1.89	0.21	0.39	598	501
26	1.89	0.39	0.63	598	598
27	1.89	0.63	0.79	598	443
28	1.89	0.79	0.72	598	0
29	1.89	0.72	0.66	598	0
30	1.89	0.66	0.59	598	0
31	1.89	0.59	0.53	598	0
32	1.89	0.53	0.46	598	0
33	1.89	0.46	0.40	598	0
34	1.89	0.40	0.33	598	0
35	1.89	0.33	0.27	598	0
36	1.89	0.27	0.20	598	0
37	1.89	0.20	0.41	598	538
38	1.89	0.41	0.64	598	598
39	1.89	0.64	0.78	598	412
40	1.89	0.78	0.72	598	0
41	1.89	0.72	0.65	598	0
42	1.89	0.65	0.59	598	0
43	1.89	0.59	0.52	598	0
44	1.89	0.52	0.46	598	0
45	1.89	0.46	0.39	598	0
46	1.89	0.39	0.33	598	0
47	1.89	0.33	0.26	598	0
48	1.89	0.26	0.22	598	53
49	1.89	0.22	0.46	598	598
50	1.89	0.46	0.69	598	598

Capítulo 3

51	1.89	0.69	0.78	598	298
52	1.89	0.78	0.71	598	0
53	1.72	0.71	0.66	540	0
Total	100				6,169

rc [km/]	51.46
----------	-------

3.2.2.7-Resumen de resultados de las simulaciones de cada ciclo durante 100 [km]

Tabla 3.15 – Resumen de las simulaciones de cada ciclo durante 100 [km]

Ciclo	EDC _{final}	MCI=1 [S]	rc [km/lt]
Ciclo I	0.48	5,268	60.26
Ciclo II	0.46	5,444	58.31
Ciclo III	0.50	7,015	45.25
Ciclo IV	0.27	6,579	48.25
UDDS	0.20	5,321	59.66
NYCC	0.66	6,169	51.46
		Promedio	53.87

3.2.3.-Simulaciones por ciclo partiendo de distintos estados iniciales de carga

3.2.3.1.-Ciclo I

3.2.3.1.1.-Ciclo I partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Tabla 3.16 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo I partiendo de un estado de carga inicial de 80%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	14.95	0.80	0.32	0
2	14.95	0.32	0.74	1,754
3	14.95	0.74	0.26	0
4	14.95	0.26	0.73	1,819
5	14.95	0.73	0.24	0
6	14.95	0.24	0.69	1,784
7	14.95	0.69	0.20	0
8	14.95	0.20	0.57	1,644

Resultados

9	14.95	0.57	0.46	746
10	14.95	0.46	0.45	920
Total	149.47			8,667

rc [km/]	54.75
----------	-------

3.2.3.1.2.-Ciclo I partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Tabla 3.17 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo I partiendo de un estado de carga inicial de 50%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	14.95	0.50	0.50	932
2	14.95	0.50	0.45	837
3	14.95	0.45	0.56	1,131
4	14.95	0.56	0.42	667
5	14.95	0.42	0.72	1,523
6	14.95	0.72	0.34	203
7	14.95	0.34	0.78	1,785
8	14.95	0.78	0.30	0
9	14.95	0.30	0.73	1,753
10	14.95	0.73	0.24	0
Total	149.47			8,831

rc [km/]	53.73
----------	-------

3.2.3.1.3.-Ciclo I partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Tabla 3.18 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo I partiendo de un estado de carga inicial de 20%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	14.95	0.20	0.56	1,645
2	14.95	0.56	0.47	764
3	14.95	0.47	0.45	905
4	14.95	0.45	0.50	1,010
5	14.95	0.50	0.45	830
6	14.95	0.45	0.56	1,140

Capítulo 3

7	14.95	0.56	0.40	639
8	14.95	0.40	0.76	1,627
9	14.95	0.76	0.32	98
10	14.95	0.32	0.76	1,761
Total	149.47			10,419

rc [km/]	45.54
----------	-------

3.2.3.2.-Ciclo II

3.2.3.2.1.-Ciclo II partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Tabla 3.19 –Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo II partiendo de un estado de carga inicial de 80%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	5.65	0.80	0.61	0
2	5.65	0.61	0.43	0
3	5.65	0.43	0.24	0
4	5.65	0.24	0.39	640
5	5.65	0.39	0.72	1,000
6	5.65	0.72	0.63	192
7	5.65	0.63	0.44	0
8	5.65	0.44	0.25	0
9	5.65	0.25	0.39	619
10	5.65	0.39	0.72	1,000
Total	56.46			3,451

rc [km/]	51.90
----------	-------

3.2.3.2.2.-Ciclo II partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Tabla 3.20 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo II partiendo de un estado de carga inicial de 50%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	5.65	0.50	0.31	0
2	5.65	0.31	0.35	426
3	5.65	0.35	0.67	1,000
4	5.65	0.67	0.65	325

Resultados

5	5.65	0.65	0.46	0
6	5.65	0.46	0.28	0
7	5.65	0.28	0.38	568
8	5.65	0.38	0.71	1,000
9	5.65	0.71	0.63	210
10	5.65	0.63	0.44	0
Total	56.46			3,529

rc [km/]	50.76
----------	-------

3.2.3.2.3.-Ciclo II partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Tabla 3.21 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo II partiendo de un estado de carga inicial de 20%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	5.65	0.20	0.53	996
2	5.65	0.53	0.78	857
3	5.65	0.78	0.60	0
4	5.65	0.60	0.41	0
5	5.65	0.41	0.22	0
6	5.65	0.22	0.42	746
7	5.65	0.42	0.75	1,000
8	5.65	0.75	0.62	118
9	5.65	0.62	0.44	0
10	5.65	0.44	0.25	0
Total	56.46			3,718

rc [km/]	48.20
----------	-------

3.2.3.3.-Ciclo III

3.2.3.3.1.-Ciclo III partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Tabla 3.22 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo III partiendo de un estado de carga inicial de 80%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	3.07	0.80	0.68	0
2	3.07	0.68	0.56	0
3	3.07	0.56	0.43	0
4	3.07	0.43	0.31	0
5	3.07	0.31	0.36	363
6	3.07	0.36	0.73	1,001
7	3.07	0.73	0.68	148
8	3.07	0.68	0.56	0
9	3.07	0.56	0.44	0
10	3.07	0.44	0.32	0
Total	30.65			1,512

rc [km/]	64.36
----------	-------

3.2.3.3.2.-Ciclo III partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Tabla 3.23 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo III partiendo de un estado de carga inicial de 50%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	3.07	0.50	0.38	0
2	3.07	0.38	0.26	0
3	3.07	0.26	0.43	614
4	3.07	0.43	0.80	991
5	3.07	0.80	0.68	0
6	3.07	0.68	0.56	0
7	3.07	0.56	0.43	0
8	3.07	0.43	0.31	0
9	3.07	0.31	0.36	362
10	3.07	0.36	0.73	1,000
Total	30.65			2,967

Resultados

rc [km/]	32.79
----------	-------

3.2.3.3.3.-Ciclo III partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Tabla 3.24 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo III partiendo de un estado de carga inicial de 20%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	3.07	0.20	0.57	988
2	3.07	0.57	0.79	701
3	3.07	0.79	0.67	0
4	3.07	0.67	0.55	0
5	3.07	0.55	0.42	0
6	3.07	0.42	0.30	0
7	3.07	0.30	0.36	374
8	3.07	0.36	0.73	1,001
9	3.07	0.73	0.68	153
10	3.07	0.68	0.56	0
Total	30.65			3,217

rc [km/]	30.25
----------	-------

3.2.3.4.-Ciclo IV

3.2.3.4.1.-Ciclo IV partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Tabla 3.25 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo IV partiendo de un estado de carga inicial de 80%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	5.26	0.80	0.60	0
2	5.26	0.60	0.39	0
3	5.26	0.39	0.22	61
4	5.26	0.22	0.49	1,000
5	5.26	0.49	0.77	1,000
6	5.26	0.77	0.60	69
7	5.26	0.60	0.40	0
8	5.26	0.40	0.22	57
9	5.26	0.22	0.50	1,000

Capítulo 3

10	5.26	0.50	0.77	1,000
Total	52.56			4,191

rc [km/]	39.81
----------	-------

3.2.3.4.2.-Ciclo IV partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Tabla 3.26 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo IV partiendo de un estado de carga inicial de 50%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	5.26	0.50	0.30	0
2	5.26	0.30	0.33	497
3	5.26	0.33	0.61	1,000
4	5.26	0.61	0.73	683
5	5.26	0.73	0.53	0
6	5.26	0.53	0.32	0
7	5.26	0.32	0.30	364
8	5.26	0.30	0.58	1,000
9	5.26	0.58	0.73	754
10	5.26	0.73	0.53	0
Total	52.56			4,298

rc [km/]	38.81
----------	-------

3.2.3.4.3.-Ciclo IV partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Tabla 3.27 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo IV partiendo de un estado de carga inicial de 20%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	5.26	0.20	0.46	969
2	5.26	0.46	0.74	1,001
3	5.26	0.74	0.61	146
4	5.26	0.61	0.41	0
5	5.26	0.41	0.22	51

Resultados

6	5.26	0.22	0.50	1,001
7	5.26	0.50	0.78	1,001
8	5.26	0.78	0.60	46
9	5.26	0.60	0.39	0
10	5.26	0.39	0.22	60
Total	52.56			4,275

rc [km/]	39.03
----------	-------

3.2.3.5.-Ciclo UDDS

3.2.3.5.1.-Ciclo UDDS partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Tabla 3.28 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo UDDS partiendo de un estado de carga inicial de 80%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	11.99	0.80	0.36	0
2	11.99	0.36	0.51	1,106
3	11.99	0.51	0.79	1,310
4	11.99	0.79	0.35	0
5	11.99	0.35	0.51	0
6	11.99	0.51	0.79	1,315
7	11.99	0.79	0.35	0
8	11.99	0.35	0.51	1,111
9	11.99	0.51	0.79	1,315
10	11.99	0.79	0.35	0
Total	119.90			6,157

rc [km/]	61.82
----------	-------

Capítulo 3

3.2.3.5.2.-Ciclo UDDS partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Tabla 3.29 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo UDDS partiendo de un estado de carga inicial de 50%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	11.99	0.50	0.40	636
2	11.99	0.40	0.71	1,369
3	11.99	0.71	0.65	662
4	11.99	0.65	0.20	0
5	11.99	0.20	0.50	0
6	11.99	0.50	0.79	1,326
7	11.99	0.79	0.35	0
8	11.99	0.35	0.51	1,111
9	11.99	0.51	0.79	1,314
10	11.99	0.79	0.35	0
Total	119.90			6,418

rc [km/]	59.31
----------	-------

3.2.3.5.3.-Ciclo UDDS partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Tabla 3.30 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo UDDS partiendo de un estado de carga inicial de 20%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	11.99	0.20	0.50	1,349
2	11.99	0.50	0.79	1,324
3	11.99	0.79	0.35	0
4	11.99	0.35	0.51	1,111
5	11.99	0.51	0.40	1
6	11.99	0.40	0.71	1,369
7	11.99	0.71	0.64	647
8	11.99	0.64	0.23	73
9	11.99	0.23	0.54	1,369
10	11.99	0.54	0.78	1,219
Total	119.90			8,462

Resultados

rc [km/]	44.98
----------	-------

3.2.3.6.-Ciclo NYCC

3.2.3.6.1.-Ciclo NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Tabla 3.31 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 80%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	1.90	0.80	0.74	0
2	1.90	0.74	0.67	0
3	1.90	0.67	0.61	0
4	1.90	0.61	0.54	0
5	1.90	0.54	0.48	0
6	1.90	0.48	0.41	0
7	1.90	0.41	0.35	0
8	1.90	0.35	0.28	0
9	1.90	0.28	0.22	0
10	1.90	0.22	0.37	442
Total	18.98			442

rc [km/]	136.35
----------	--------

3.2.3.6.2.-Ciclo NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Tabla 3.32 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 50%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	1.90	0.50	0.44	0
2	1.90	0.44	0.37	0
3	1.90	0.37	0.31	0
4	1.90	0.31	0.24	0
5	1.90	0.24	0.33	319
6	1.90	0.33	0.57	599
7	1.90	0.57	0.80	593
8	1.90	0.80	0.74	0

Capítulo 3

9	1.90	0.74	0.67	0
10	1.90	0.67	0.61	0
Total	18.98			1,511

rc [km/]	39.89
----------	-------

3.2.3.6.3.-Ciclo NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Tabla 3.33 – Resumen del cálculo de consumo de combustible del ciclo NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 20%

# Corrida	Distancia recorrida [km]	EDC _{inicial}	EDC _{final}	MCI =1 [s]
1	1.90	0.20	0.43	593
2	1.90	0.43	0.67	599
3	1.90	0.67	0.78	358
4	1.90	0.78	0.72	0
5	1.90	0.72	0.65	0
6	1.90	0.65	0.59	0
7	1.90	0.59	0.52	0
8	1.90	0.52	0.46	0
9	1.90	0.46	0.39	0
10	1.90	0.39	0.33	0
Total	18.98			1,550

rc [km/]	38.88
----------	-------

3.2.3.7.-Resumen de resultados de las simulaciones por ciclo partiendo de distintos estados de carga

Tabla 3.34 –Resumen de resultados de las simulaciones por ciclo partiendo de distintos estados de carga

Ciclo	Consumo de combustible [km/lt]			
	Estado de carga			Promedio
	80%	50%	20%	
Ciclo I	54.75	53.73	45.54	51.34
Ciclo II	51.90	50.76	48.20	50.28
Ciclo III	64.36	32.70	30.25	42.44
Ciclo IV	39.81	38.81	39.03	39.22
UDDS	61.82	59.31	44.98	55.37
NYCC	136.35	39.89	38.88	71.70
				52.72

3.2.4.-Simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC a distintos estados de carga

3.2.4.1.-Simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Tabla 3.35 - Resumen de las simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 80%

	Ciclo I	Ciclo II	Ciclo III	Ciclo IV	UDDS	NYCC
Duración [s]	2788	1000	1000	1000	1368	598
Dist. [km]	14.95	5.65	3.07	5.26	11.99	1.90
EDC _{inicial}	0.80	0.32	0.34	0.72	0.61	0.27
EDC _{final}	0.32	0.34	0.72	0.61	0.27	0.50
MCI =1 [s]	0	420	1000	201	196	598

rc [km/lt]	55.28
------------	-------

3.2.4.2.-Simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Tabla 3.36 - Resumen de las simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 50%

	Ciclo I	Ciclo II	Ciclo III	Ciclo IV	UDDS	NYCC
Duración [s]	2788	1000	1000	1000	1368	598
Dist. [km]	14.95	5.65	3.07	5.26	11.99	1.90
EDC _{inicial}	0.50	0.50	0.80	0.68	0.47	0.46
EDC _{final}	0.50	0.80	0.68	0.47	0.46	0.69
MCI =1 [s]	932	943	0	0	797	598

rc [km/lt]	41.57
------------	-------

3.2.4.3.-Simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Tabla 3.37 - Resumen de las simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 20%

	Ciclo I	Ciclo II	Ciclo III	Ciclo IV	UDDS	NYCC
Duración [s]	2788	1000	1000	1000	1368	598
Dist. [km]	14.95	5.65	3.07	5.26	11.99	1.90
EDC _{inicial}	0.20	0.56	0.38	0.25	0.31	0.63
EDC _{final}	0.56	0.38	0.25	0.31	0.63	0.79
MCI =1 [s]	1645	0	0	562	1368	449

rc [km/lt]	33.78
------------	-------

3.2.4.4.-Resumen de resultados de las simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC a distintos estados de carga

Tabla 3.38 – Resumen de resultados de las simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC a distintos estados de carga

EDC _{inicial}	rc [km/lit]
80%	55.28
50%	41.57
20%	33.78
Promedio	43.54

3.2.5.-Simulación de un ciclo de carretera

A manera de complemento de este trabajo, se realizó una cuarta simulación, los cálculos se realizaron para un ciclo estandarizado de carretera, en este caso el ciclo HWFET, en la figura 3.348 se muestran los puntos de operación del motor eléctrico a través de tal ciclo, se observa que el motor eléctrico puede satisfacer la gran mayoría de los puntos de operación, por lo que ese motor podría considerarse adecuado para su uso en carretera.

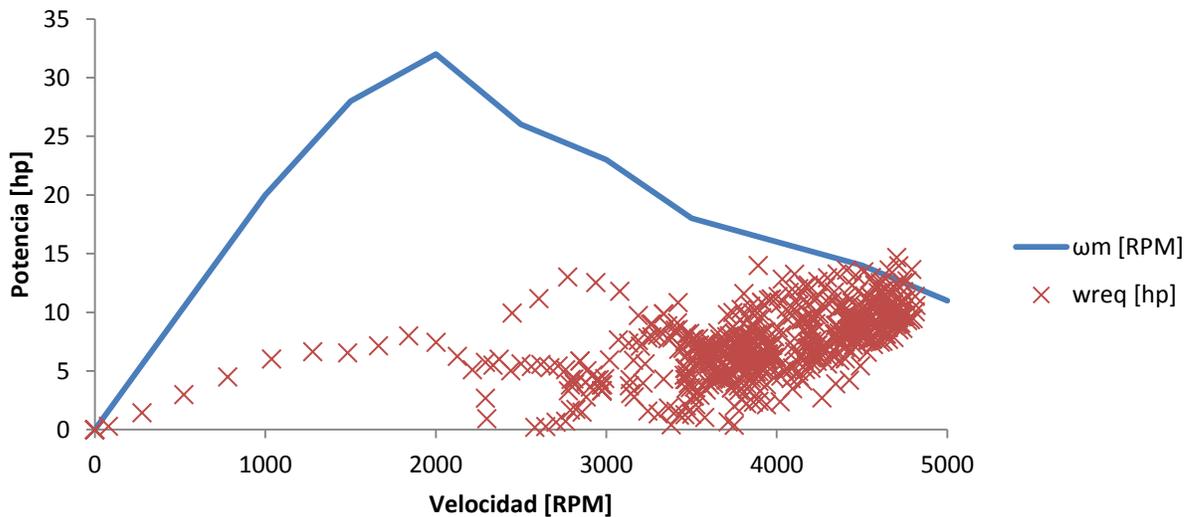


Figura 3.348 - Curva de potencia del motor eléctrico y puntos de operación del ciclo HWFET

Nota:

Las figuras 3.15 a 3.347 aparecen en el anexo de este trabajo, se les ha antepuesto la letra “A” haciendo referencia al anexo por ejemplo “Figura A.3.156”, tal figura pertenece al capítulo 3 pero se encuentra en el anexo.

Si bien el motor eléctrico puede satisfacer casi por completo la totalidad de los puntos de operación del vehículo, falta verificar que el MCIR/gen tenga la capacidad de mantener balanceado el sistema de baterías, en la figura A.3.347 se muestra el resultado de la simulación.

Se considera el mejor de los casos, en el cual la batería está cargada al 80% de su capacidad.

3.3- Respuesta a las preguntas de la sección II.III

¿Por qué actualmente no existe un híbrido biplaza para uso urbano que posea las características de esta propuesta?

A partir de los resultados de este trabajo se demostró que sí es posible utilizar la configuración de híbrido serie en un vehículo de uso urbano, por lo que la tecnología para este tipo de vehículo no es una limitante. La razón de que un vehículo de estas características no exista en el mercado puede deberse a que pocas personas estarían dispuestas a comprar un vehículo como este. Generalmente, los vehículos híbridos son más costosos debido a que están compuestos por más elementos y a los bajos volúmenes de producción (comparados con los volúmenes de producción de vehículos convencionales), por lo que los consumidores buscan que ese costo elevado sea justificado con un buen desempeño, (aceleración, capacidad de pendiente, bajo consumo de combustible, velocidad máxima) si bien esta propuesta cuenta con un bajo consumo de combustible el desempeño está limitado y el vehículo sólo puede utilizarse en zonas urbanas.

¿Resulta conveniente disponer de una gran autonomía en vehículos de uso urbano?

Sí, aunque los vehículos completamente eléctricos pueden resultar adecuados para uso urbano, tienen el gran inconveniente de la autonomía limitada, mientras que con esta propuesta se tiene una gran autonomía comparable con un vehículo convencional. Esta propuesta puede resultar ideal para aplicaciones de reparto, monitoreo, mensajería, asistencia vial, etc. aplicaciones en las que el vehículo siempre se encuentre dentro de la ciudad y no sea necesario transportar grandes masas y/o volúmenes.

¿Es conveniente utilizar la configuración de híbrido en serie para un vehículo de estas dimensiones (relación peso/potencia)?

Sí, siempre y cuando la misión del vehículo esté restringida para uso urbano, ya que si la misión del vehículo también tiene que ser capaz de cumplir con los requerimientos de carretera sería necesario utilizar componentes más grandes y por lo tanto más pesados para cumplir tales requerimientos. El MCIR/gen tendría que ser suficientemente grande (con una potencia mayor al motor eléctrico) para mantener al vehículo en movimiento a altas velocidades, el motor eléctrico probablemente necesitaría de una transmisión para tener una relación de transmisión más amplia, debido a que se trata de un sistema en serie, si las eficiencias de los componentes son bajas, las pérdidas debidas a la transformación de energía en cada componente podrían ser muy significativas.

¿Será más eficiente un vehículo eléctrico o uno híbrido en uso urbano?

Ambos tendrían un desempeño bastante similar, aunque el vehículo híbrido tendría una gran ventaja debido a su autonomía extendida a costa de un peso mayor.

Conclusiones

Una de las posibles soluciones para reducir el consumo de petróleo es reduciendo el consumo en el sector de transporte, más específicamente en la parte de transporte particular, para lograr esto se han hecho esfuerzos por reducir el consumo en los vehículos convencionales, estos esfuerzos han consistido en mejorar las técnicas de control del motor de combustión, mejorar la geometría de los vehículos para disminuir el arrastre aerodinámico, utilizar materiales más ligeros, utilizar transmisiones que ofrezcan una mayor rango de relaciones de par y velocidad, etc. Las combinaciones de estas tecnologías con las de un vehículo eléctrico pueden dar como resultado vehículos más eficientes pero más complejos y costosos.

Actualmente existen varios vehículos eléctricos libres de consumo de combustible pero su autonomía es muy reducida comparada con un vehículo convencional o un vehículo híbrido, la tecnología necesaria para tener vehículos eléctricos con grandes autonomías no está desarrollada del todo, el problema más importante ha sido la poca capacidad de almacenar energía en las baterías. Los vehículos híbridos se han visto como una especie de puente entre los vehículos convencionales y los vehículos que no requieren usar combustibles.

En este trabajo se evaluó la posibilidad de utilizar la configuración híbrido en serie para un pequeño vehículo urbano y de baja potencia, partiendo de las suposiciones de contar con un chasis ligero, restringiendo la misión del vehículo a uso urbano, utilizando freno regenerativo, limitando su desempeño y prescindiendo de una transmisión de varias relaciones, se concluye que sí es conveniente implementar la configuración híbrido en serie en un vehículo con esas características.

Se calcularon las potencias de dos de los componentes principales del vehículo, el motor eléctrico y el MCIR/gen, partiendo de la idea de contar sólo con la potencia necesaria para la utilización del vehículo en un entorno urbano. En el caso del motor eléctrico, no se consideró dimensionarlo con base en el desempeño de aceleración, sino que se realizó un análisis de los ciclos de manejo urbanos y con ello se determinó la potencia promedio máxima necesaria para satisfacer la demanda de estos ciclos. Posteriormente se seleccionó un motor eléctrico y se corroboró que tuviera las características necesarias para satisfacer los ciclos de manejo urbanos. Para comprobar esto, se superpusieron los puntos de operación del motor eléctrico en la curva de potencia del motor, en las figuras 3.1 a 3.6 se observa que el motor seleccionado satisface prácticamente la totalidad de los puntos de operación de los ciclos de manejo urbanos, sin embargo estaría limitado en medida de cuanto potencia pueda entregar la batería en función de su estado de carga, antigüedad, temperatura, etc.

Por otro lado, el MCIR/gen se dimensionó con base en las demandas de potencia promedio debidas a las cargas aerodinámica, arrastre y aceleración a las que estaría sometido el vehículo en un ciclo de manejo urbano, se obtuvo una potencia considerablemente menor que la potencia del motor eléctrico, para comprobar que la potencia del MCIR/gen fuera suficiente para mantener cargadas las baterías, se realizaron varias series de simulaciones (figuras 3.8 a A.3.346) considerando distintos

Conclusiones

escenarios y se observó que en todos los escenarios el MCIR/gen tenía la capacidad suficiente para mantener cargadas las baterías siempre y cuando el vehículo se limitara a uso urbano.

En cuanto al consumo de combustible, se realizaron varias simulaciones considerando varios escenarios, en la simulación de cada ciclo durante 100 [km] se obtuvieron valores altos de rendimiento de combustible (entre 45.25 y 60.26 [km/lt]) un promedio de 53.87 [km/lt] para todos los ciclos, dicho valor es muy similar al promedio de consumo de combustible de las 10 corridas por ciclo variando los estados de carga iniciales.

A continuación se muestra una tabla comparativa:

Tabla C.1.1 – Resumen de consumo de combustible por ciclo durante 100 [km]

Ciclo	EDC=100%*	EDC=80%**
Ciclo I	60.26	59.26
Ciclo II	58.31	58.09
Ciclo III	45.31	42.72
Ciclo IV	48.25	41.93
UDDS	59.66	61.56
NYDC	51.46	48.25
Promedio	53.87	51.96

Notas:

* Datos tomados de la tabla 3.15

** No se muestran las gráficas de tales corridas, sólo se varió el EDC del mismo programa que se utilizó en la columna de EDC=100%

Por otro lado en la simulaciones de 10 corridas por ciclo variando el EDC inicial, se observa que se tienen valores muy similares de consumo de combustible por cada ciclo.

Tabla 3.34 – Resumen de resultados de las simulaciones por ciclo partiendo de distintos estados de carga (repetición)

Ciclo	Consumo de combustible [km/lt]			Promedio
	Estado de carga			
	80%	50%	20%	
Ciclo I	54.75	53.73	45.54	51.34
Ciclo II	51.90	50.76	48.20	50.28
Ciclo III	64.36	32.70	30.25	42.44
Ciclo IV	39.81	38.81	39.03	39.22
UDDS	61.82	59.31	44.98	55.37
NYCC	136.35	39.89	38.88	71.70
				52.72

Conclusiones

En conclusión, cuando se analiza el consumo de combustible por ciclo, el consumo de combustible depende en gran parte del EDC inicial, a mayor EDC inicial, menor consumo de combustible, pero se llega a un consumo de combustible característico de cada ciclo después de varias corridas sin importar el EDC inicial. Esto depende en gran medida en la longitud del ciclo. Por ejemplo, supongamos un ciclo de manejo muy corto en el cual se realicen dos simulaciones, en la primera con un EDC inicial de 20% y en la segunda un EDC inicial de 80%, al término de la primer simulación (EDC inicial de 20%) se registraría cierto consumo de combustible mientras que en la segunda simulación el EDC registrara una reducción mínima de tal manera que el MCIR/gen no encendiera y por lo tanto no se registraría un consumo de combustible. Al comparar el consumo de combustible de ambas simulaciones habría una gran variación y ninguna de ellas sería válida, por esta razón el resultado más confiable sería el obtenido después de realizar varias simulaciones en las que se registren varios ciclos de carga y descarga de la batería. Estas afirmaciones se pueden observar en las variaciones de consumo de combustible de los ciclos III y NYCC debido a que estos son los ciclos que recorren una menor distancia.

Otro de los casos de estudio fue realizar simulaciones de ciclos sucesivamente, es decir, iniciar con el ciclo I y con las condiciones iniciales de tal ciclo iniciar el ciclo II y así sucesivamente. En estas tres simulaciones con diferentes estados de carga iniciales se observó una gran variación en los consumos de combustible (ver tabla 3.38). Esto se debe a lo que se explicó en el párrafo anterior, se recorre muy poca distancia al realizar la simulación de ciclos sucesivamente, la distancia recorrida de los seis ciclos es de 42.8 [km], debido a esto la variación del estado de carga inicial tiene un gran impacto en el consumo de combustible.

Al analizar el resultado final del consumo de combustible es importante observar el estado de carga final, ya que como se mencionó en los dos párrafos anteriores el consumo de combustible puede variar considerablemente si por ejemplo, en una simulación se obtiene un alto consumo de combustible pero al final se obtiene un estado de carga final alto y esas condiciones finales se toman como condiciones iniciales para una simulación posterior, podría obtenerse lo contrario, es decir un consumo de combustible bajo pero un estado de carga bajo al final de la simulación, por eso la importancia de realizar varias simulaciones hasta encontrar un valor que realmente represente el consumo de combustible del ciclo.

A manera de complemento de este trabajo se realizó una simulación para un ciclo estandarizado de carretera, en este caso el ciclo HWFET, en la figura 3.348 se observa que el motor eléctrico seleccionado satisface casi por completo los puntos de operación, por lo que el motor eléctrico tiene la potencia suficiente para satisfacer casi en su totalidad las demandas del ciclo. Pero cuando se realiza la simulación para comprobar si el MCIR/gen tiene la capacidad de mantener las baterías cargadas, se observa (figura A.3.347) que con tal MCIR/gen no se pueden mantener cargadas las baterías, ya que dicho sistema no cuenta con la potencia suficiente para mantener operando el vehículo a una velocidad crucero por un tiempo prolongado.

Conclusiones

Los resultados de consumo de combustible pueden tener variaciones con los consumos reales debido a varias razones:

- El grado de idealización de los componentes como la batería, el controlador del motor eléctrico y el freno regenerativo.
- No se consideran pérdidas en las transformaciones de voltaje entre la batería, el controlador del motor y el motor eléctrico.
- No se consideraron los consumos de energía de sistemas auxiliares y equipamiento del vehículo.
- En los ciclos de manejo utilizados no se registró el valor de la pendiente y como se observó en la figura 2.19 este efecto es bastante considerable.
- La información proporcionada por los fabricantes es limitada y no se cuenta con un mapa de eficiencias del motor eléctrico, batería ni del MCIR/gen.
- El consumo de combustible depende en gran medida en el estado de carga inicial.
- No se consideró el empaquetamiento, por lo que la distribución de masas podría ser ligeramente significativa
- Las condiciones climáticas y geográficas (altura) podrían disminuir el desempeño del vehículo

Estos resultados podrían ser cada vez más exactos si a medida que se avanza con el diseño, los nuevos elementos se caracterizan y se actualizan en el modelo. También sería conveniente realizar el modelado sobre otra plataforma que permita una simulación “hacia adelante” y “hacia atrás” para que de esta manera se pueda considerar un modelo del conductor y tener una medida del desempeño del vehículo.

Anexos

A.3.2.1.-Gráficas de simulaciones para calcular la autonomía en modo sólo eléctrico

A.3.2.1.3-Ciclo III

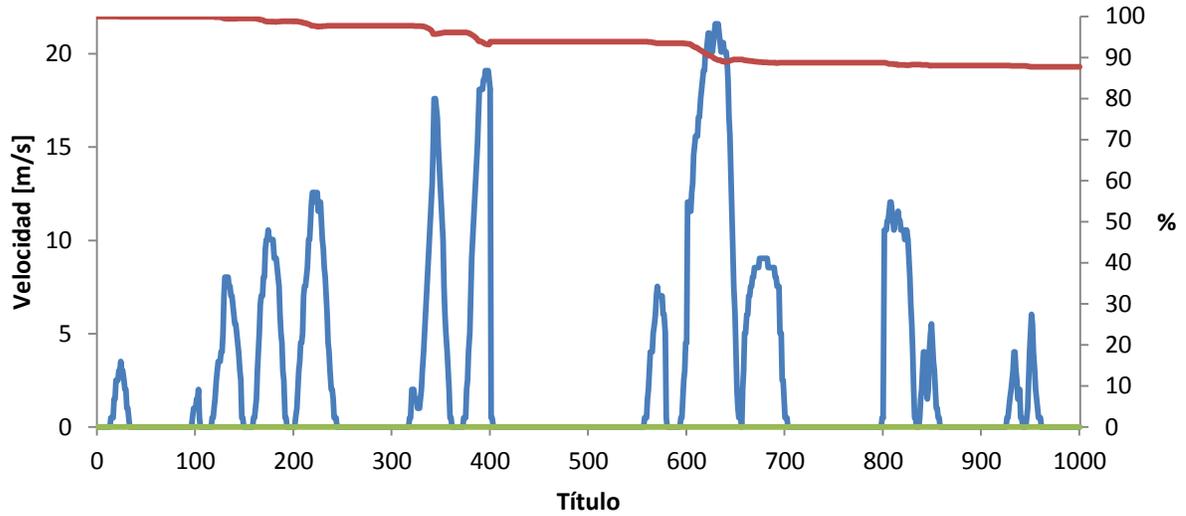


Figura A.3.15 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

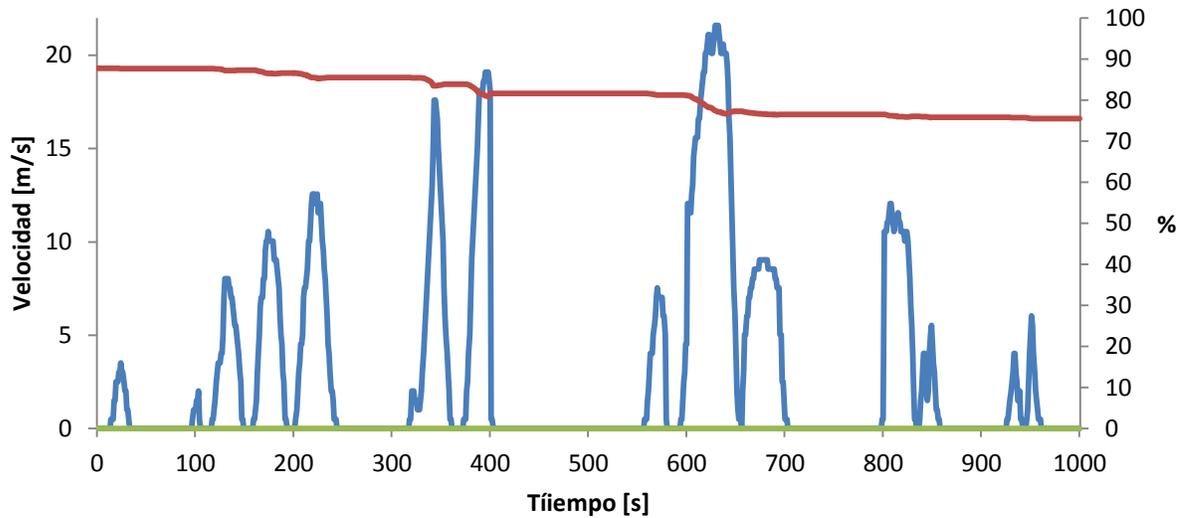


Figura A.3.16 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Anexos

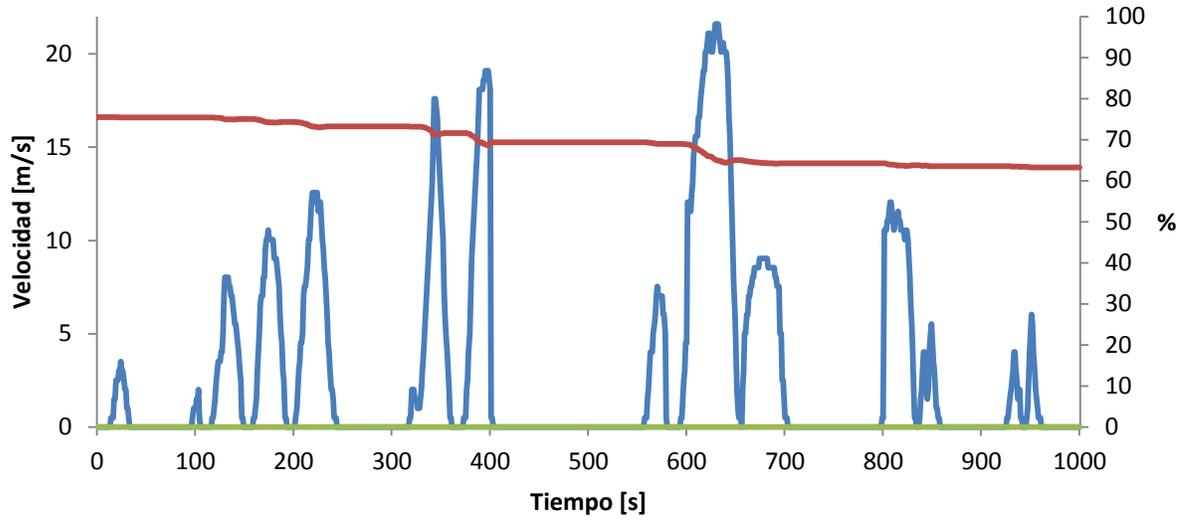


Figura A.3.17 - Ciclo III, estados de carga y del MCIr/gen, corrida #3 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

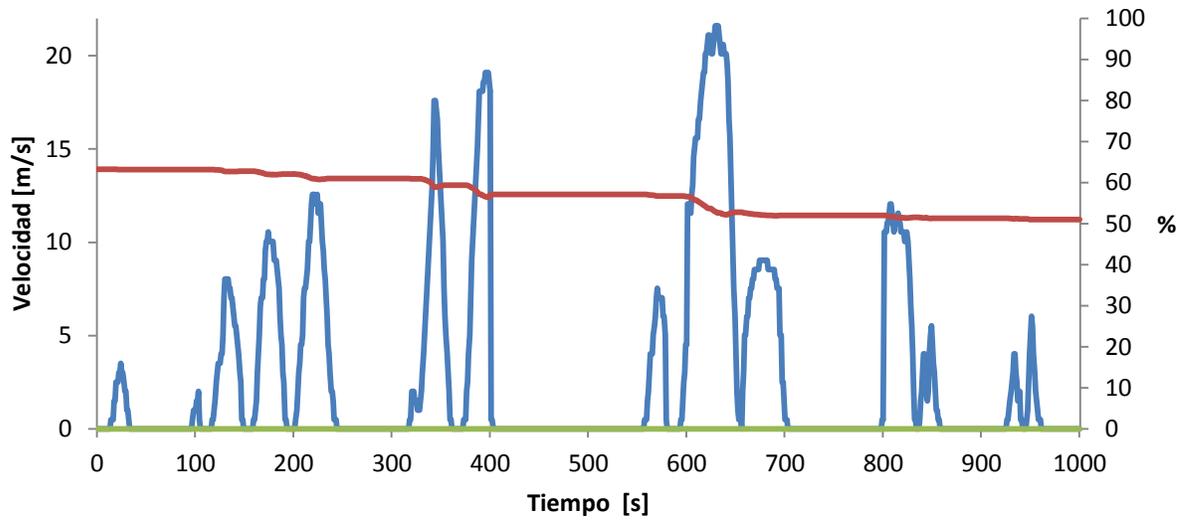


Figura A.3.18 - Ciclo III, estados de carga y del MCIr/gen, corrida #4 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Anexos

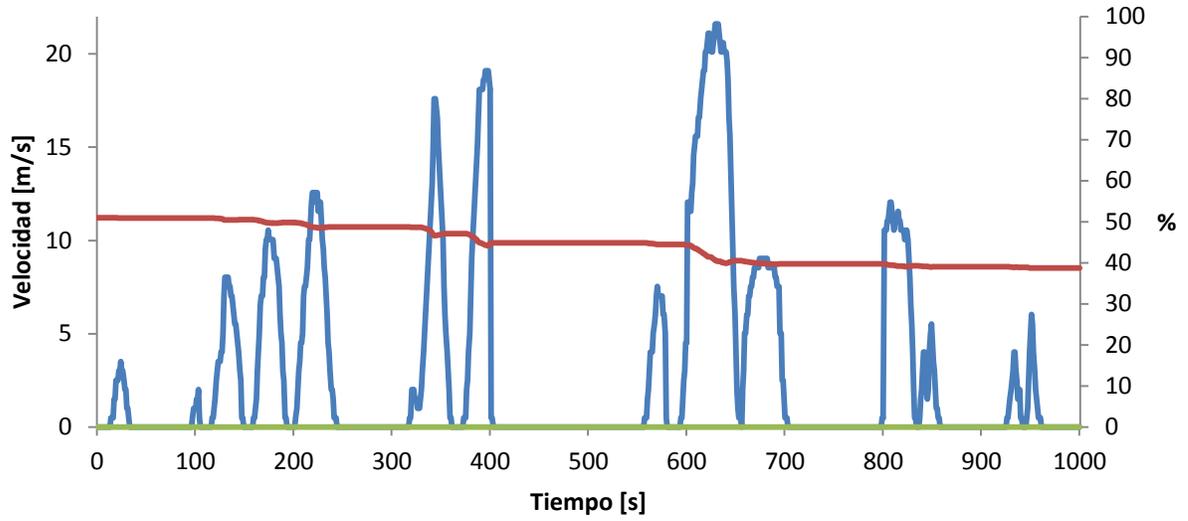


Figura A.3.19 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

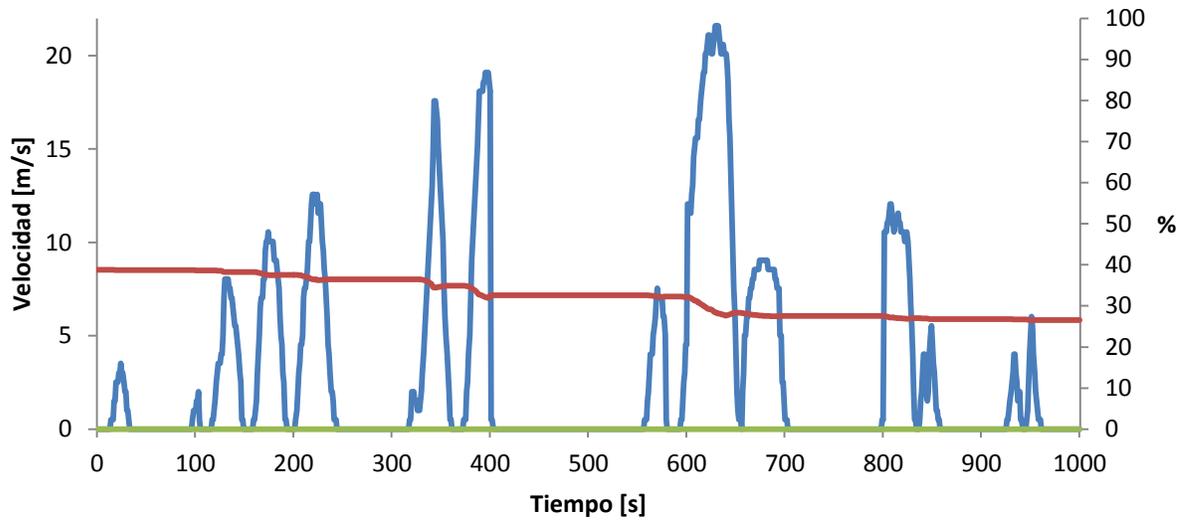


Figura A.3.20 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Anexos

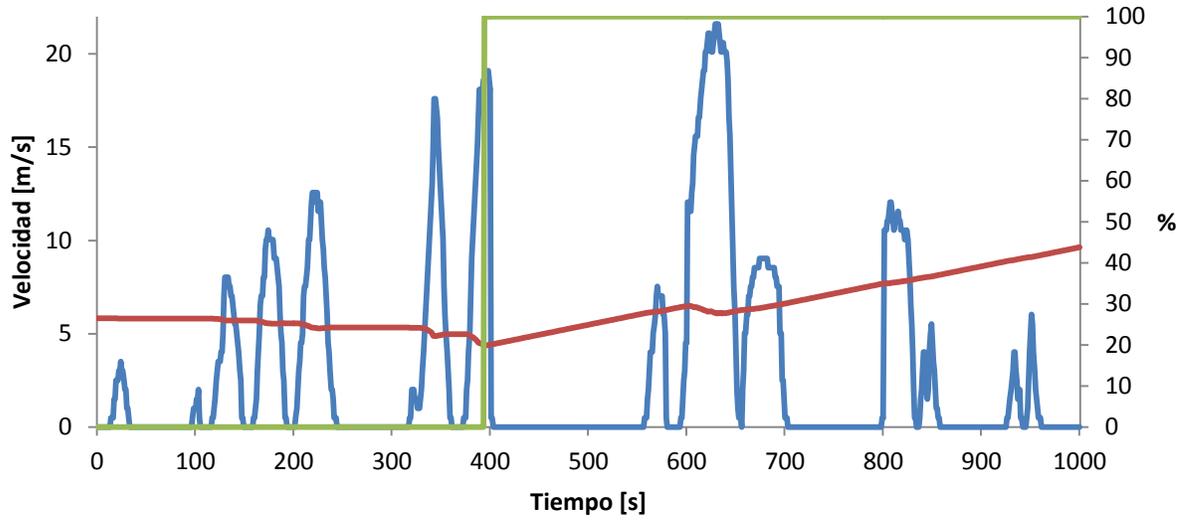


Figura A.3.21 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

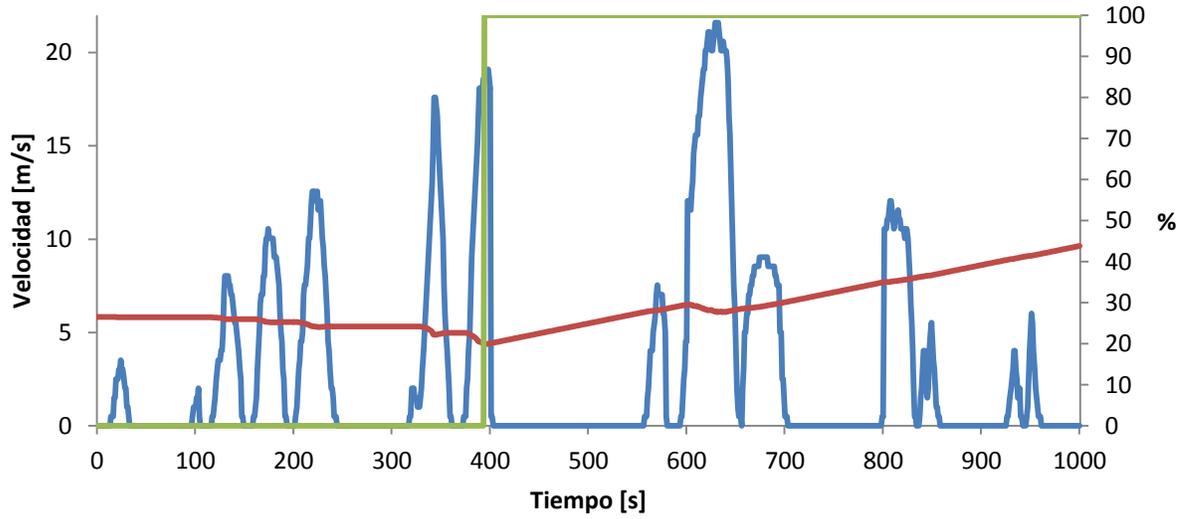


Figura A.3.22 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

A.3.2.1.4-Ciclo IV

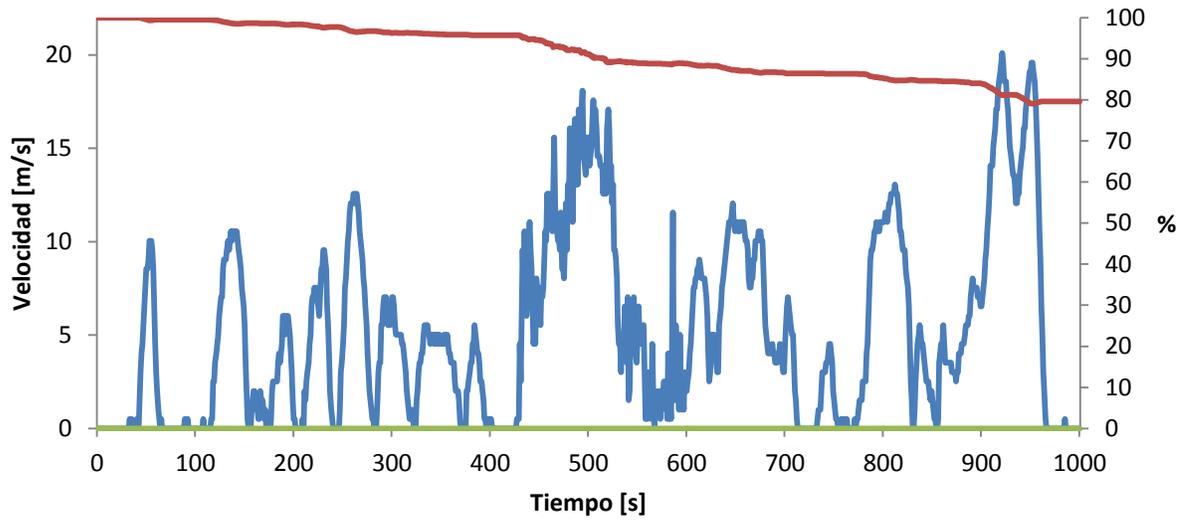


Figura A3.23 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

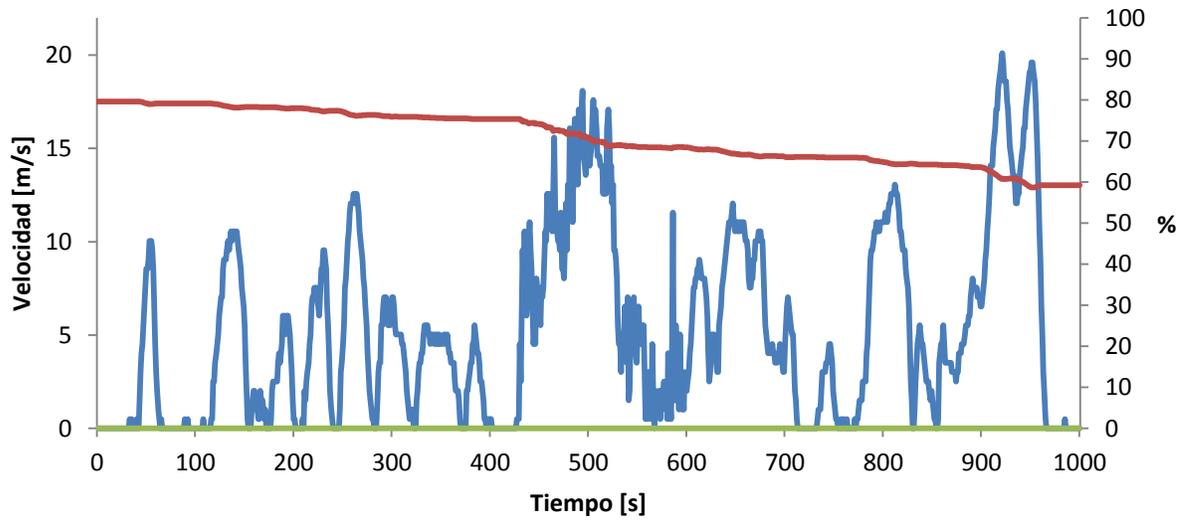


Figura A.3.24 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Anexos

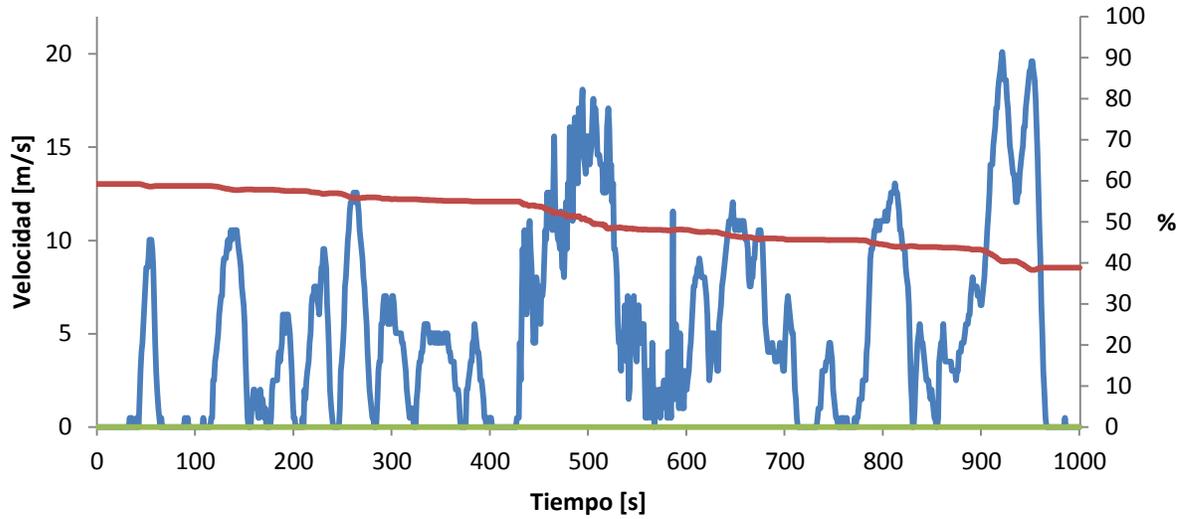


Figura A.3.25 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIIR/gen, corrida #3 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

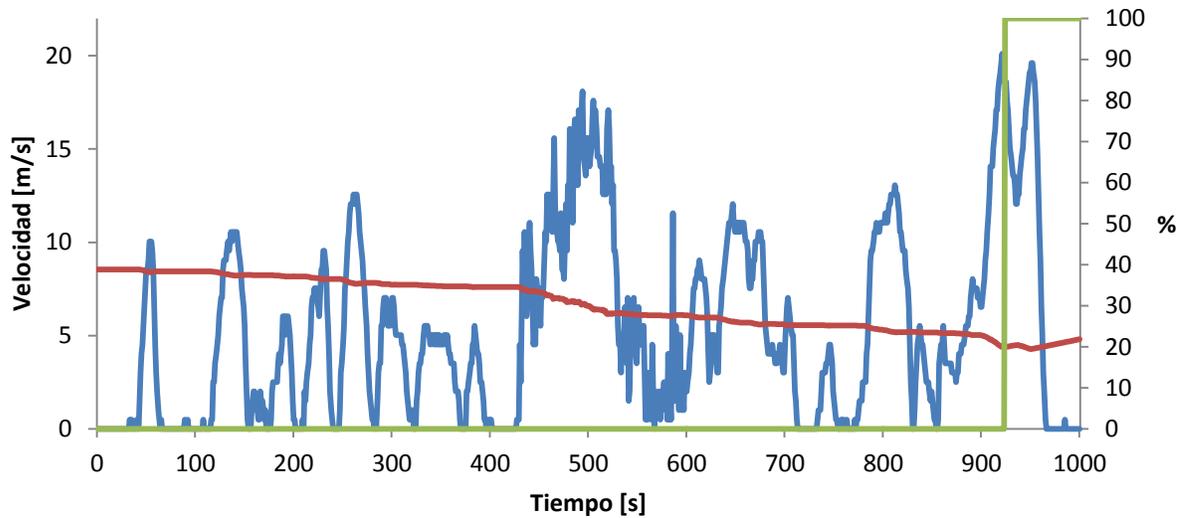


Figura A.3.26 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIIR/gen, corrida #4 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

3.2.1.5-Ciclo UDDS

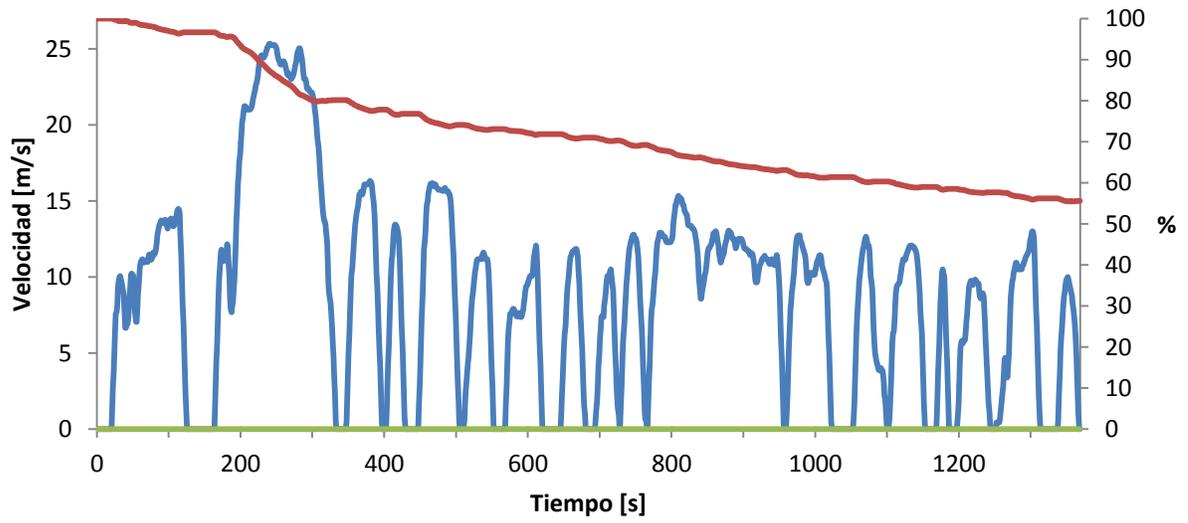


Figura A.3.27 - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

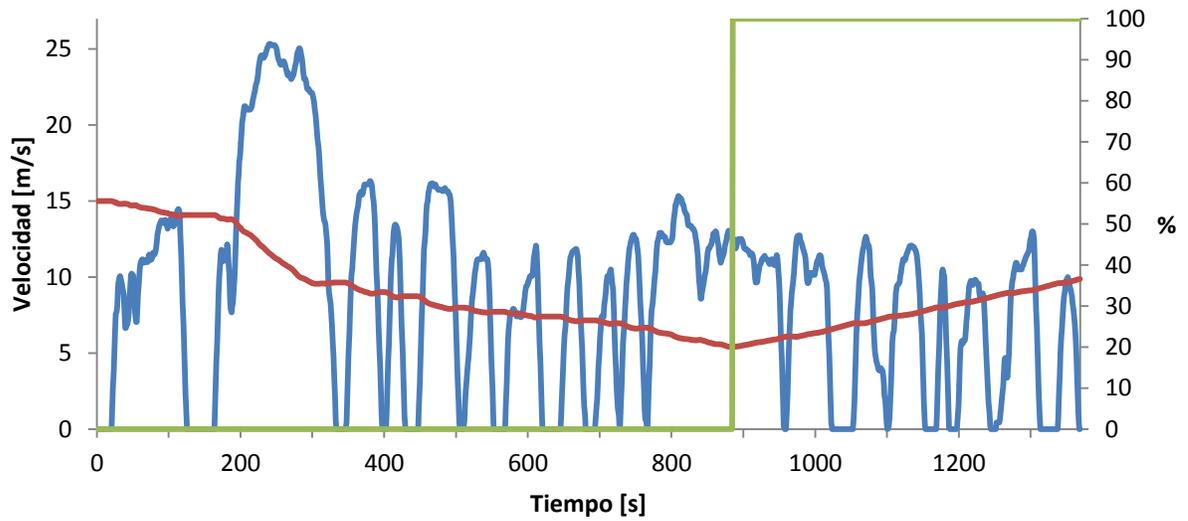


Figura A.3.28 - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

3.2.1.6-Ciclo NYCC

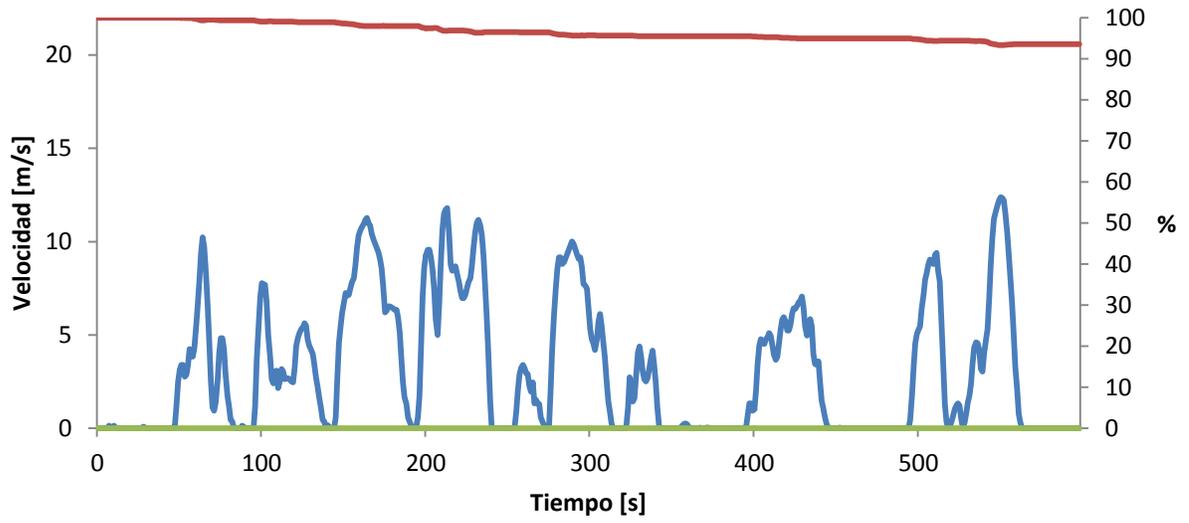


Figura A.3.29 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

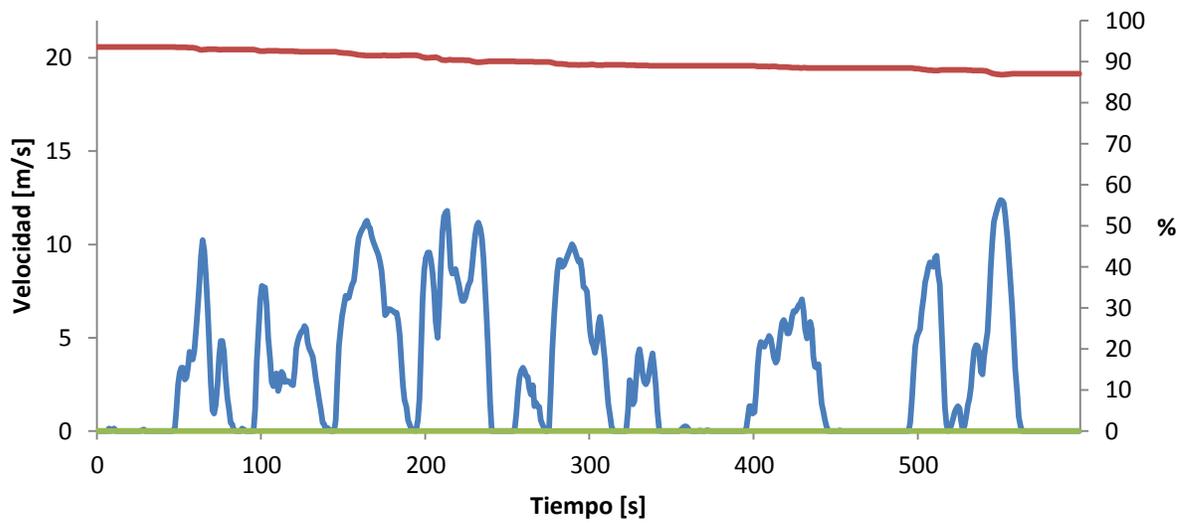


Figura A.3.30 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Anexos

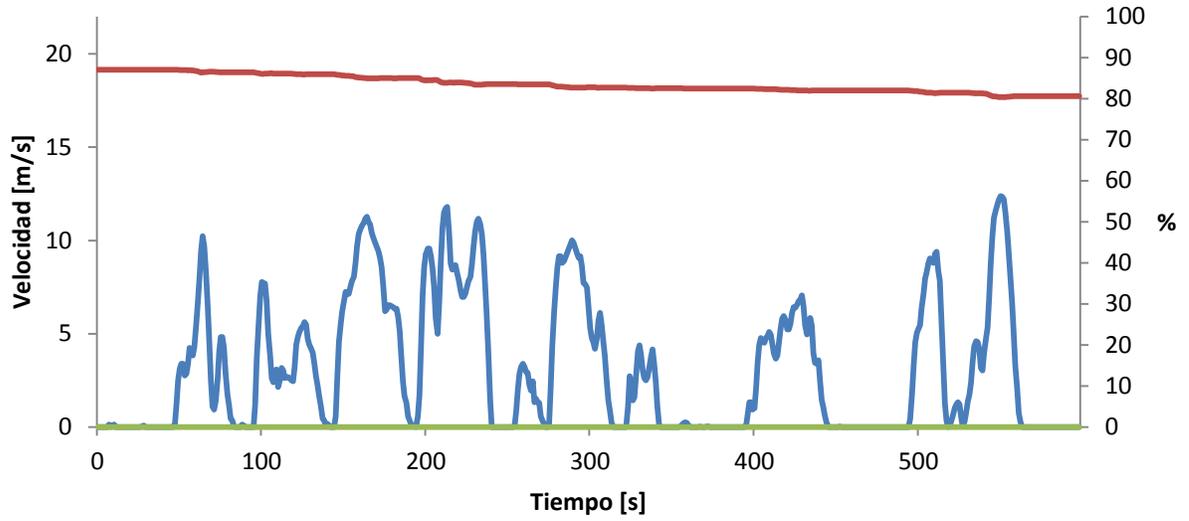


Figura A.3.31 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

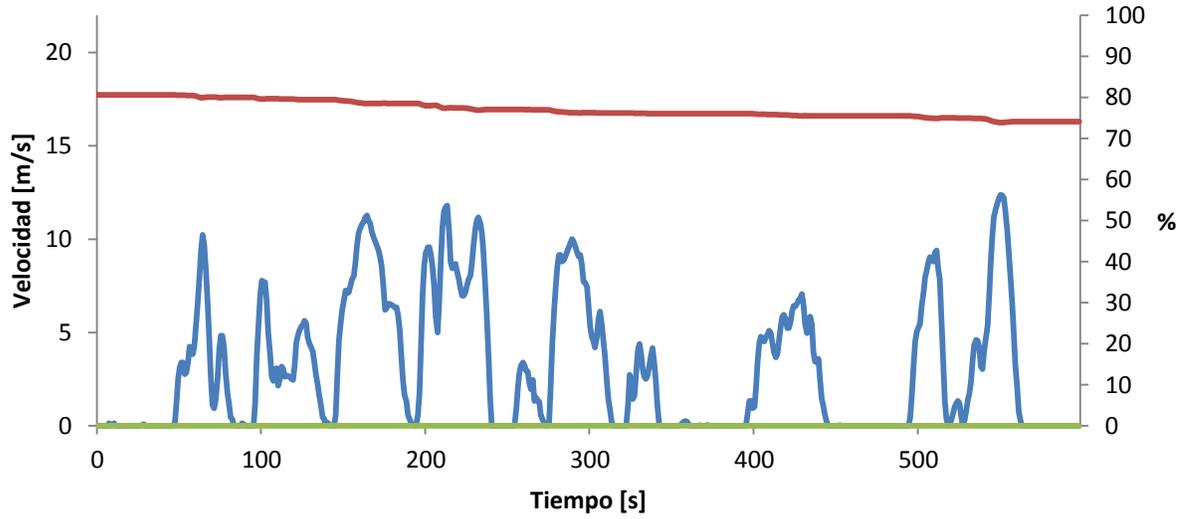


Figura A.3.32 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Anexos

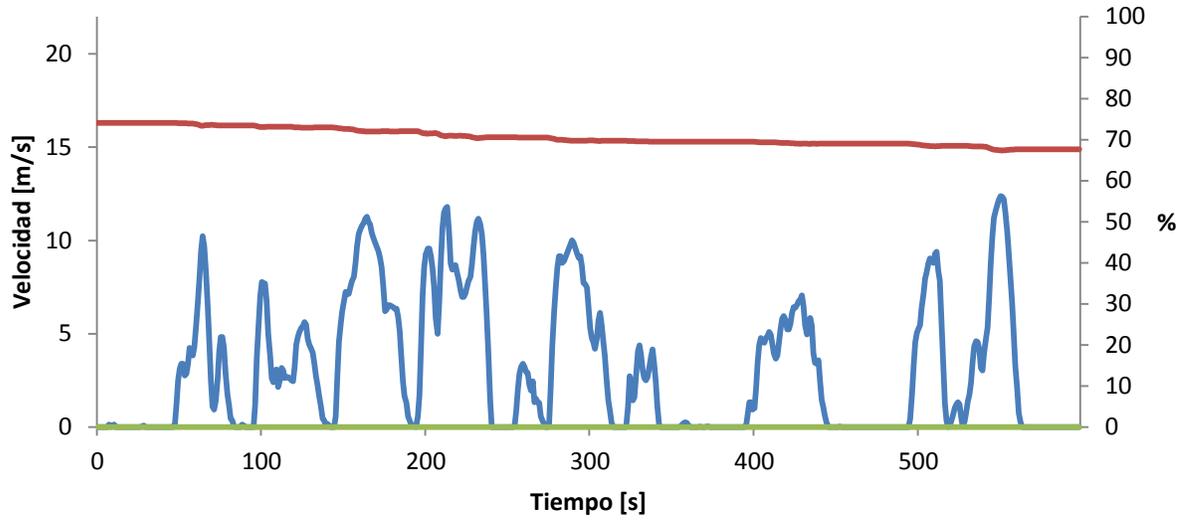


Figura A.3.33 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

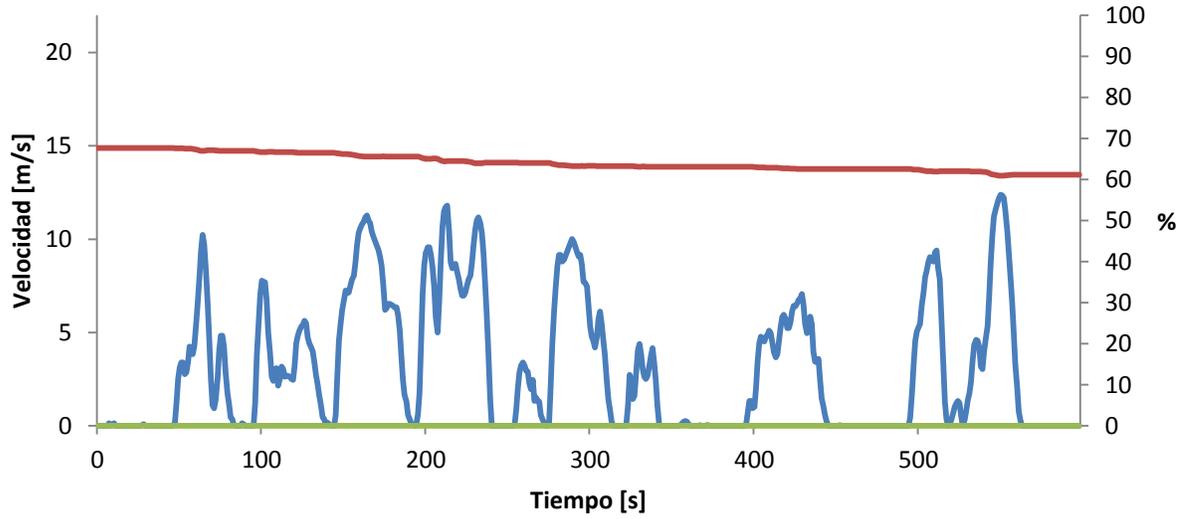


Figura A.3.34 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Anexos

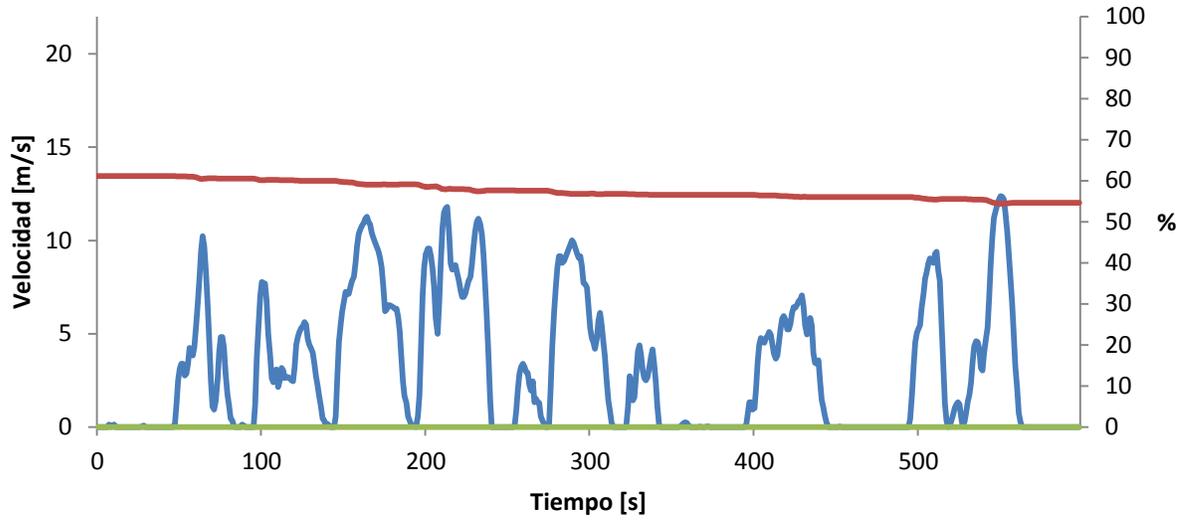


Figura A.3.35 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

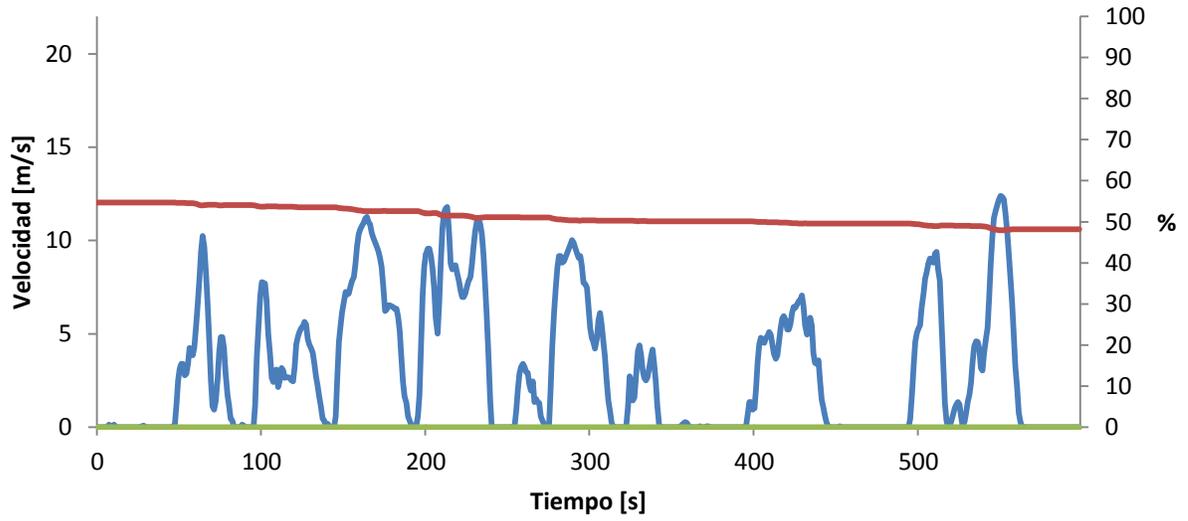


Figura A.3.36 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Anexos

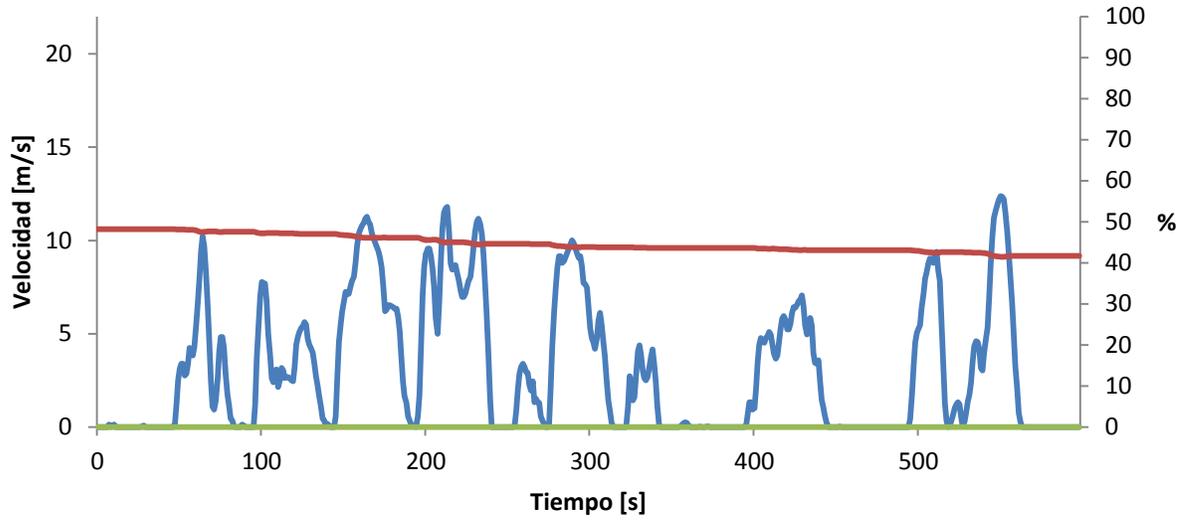


Figura A.3.37 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

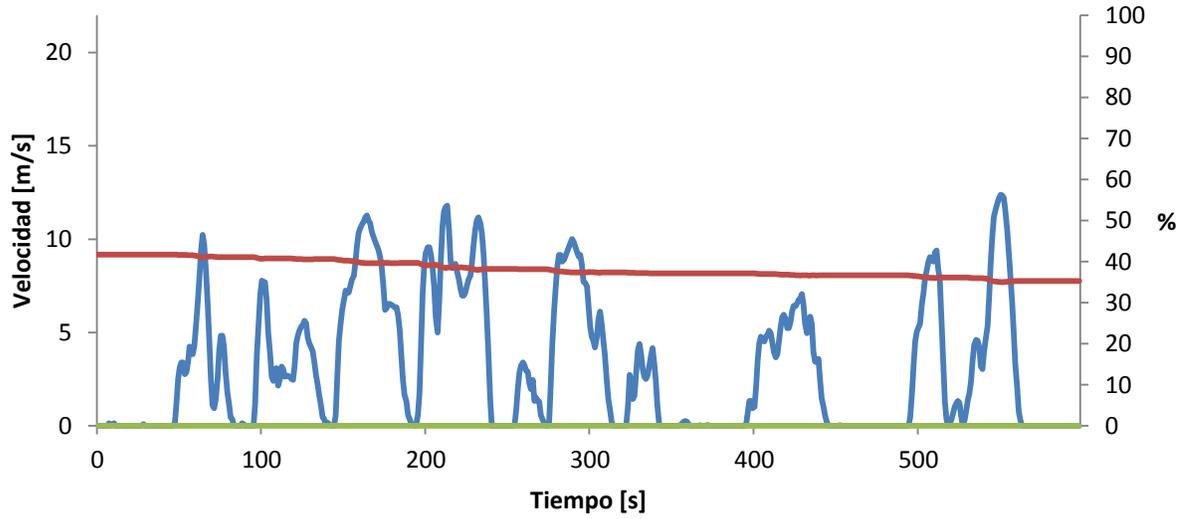


Figura A.3.38 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Anexos

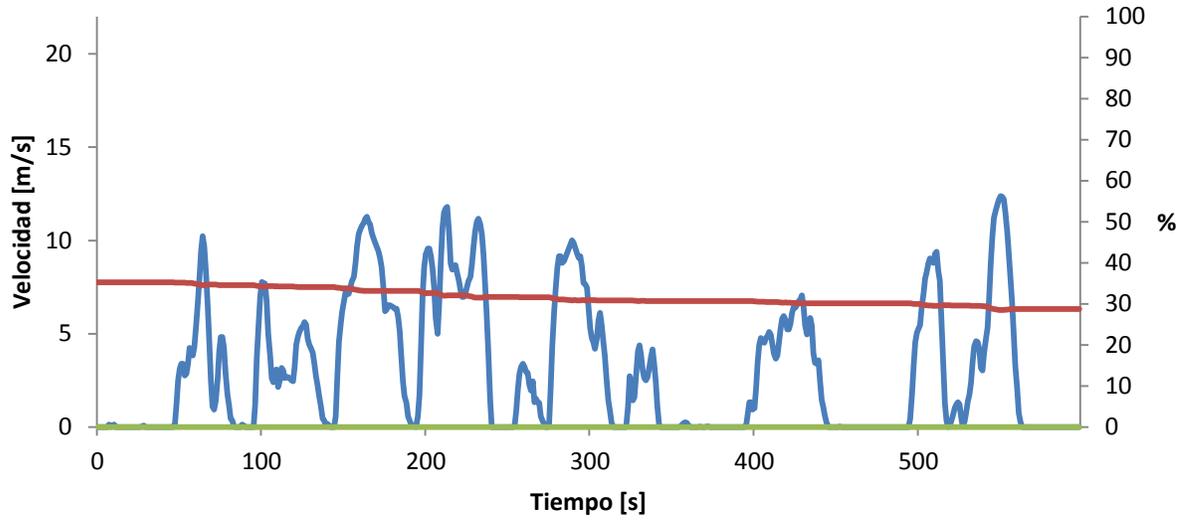


Figura A.3.39 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #11 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

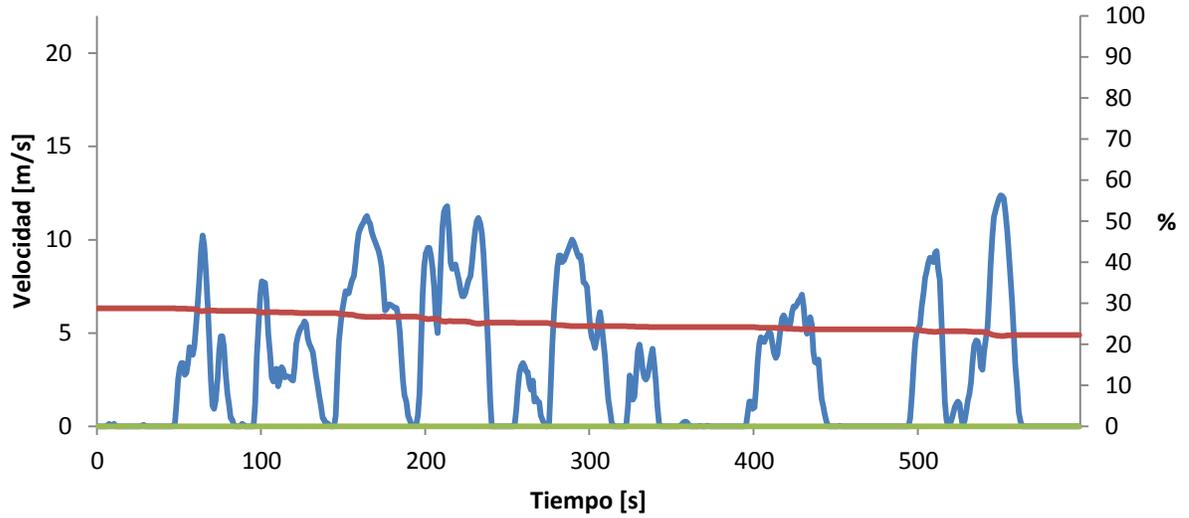


Figura A.3.40 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #12 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

Anexos

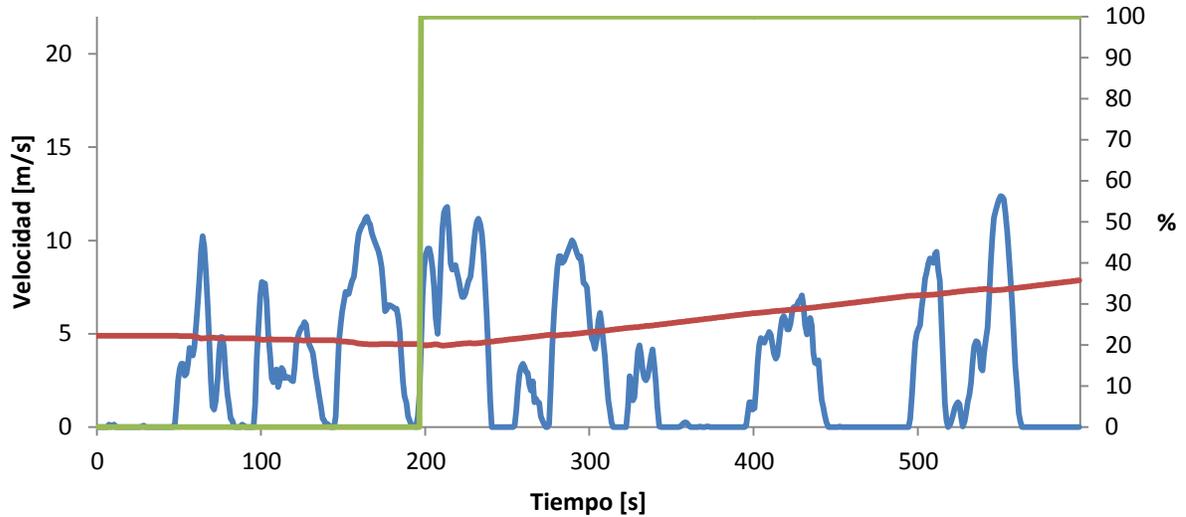


Figura A.3.41 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #13 para calcular autonomía en modo sólo eléctrico

A.3.2.2.-Gráficas de simulaciones por ciclo durante 100 [km]

A.3.2.2.1-Ciclo I

Las gráficas de las primeras dos corridas son la mismas que las del cálculo de autonomía (ver figuras 3.8 y 3.9).

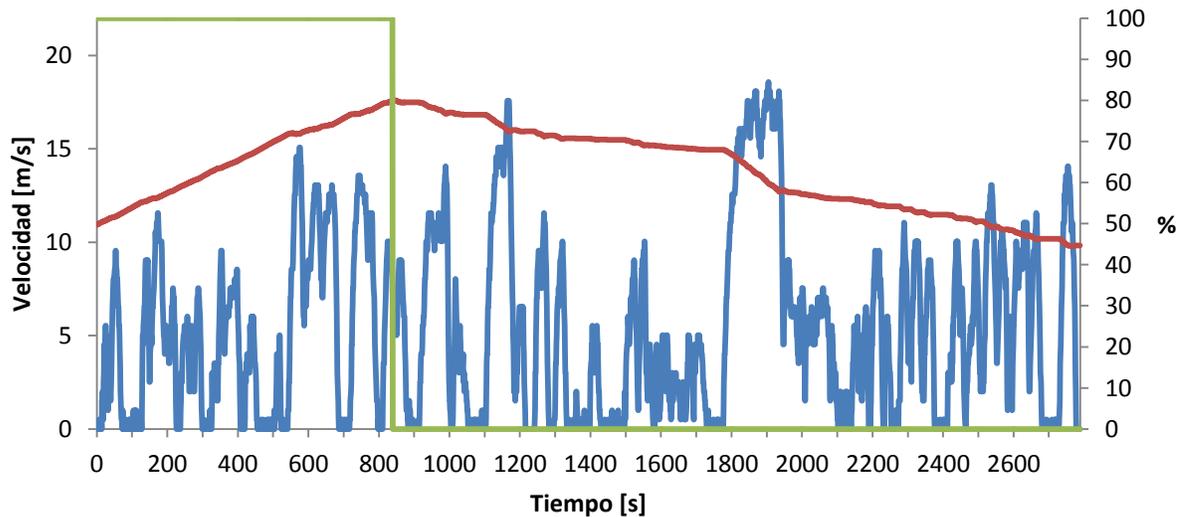


Figura A.3.42 - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

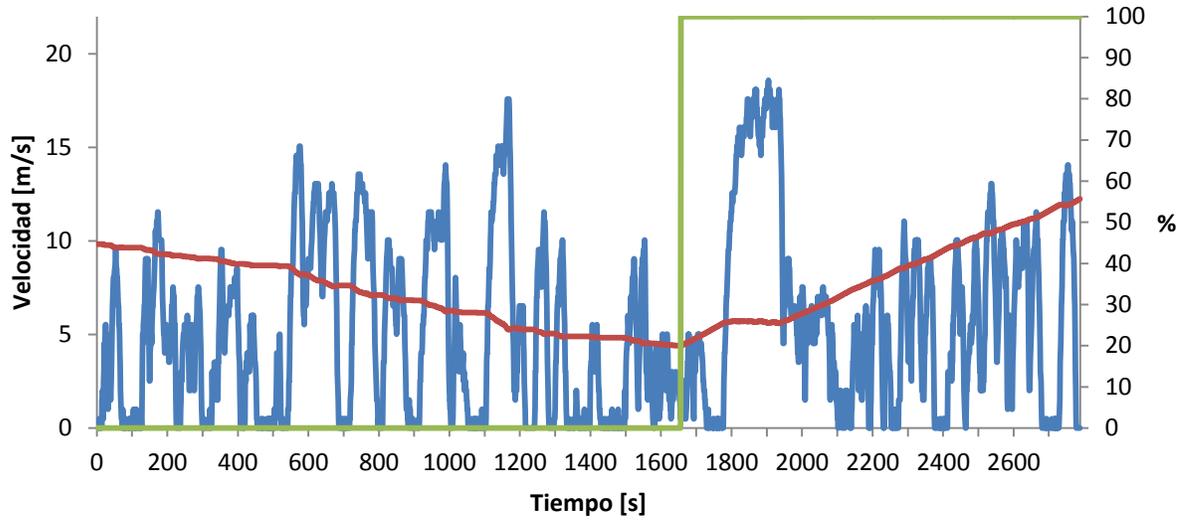


Figura A.3.43 - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

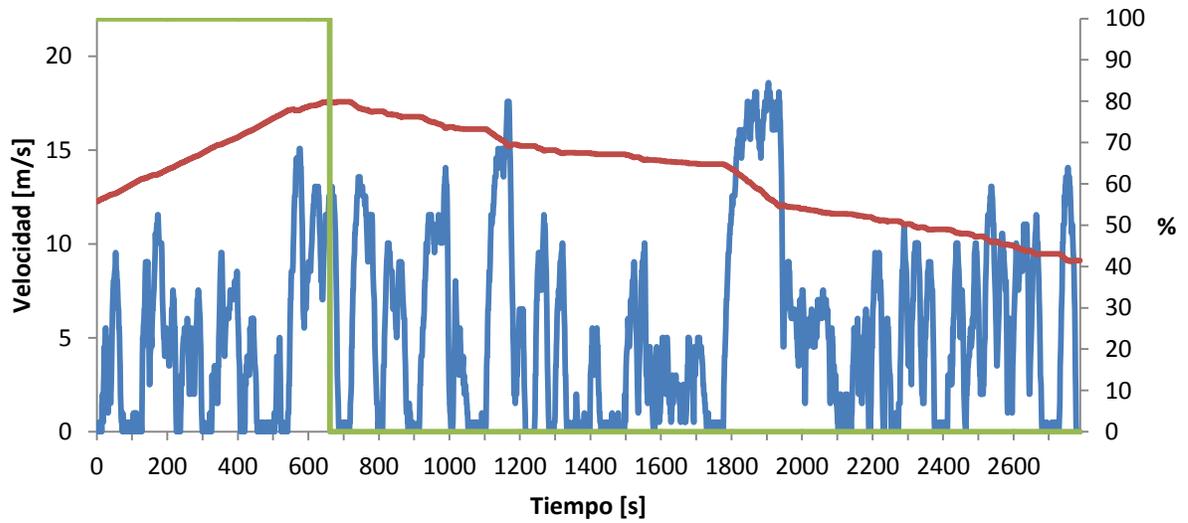


Figura A.3.44 - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

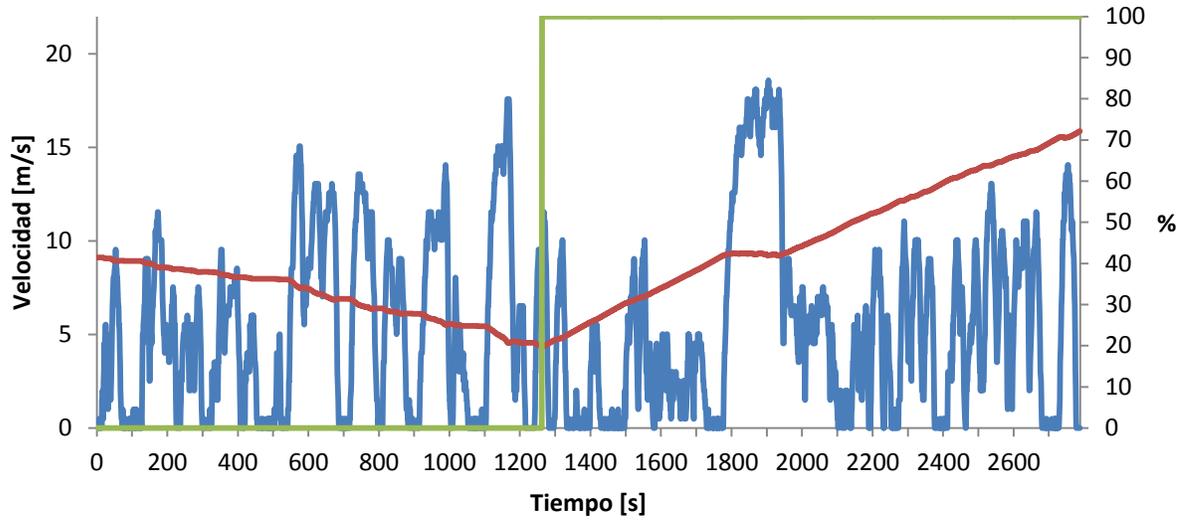


Figura A.3.45 - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

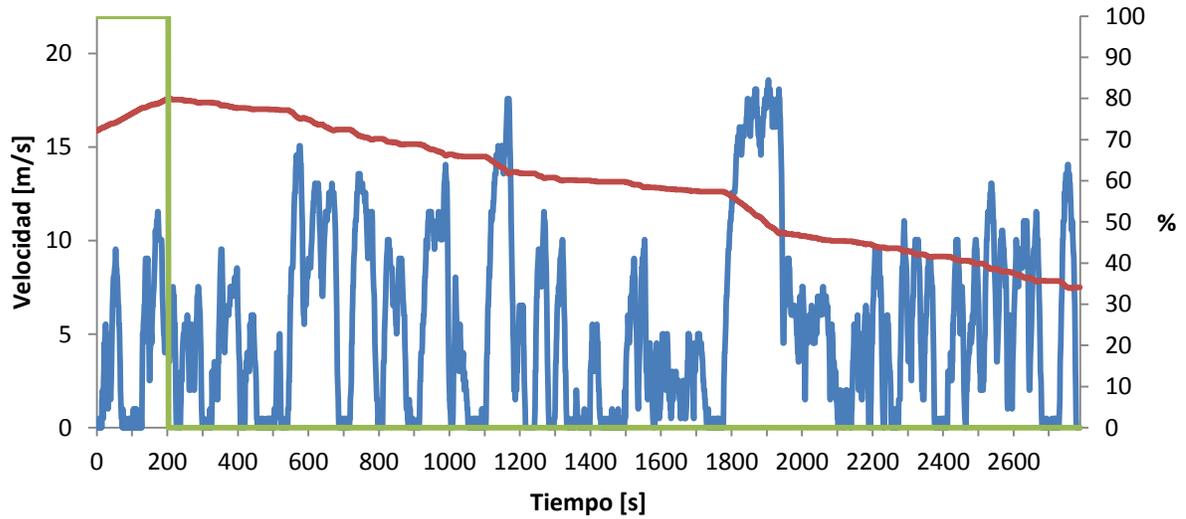


Figura A.3.46 - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

A.3.2.2.2-Ciclo II

Las gráficas de las primeras cinco corridas son la mismas que las del cálculo de autonomía (ver figuras 3.10 a 3.14).

Anexos

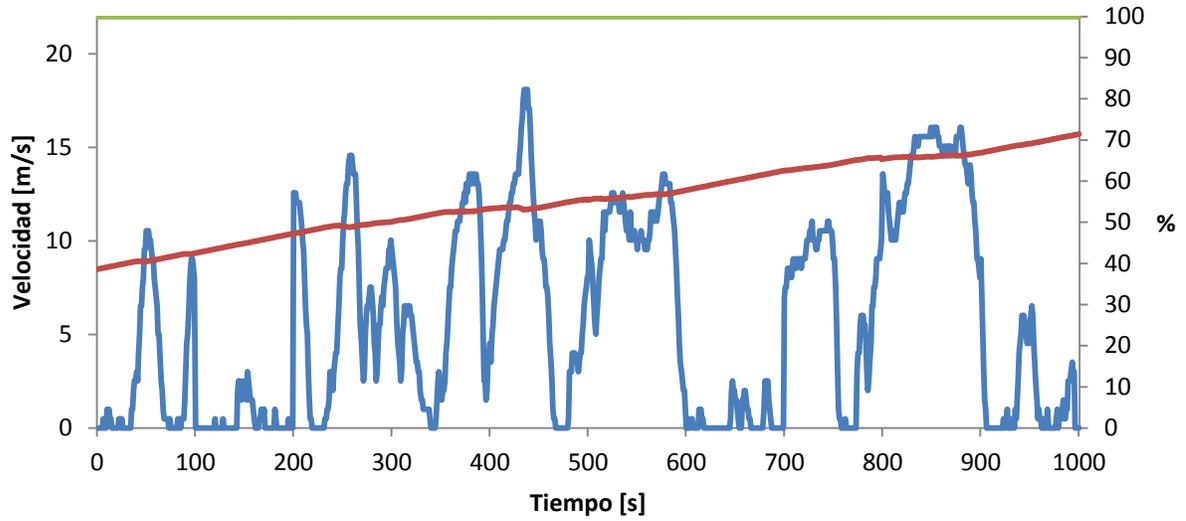


Figura A.3.47 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

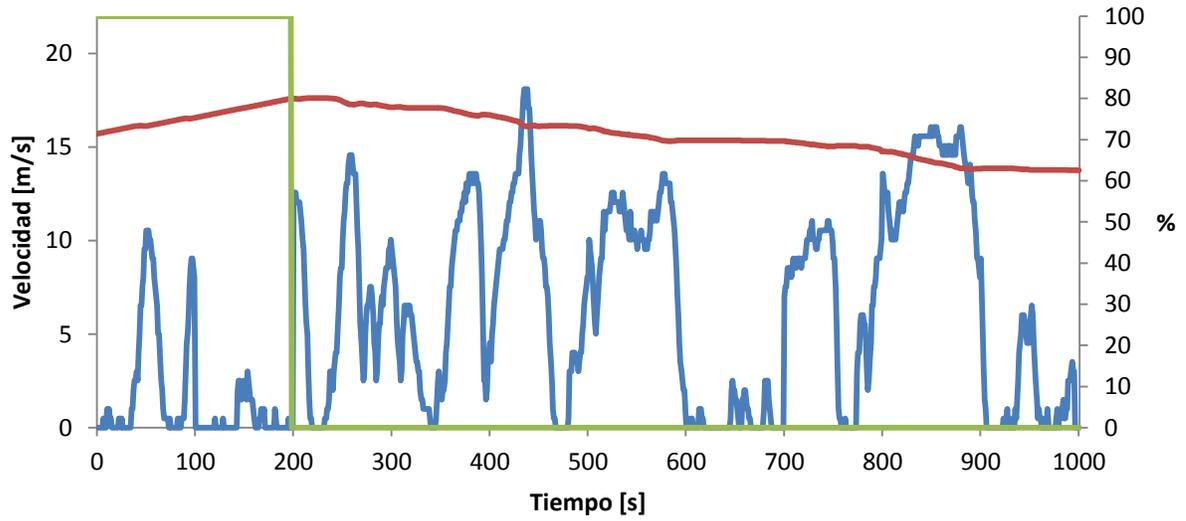


Figura A.3.48 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

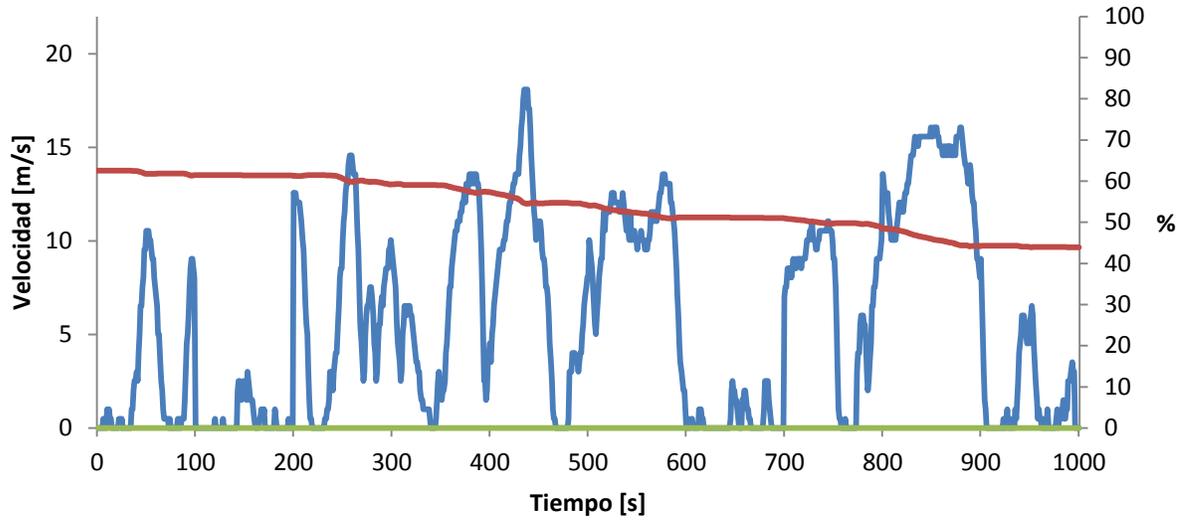


Figura A.3.49 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

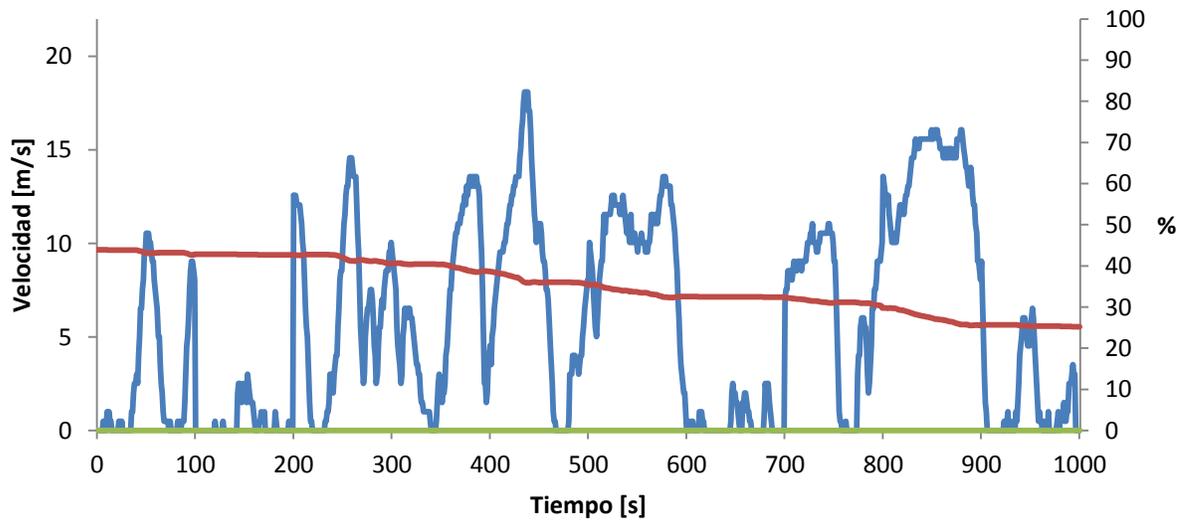


Figura A.3.50 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

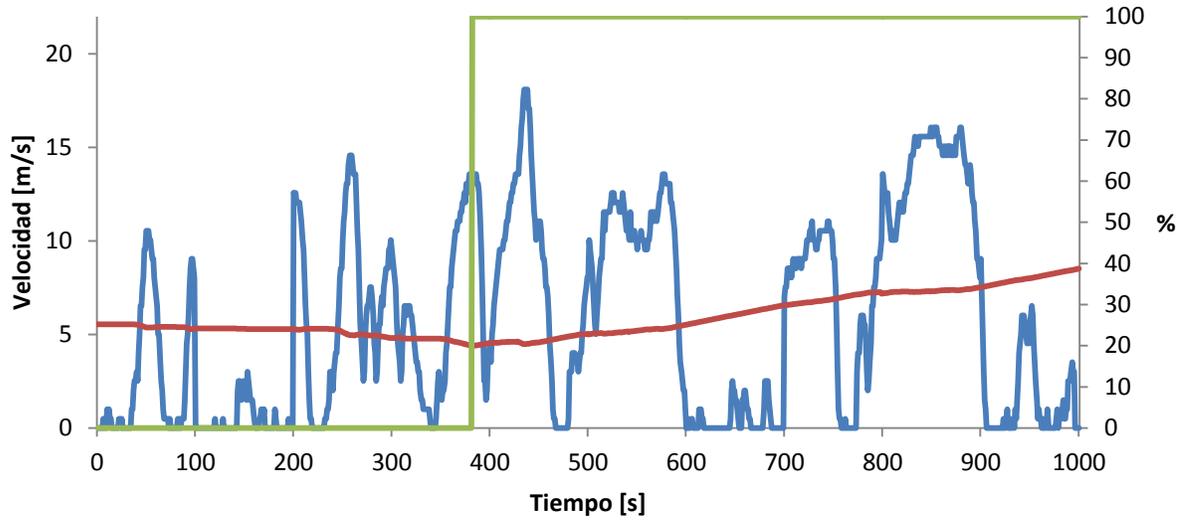


Figura A.3.51 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

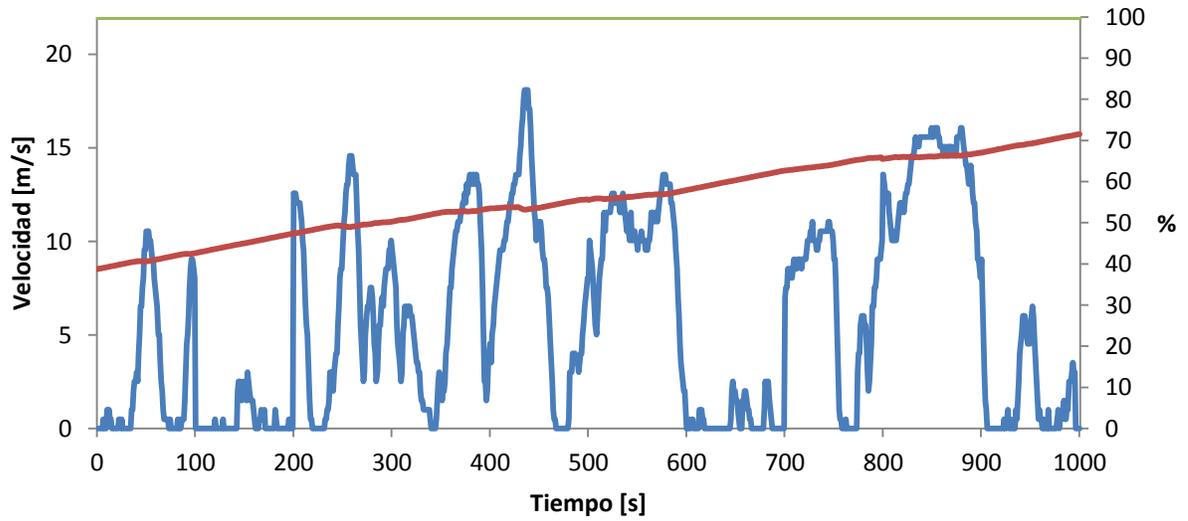


Figura A.3.52 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #11 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

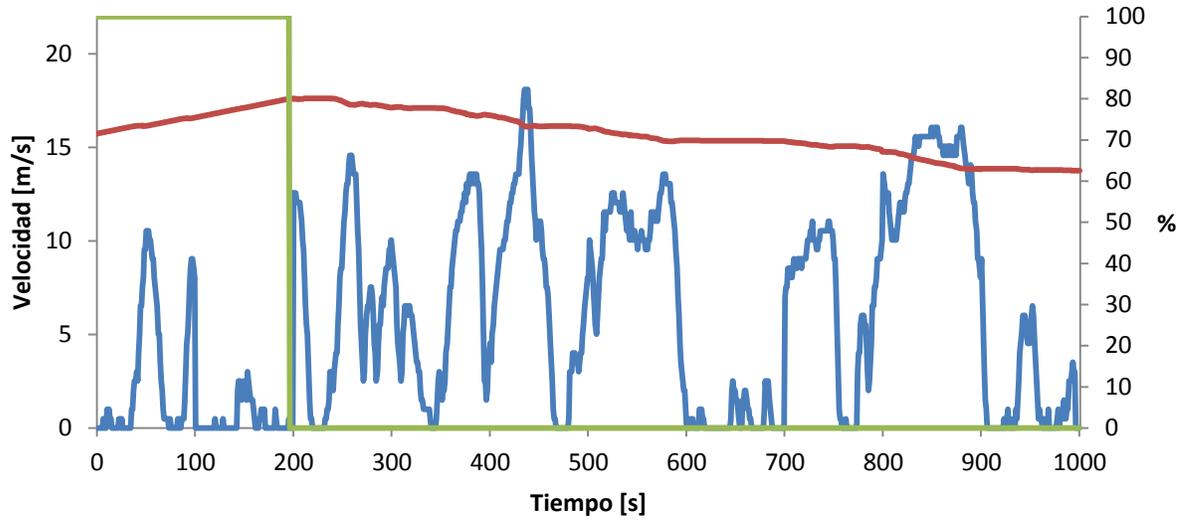


Figura A.3.53 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #12 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

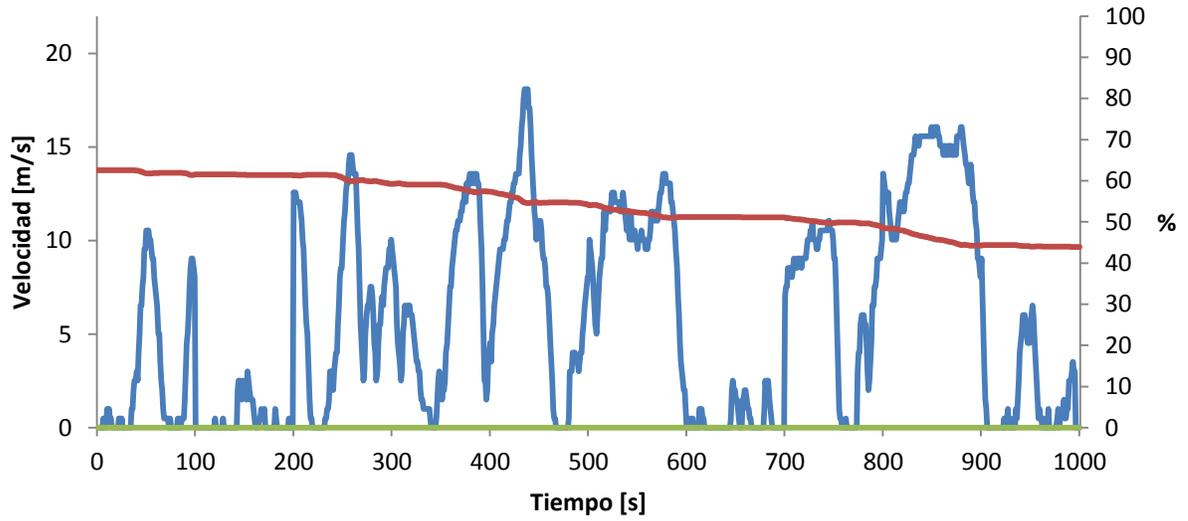


Figura A.3.54 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #13 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

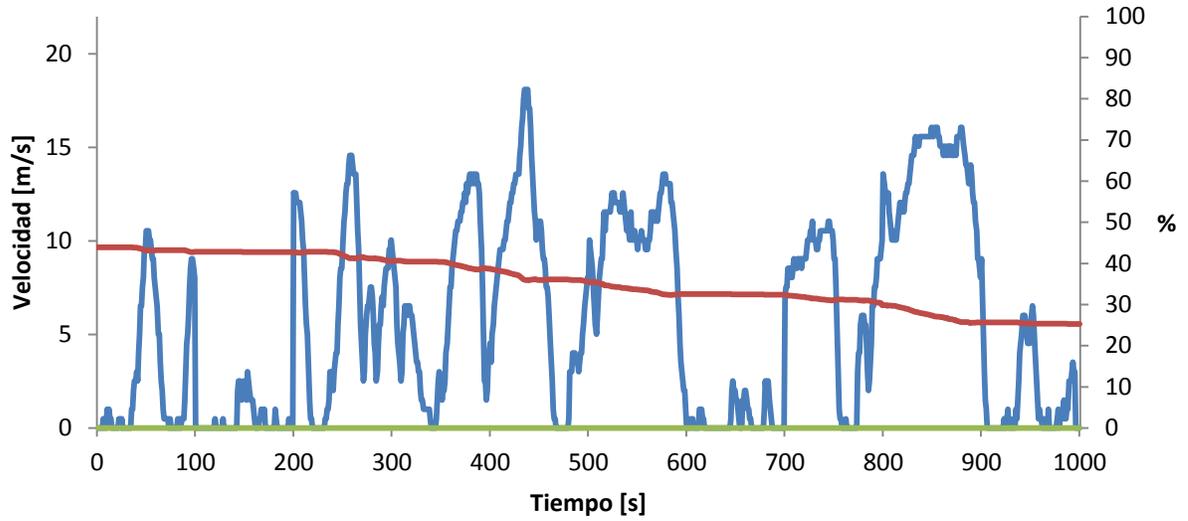


Figura A.3.55 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #14 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

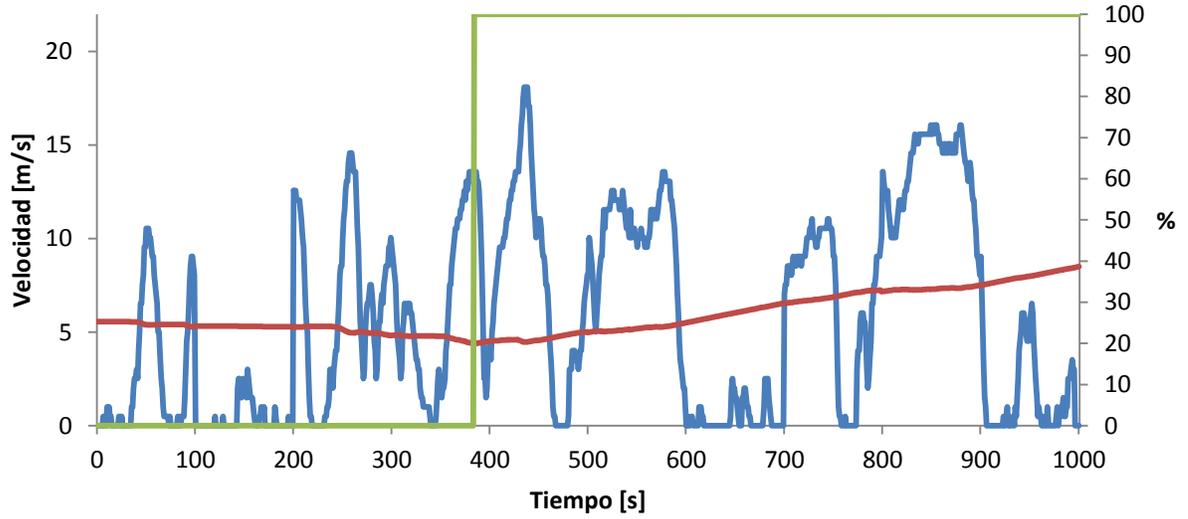


Figura A.3.56 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #15 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

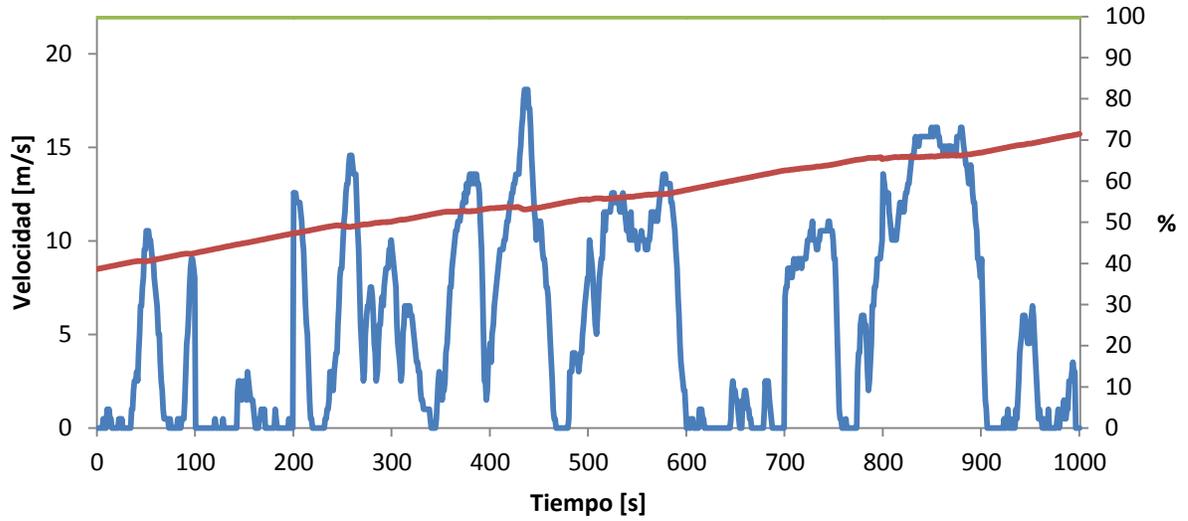


Figura A.3.57 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #16 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

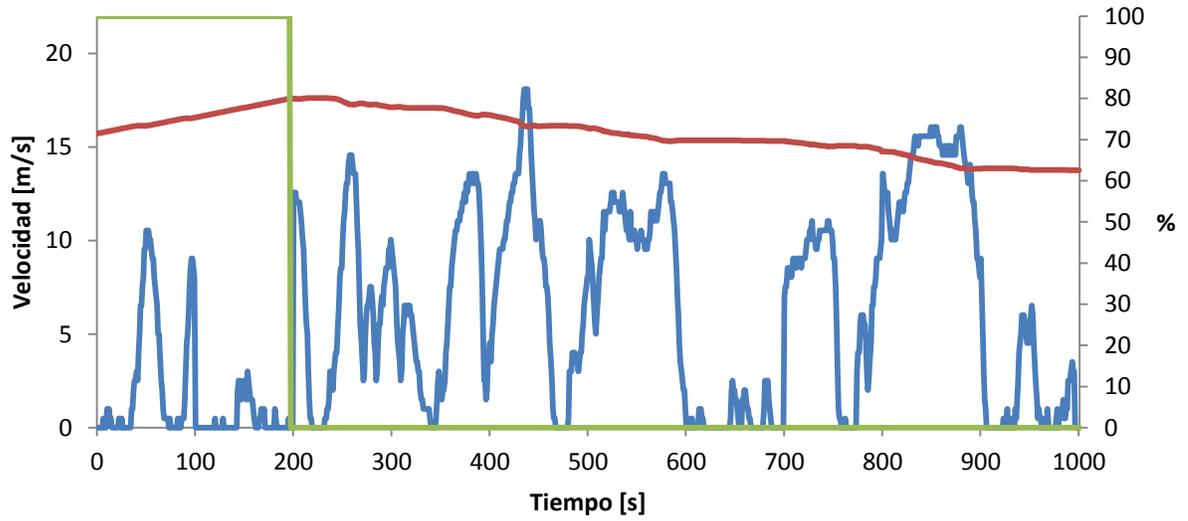


Figura A.3.58 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #17 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

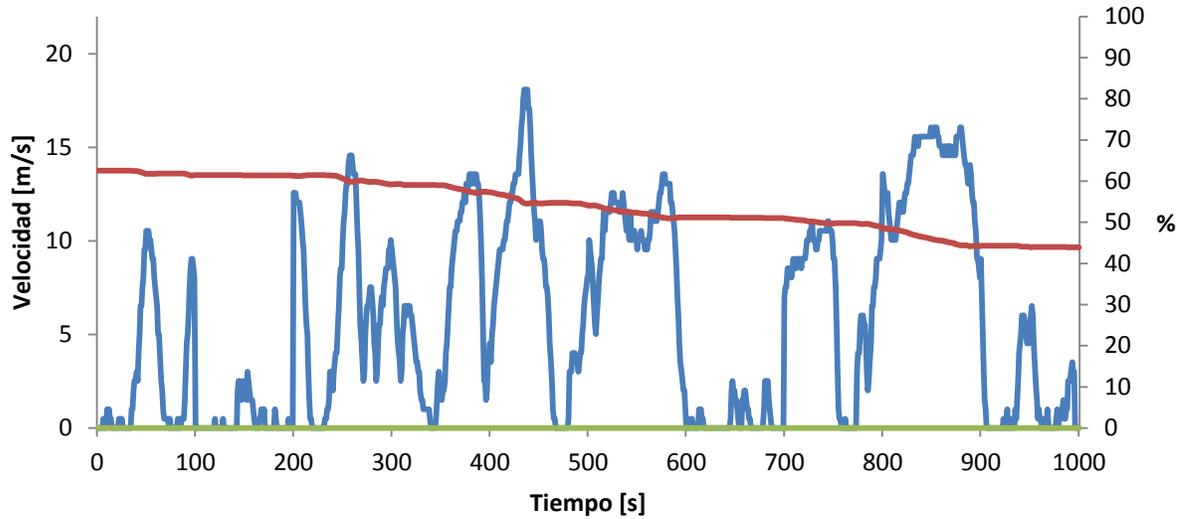


Figura A.3.59 - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #18 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

3.2.2.3-Ciclo III

Las gráficas de las primeras siete corridas son la mismas que las del cálculo de autonomía (ver figuras A.3.15 a A.3.22).

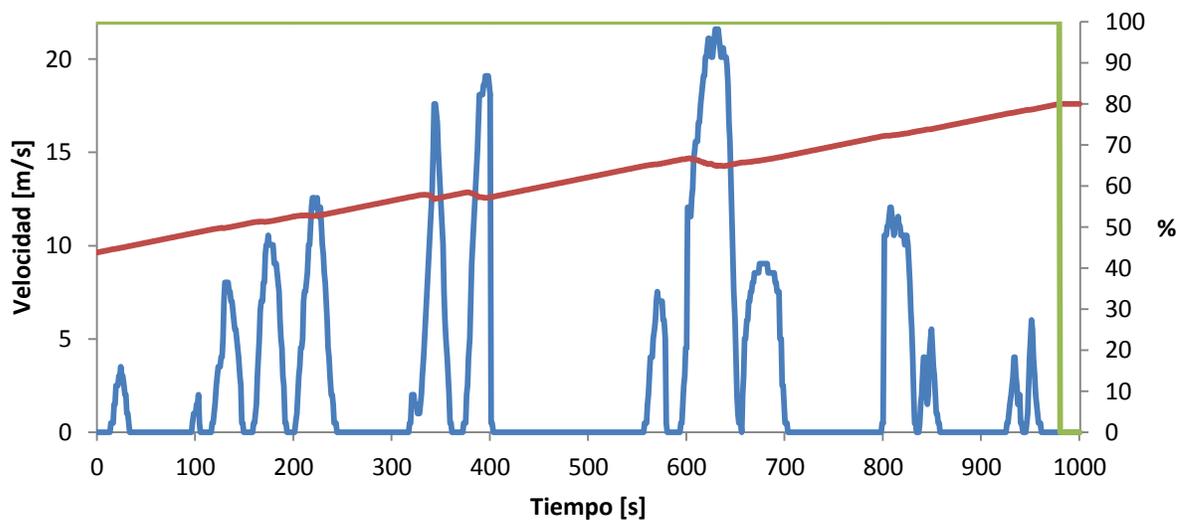


Figura A.3.60 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

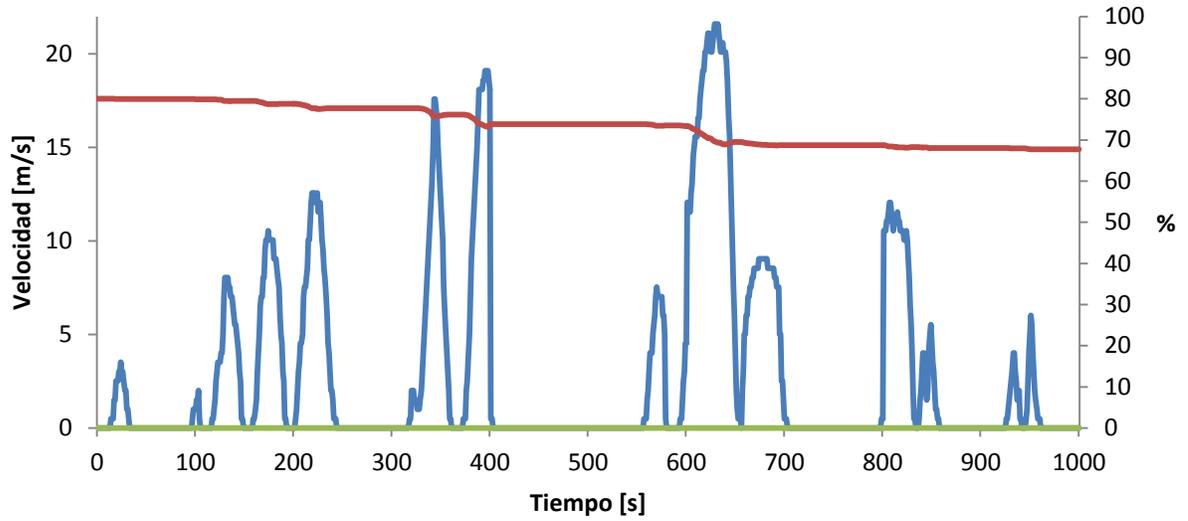


Figura A.3.61 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

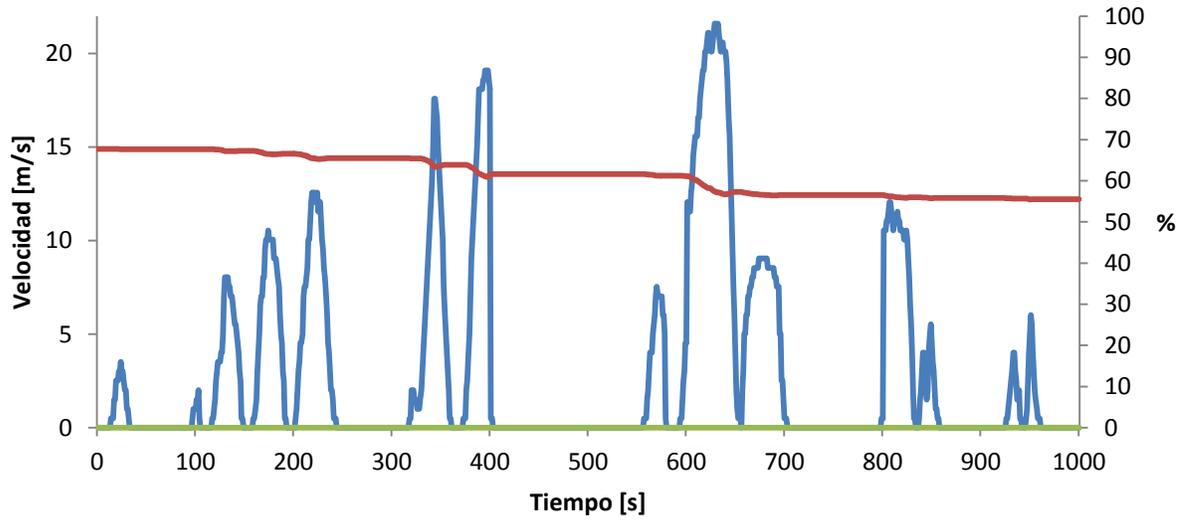


Figura A.3.62 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

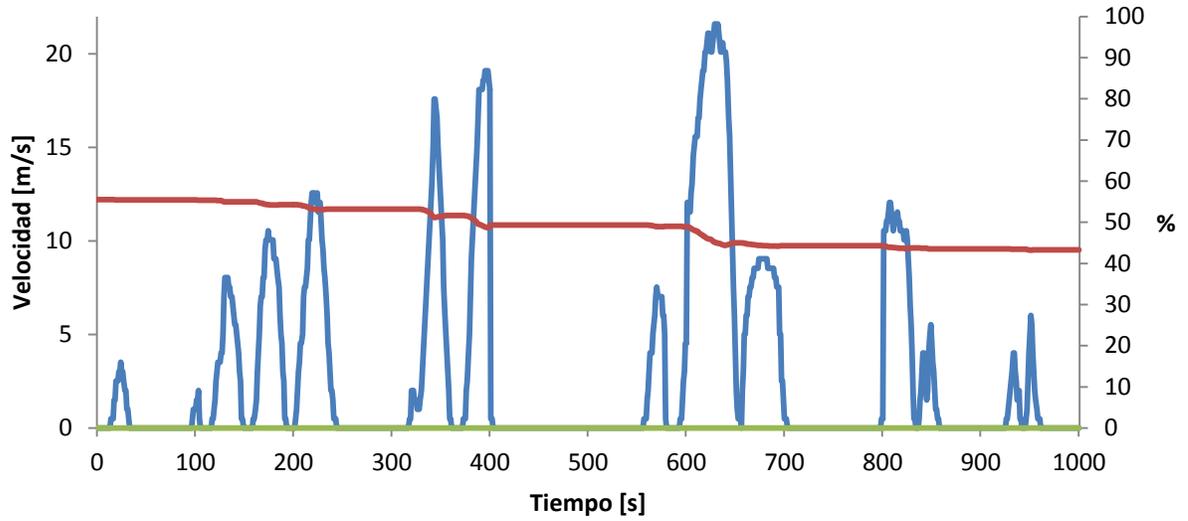


Figura A.3.63 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #11 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

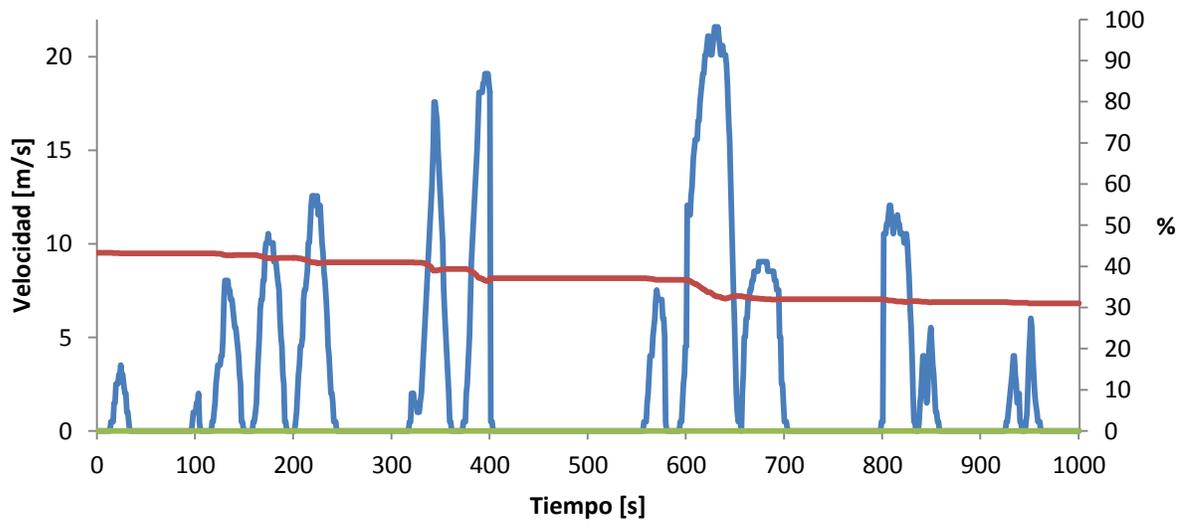


Figura A.3.64 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #12 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

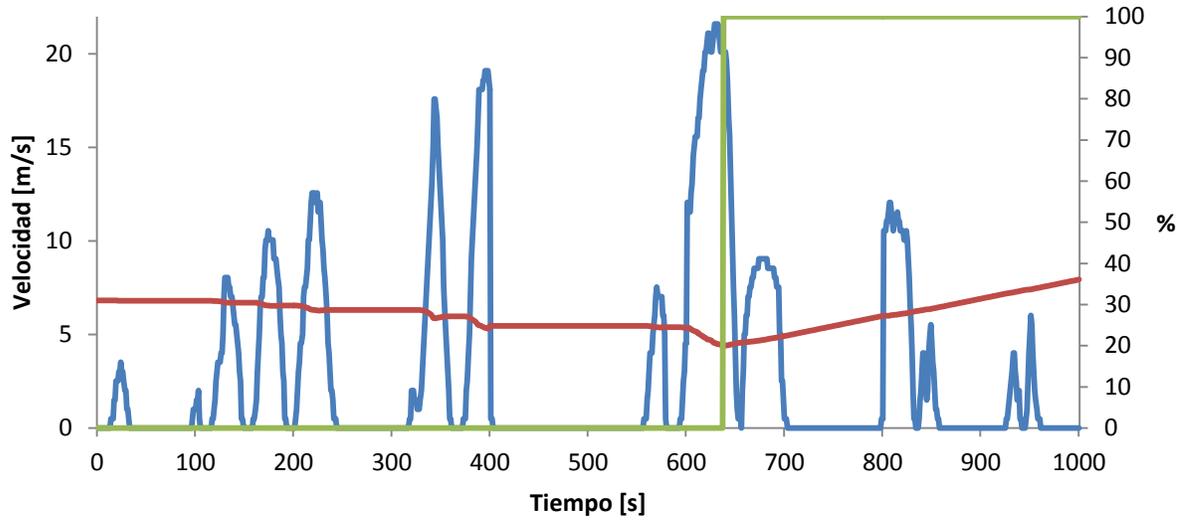


Figura A.3.65 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #13 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

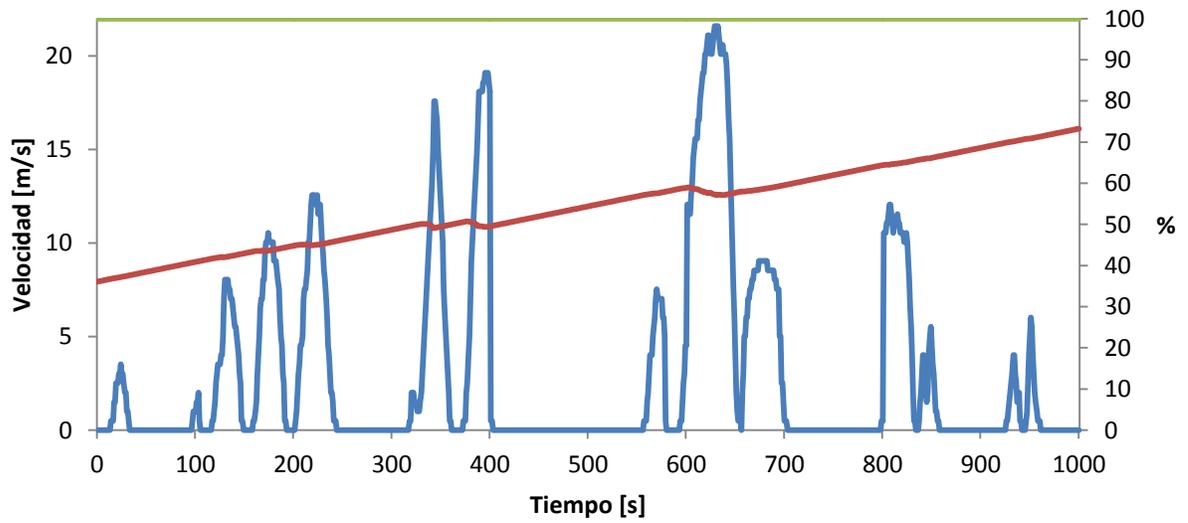


Figura A.3.66 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #14 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

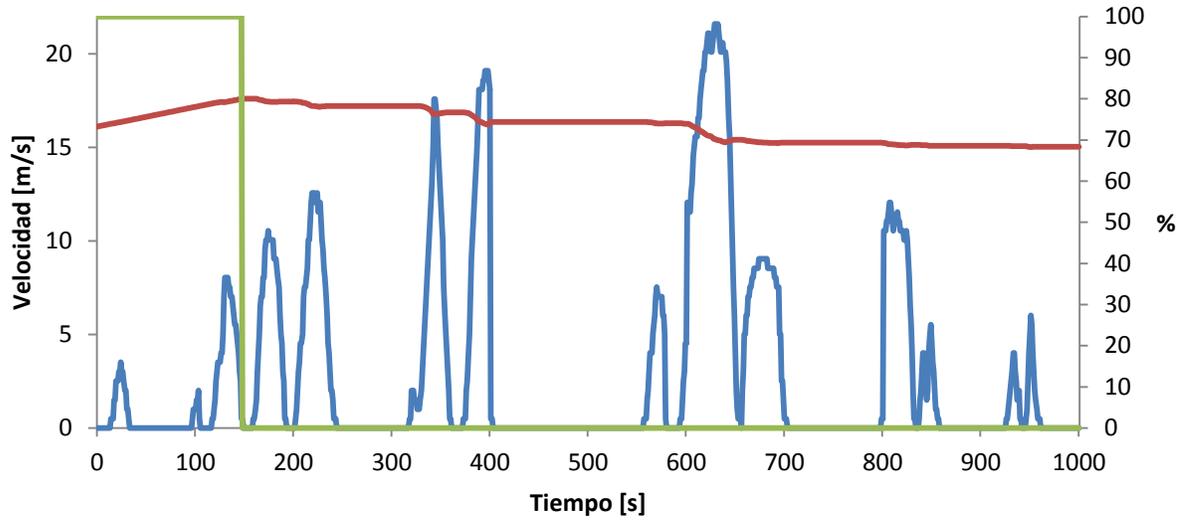


Figura A.3.67 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #15 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

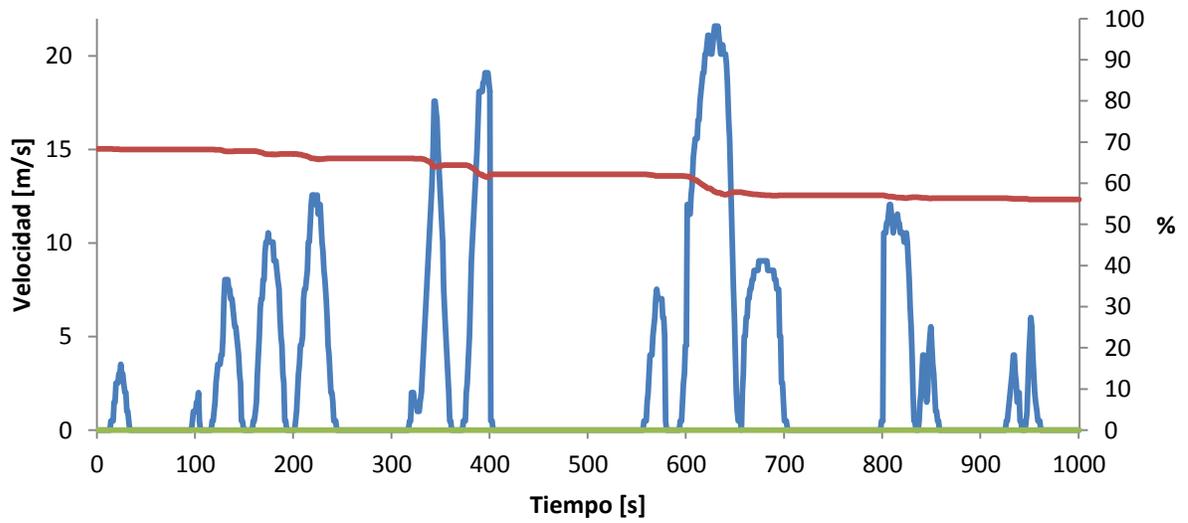


Figura A.3.68 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #16 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

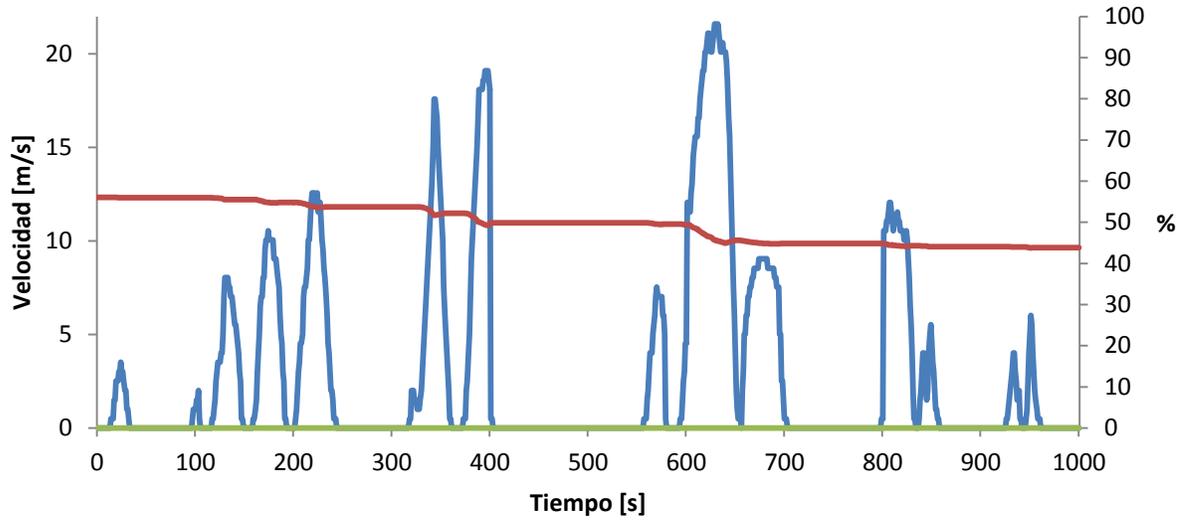


Figura A.3.69 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #17 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

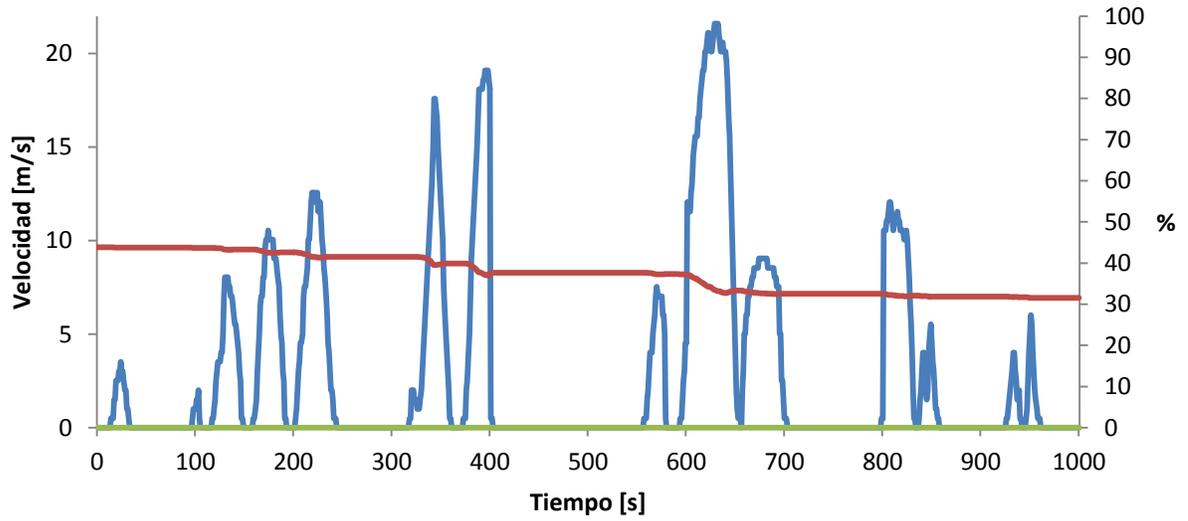


Figura A.3.70 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #18 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

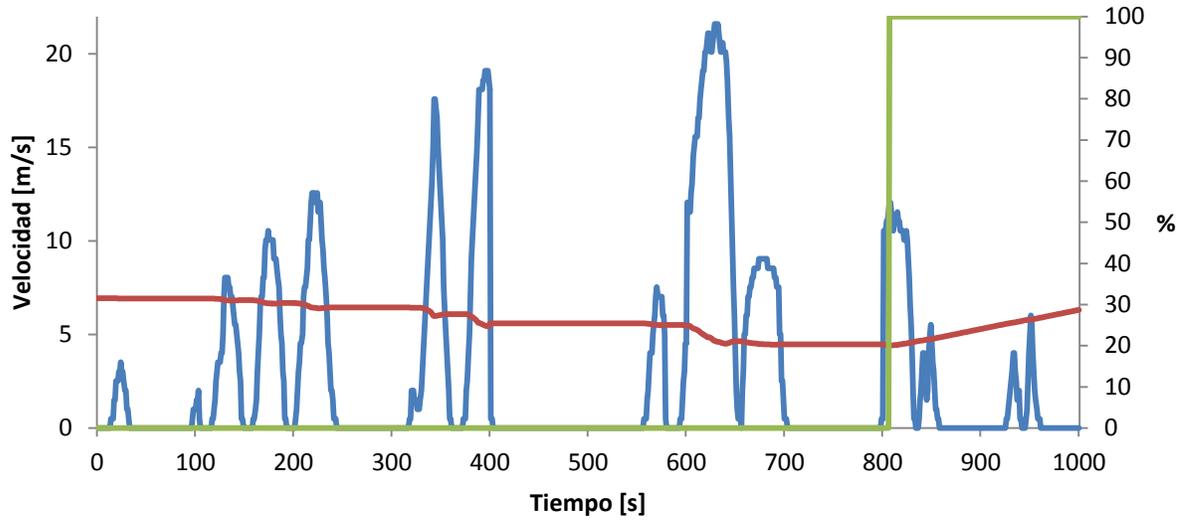


Figura A.3.71 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #19 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

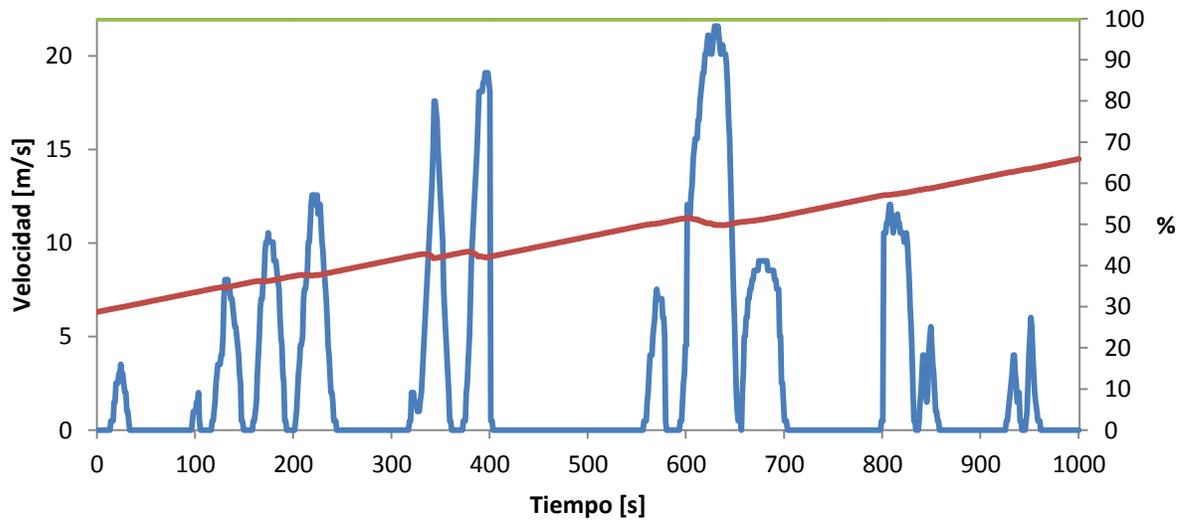


Figura A.3.72 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #20 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

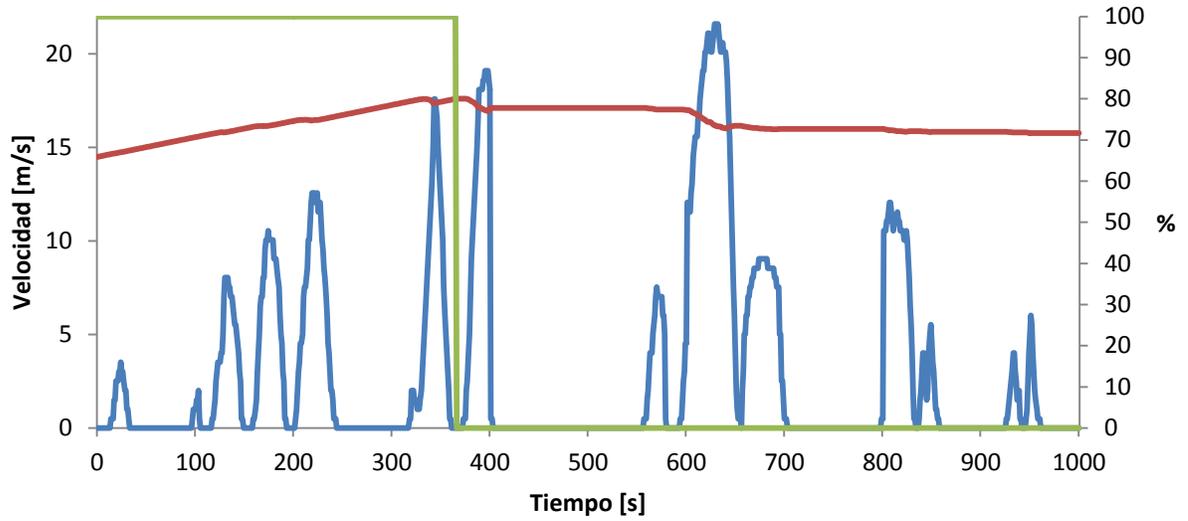


Figura A.3.73 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #21 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

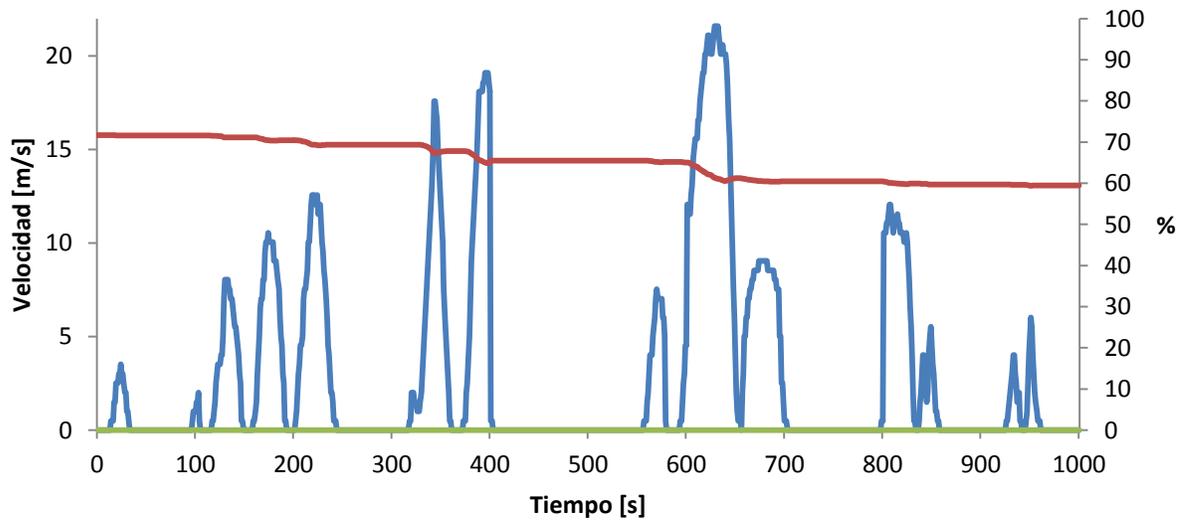


Figura A.3.74 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #22 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

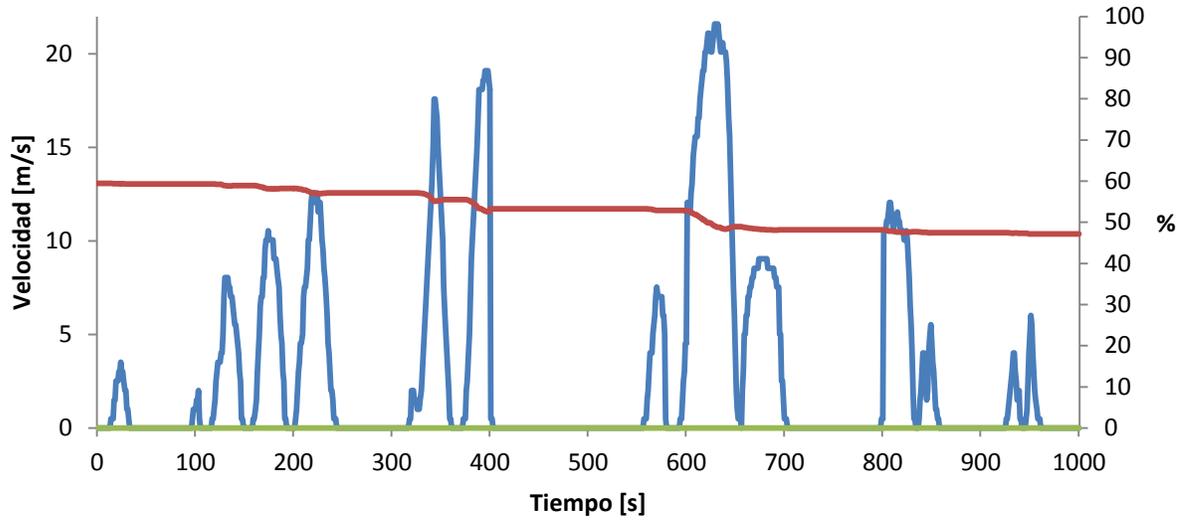


Figura A.3.75- Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #23 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

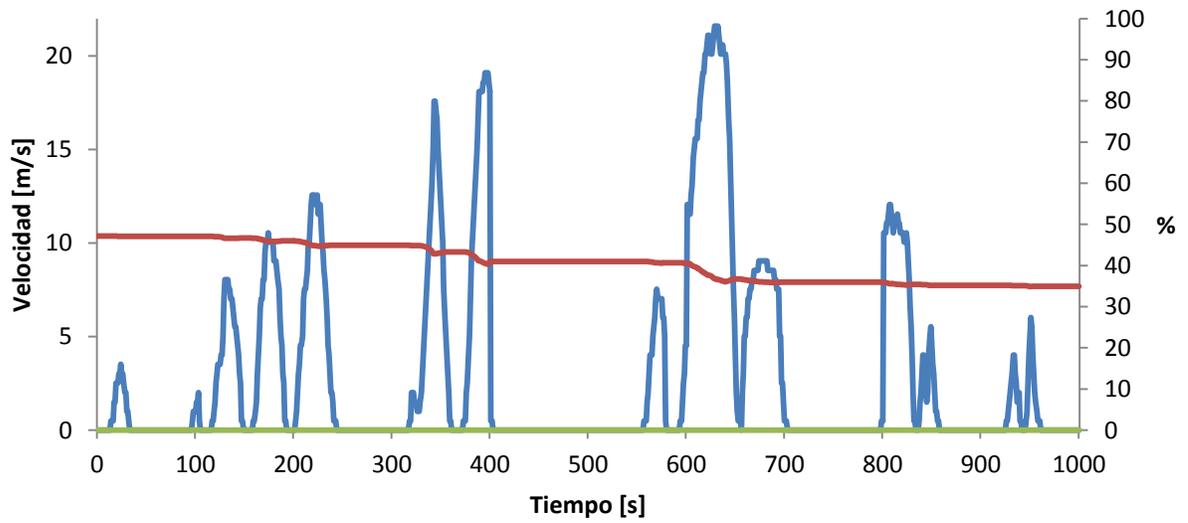


Figura A.3.76 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #24 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

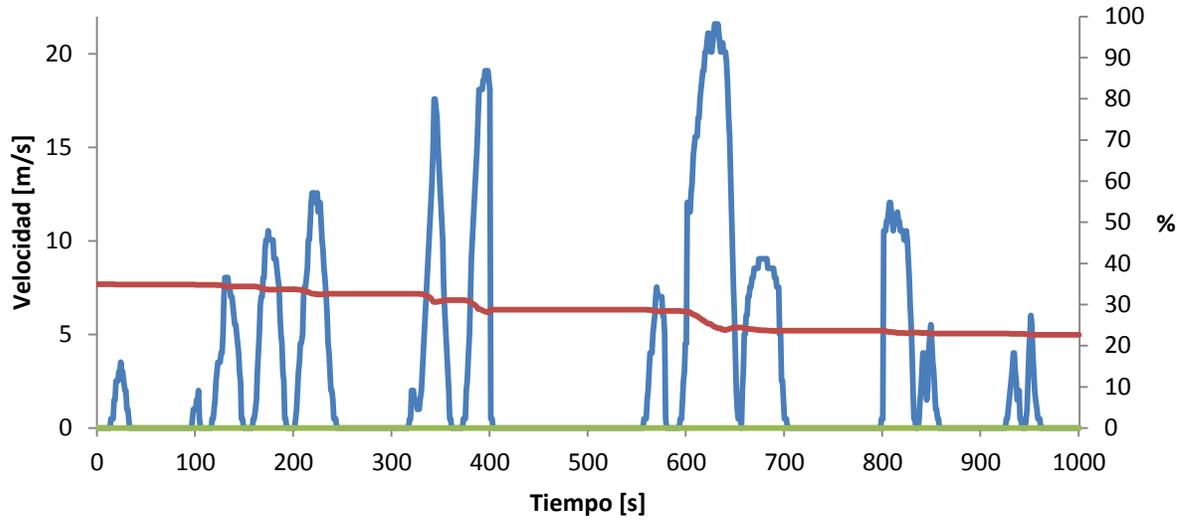


Figura A.3.77 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #25 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

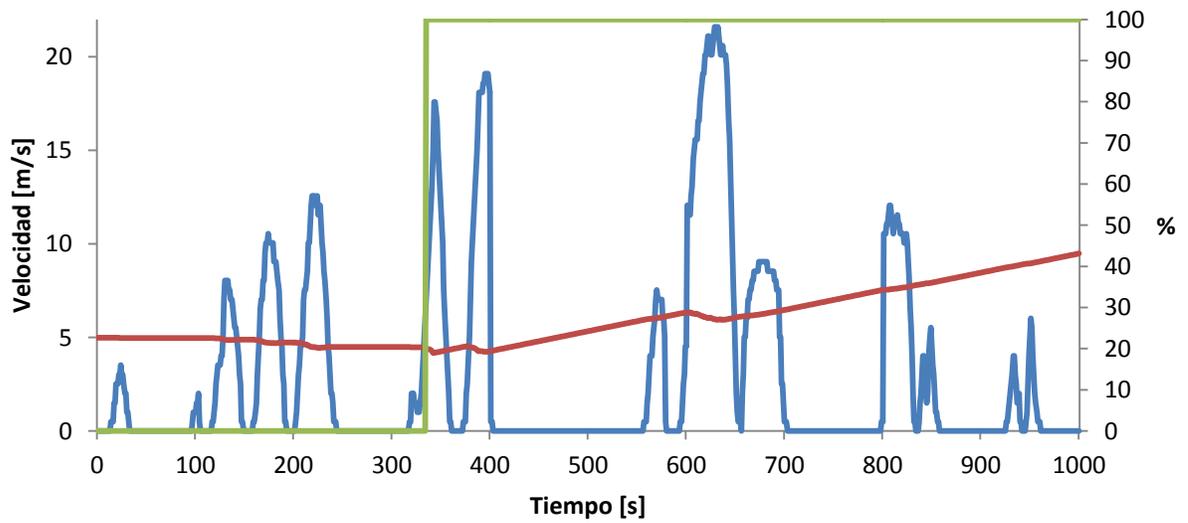


Figura A.3.78 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #26 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

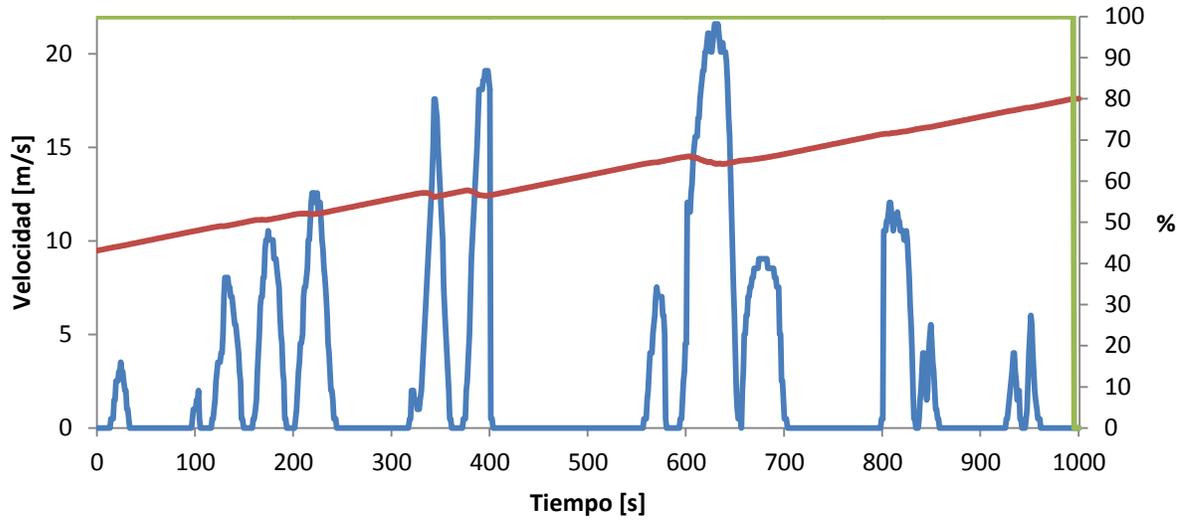


Figura A.3.79 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #27 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

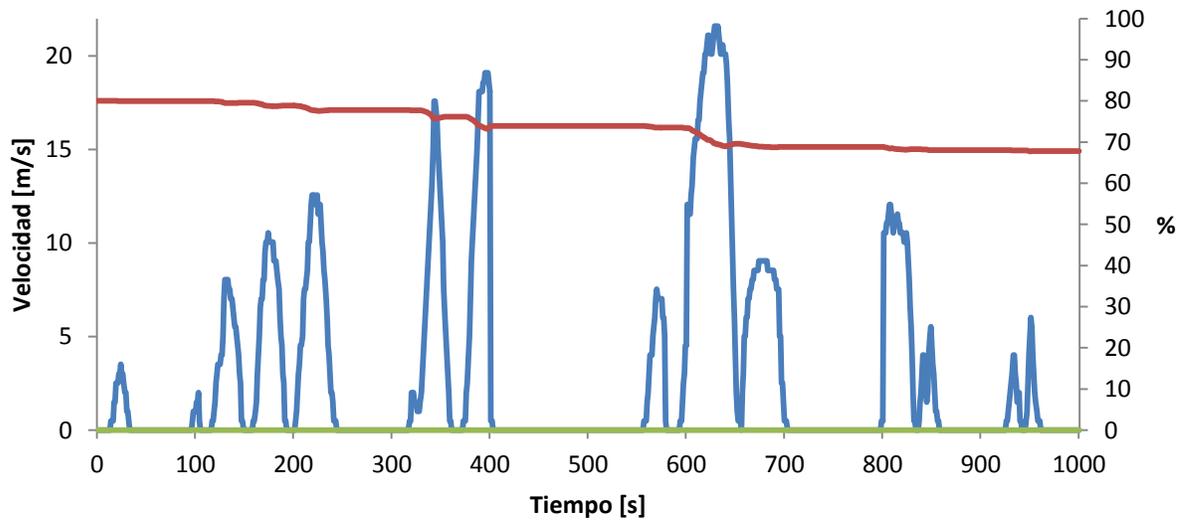


Figura A.3.80 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #28 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

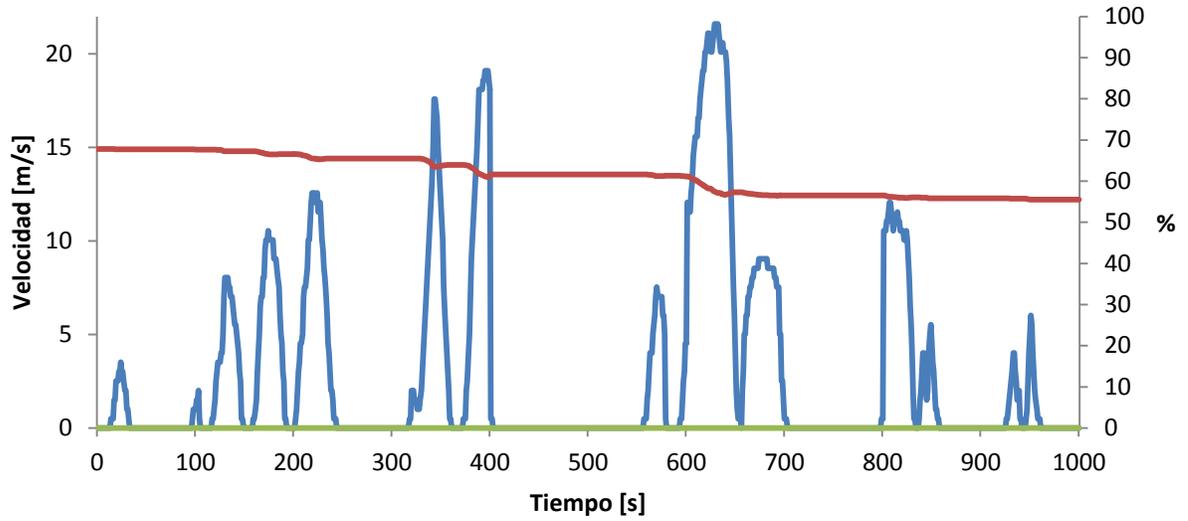


Figura A.3.81 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #29 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

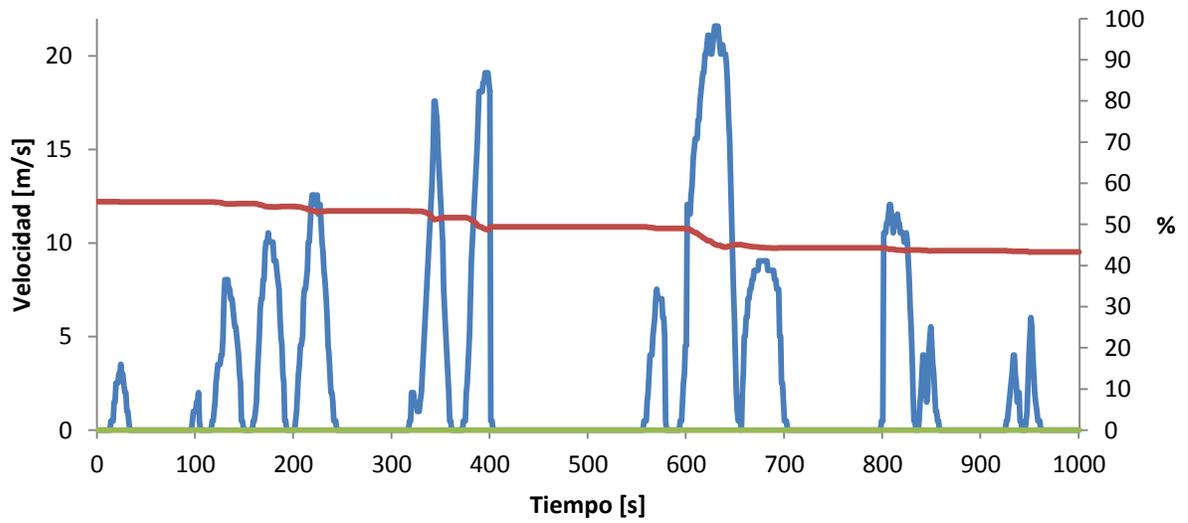


Figura A.3.82 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #30 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

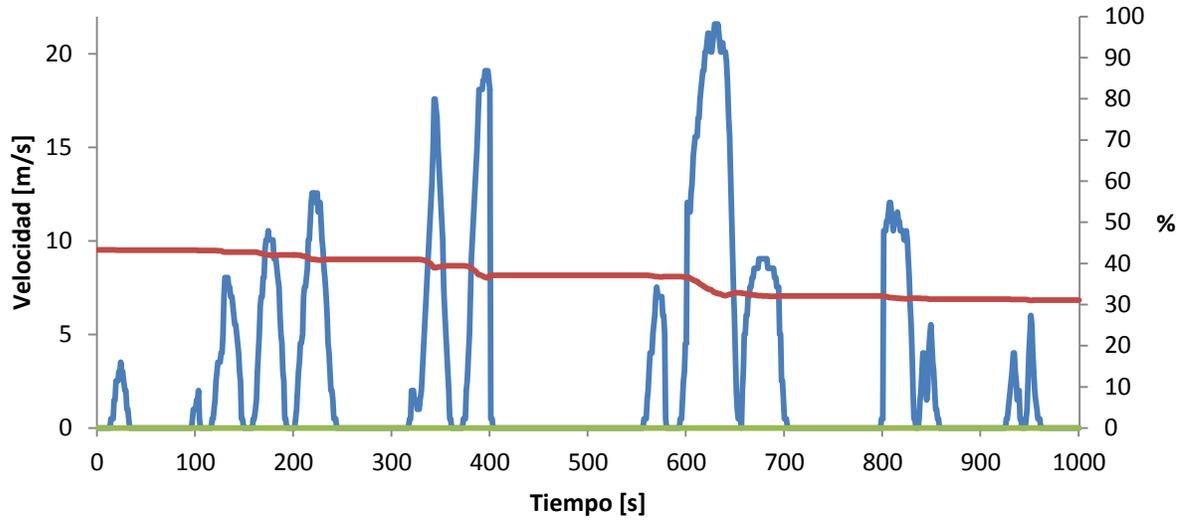


Figura A.3.83 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #31 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

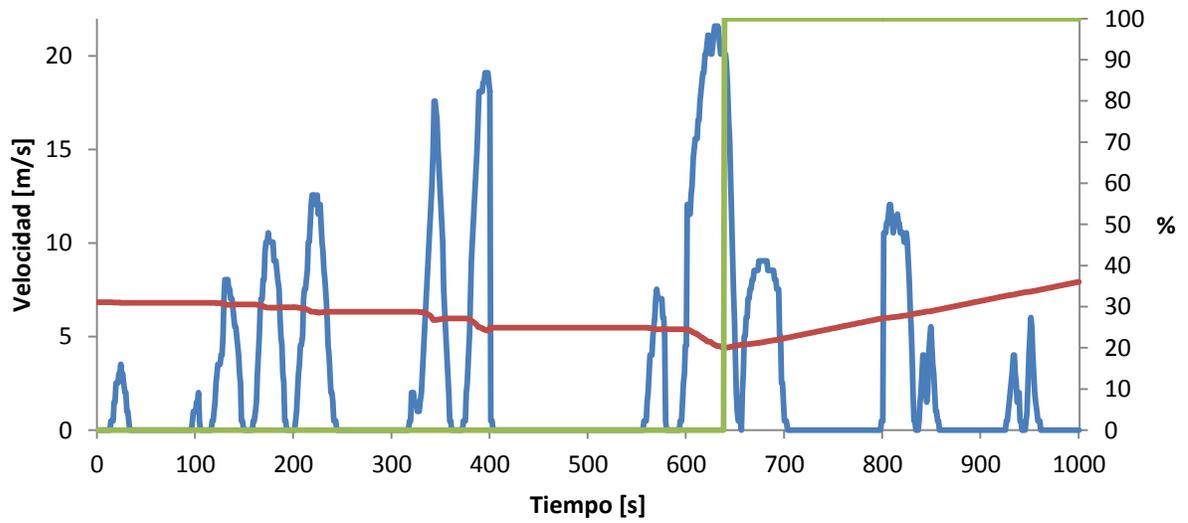


Figura A.3.84 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #32 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

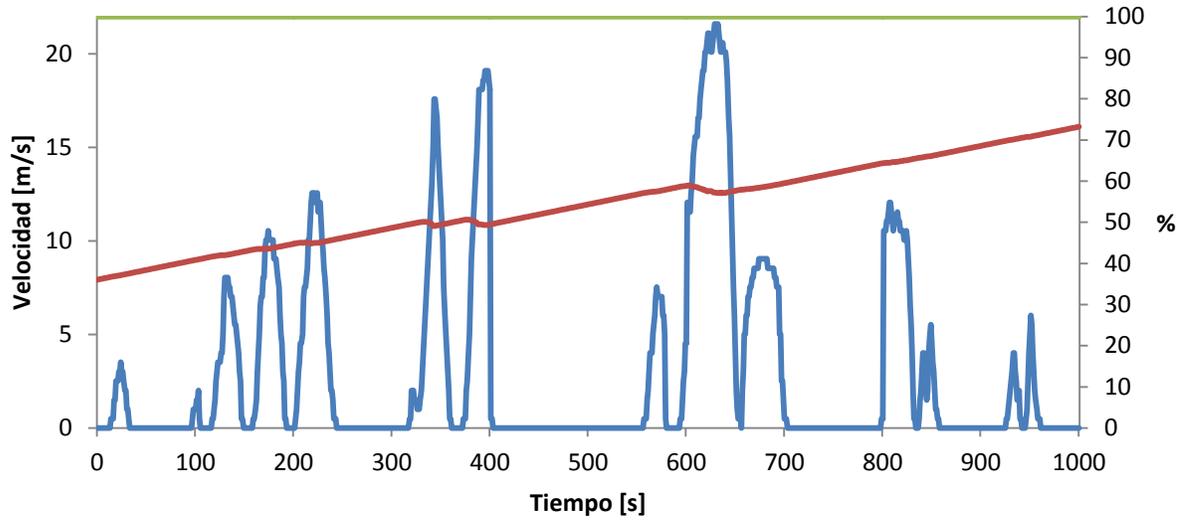


Figura A.3.85 - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #33 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

3.2.2.4-Ciclo IV

Las gráficas de las primeras cuatro corridas son la mismas que las del cálculo de autonomía (ver figuras 3.23 a 3.26).

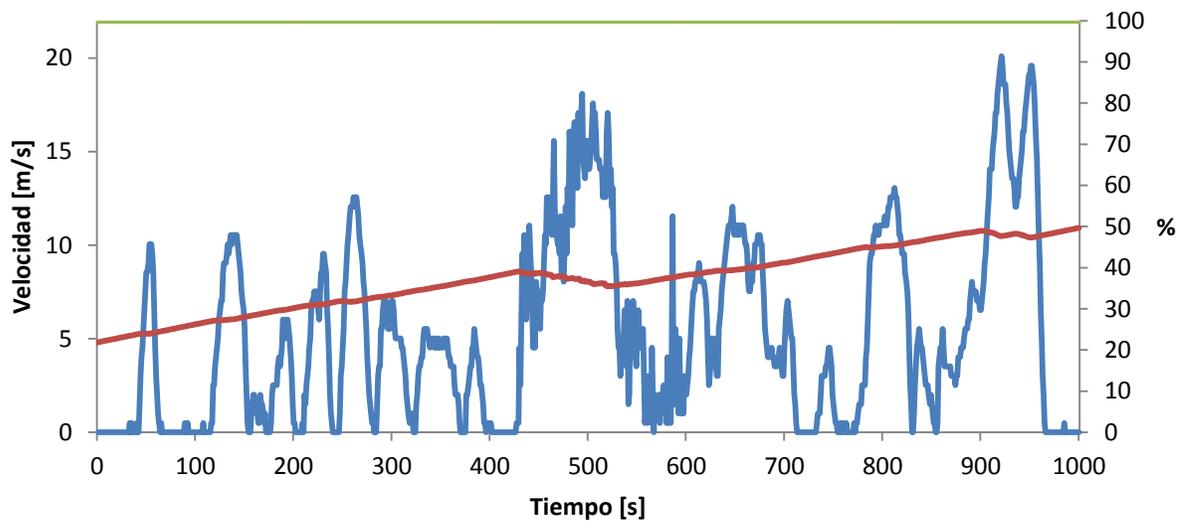


Figura A.3.86 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

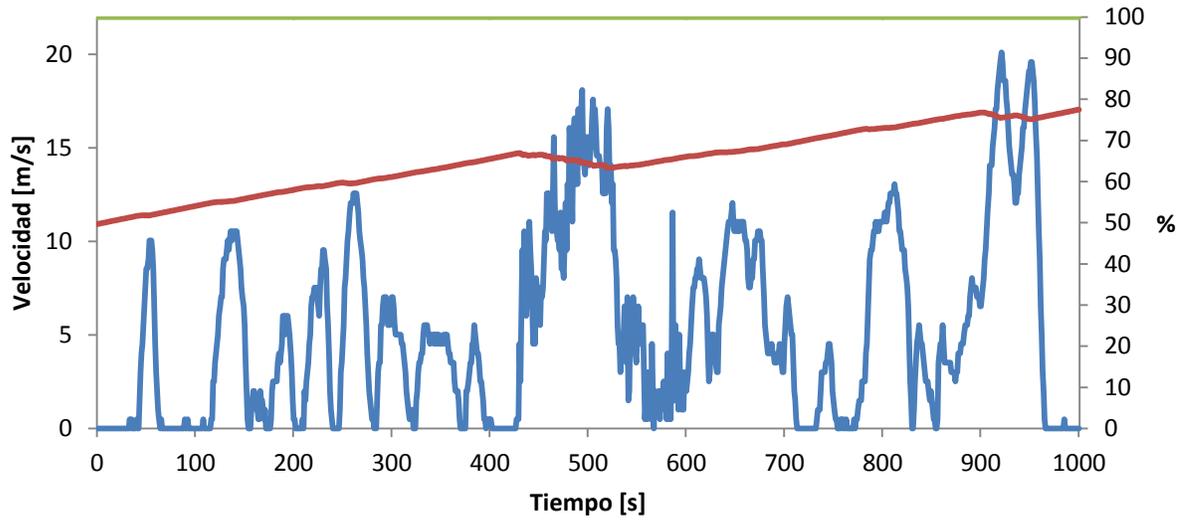


Figura A.3.87 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

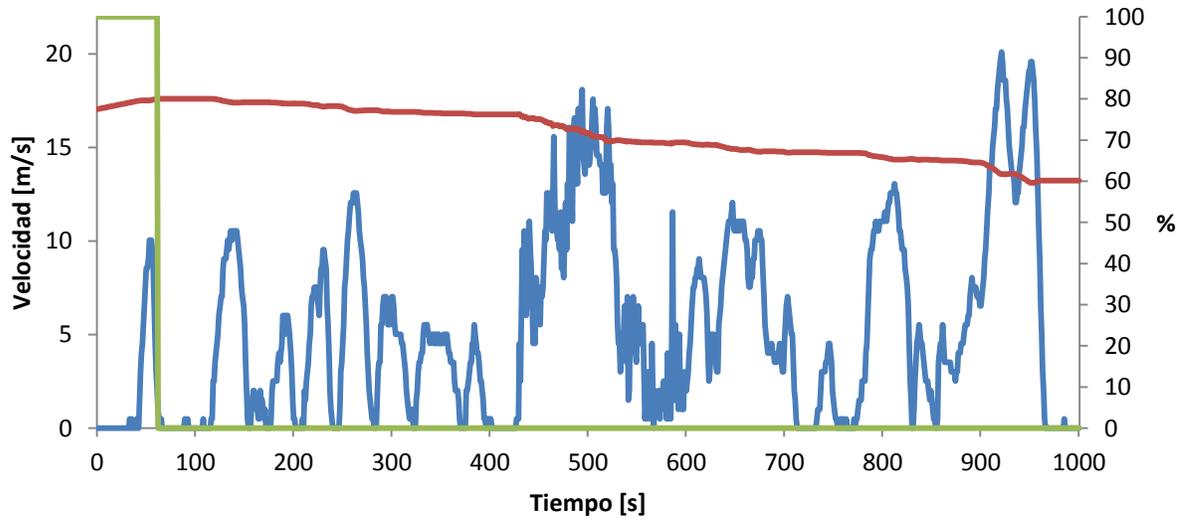


Figura A.3.88 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

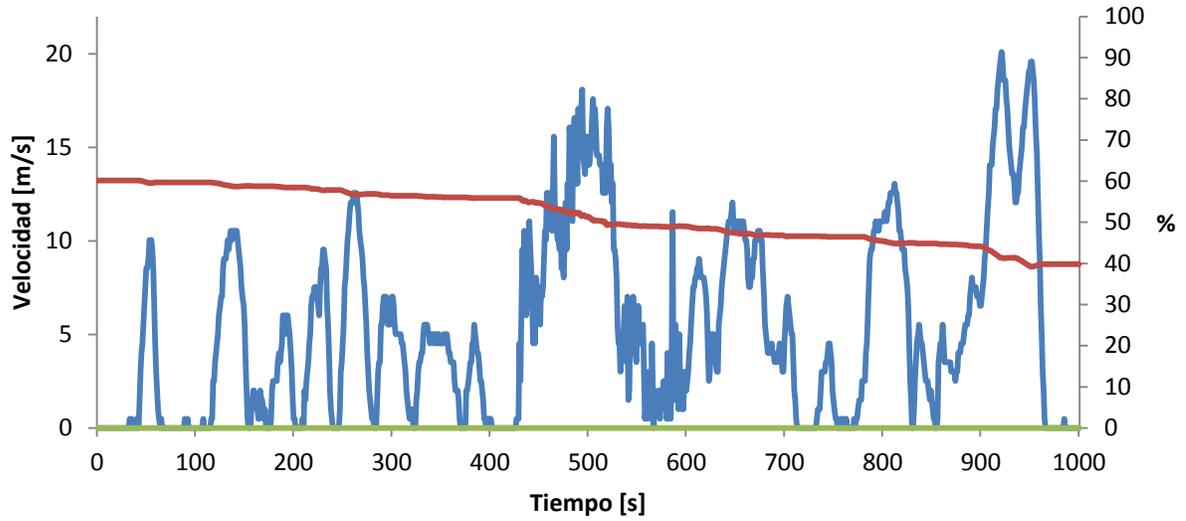


Figura A.3.89 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

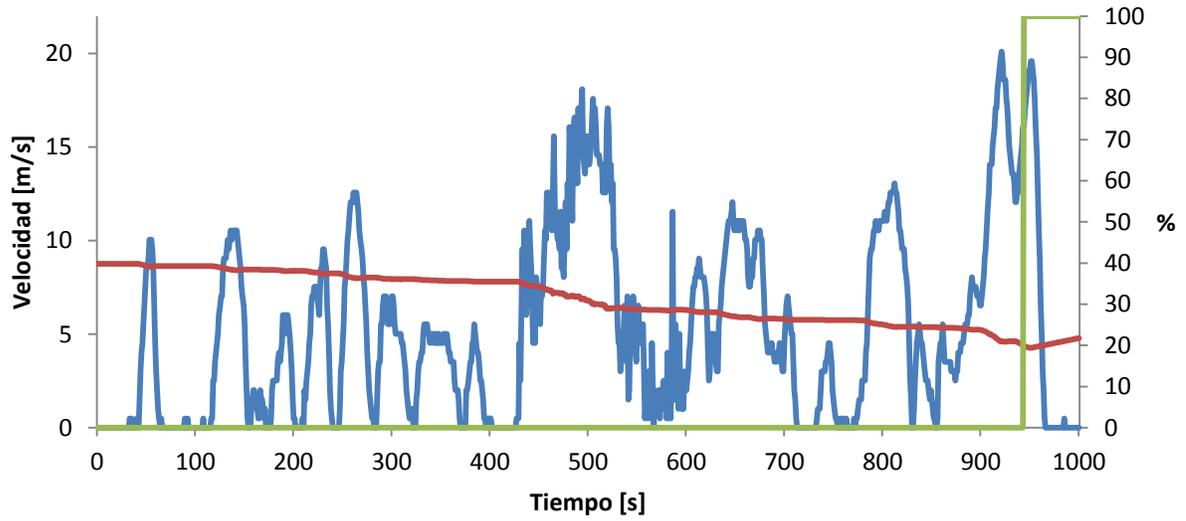


Figura A.3.90 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

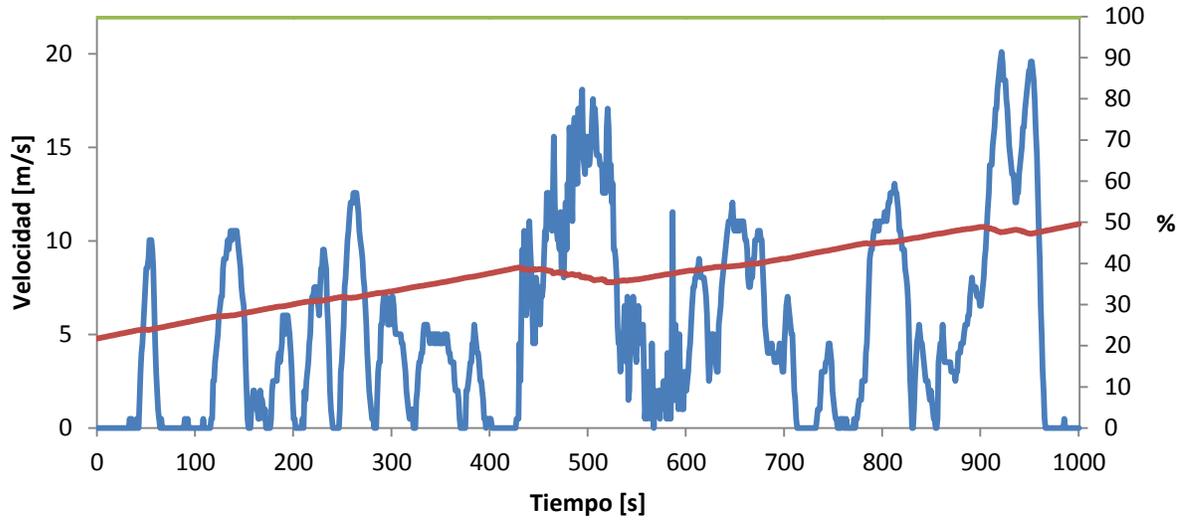


Figura A.3.91 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

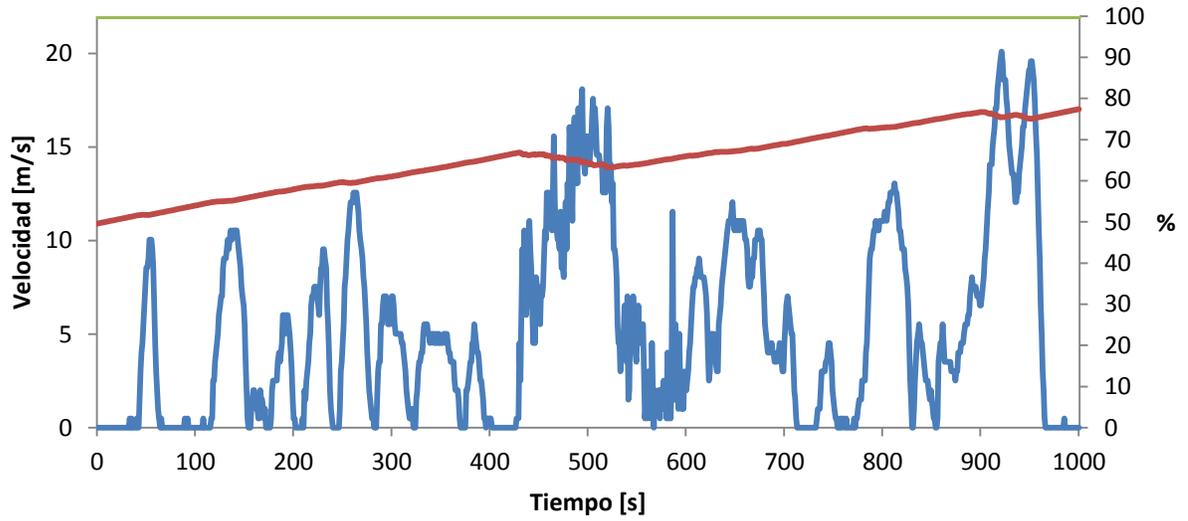


Figura A.3.92 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #11 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

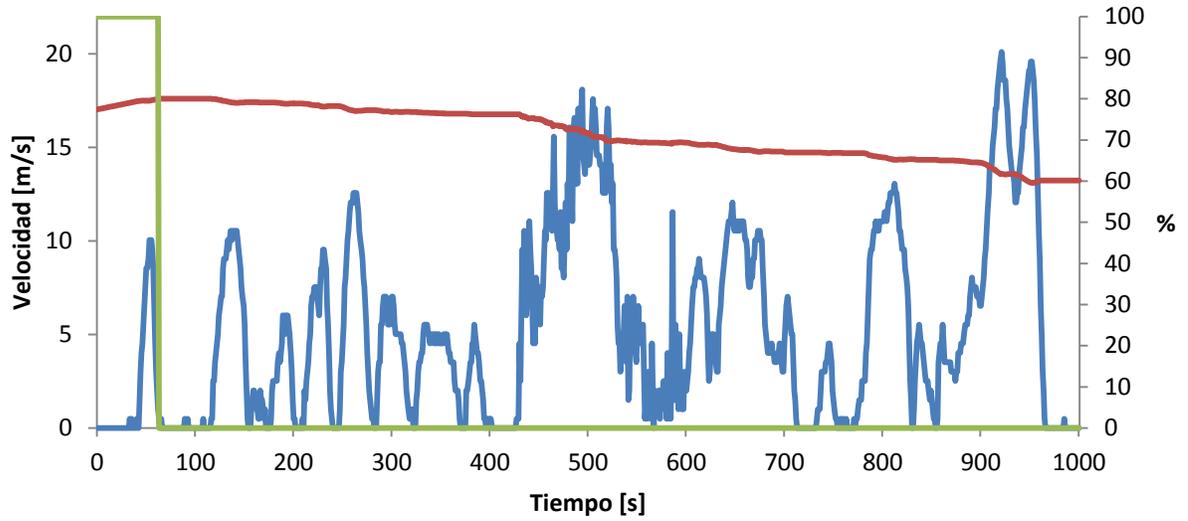


Figura A.3.93 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #12 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

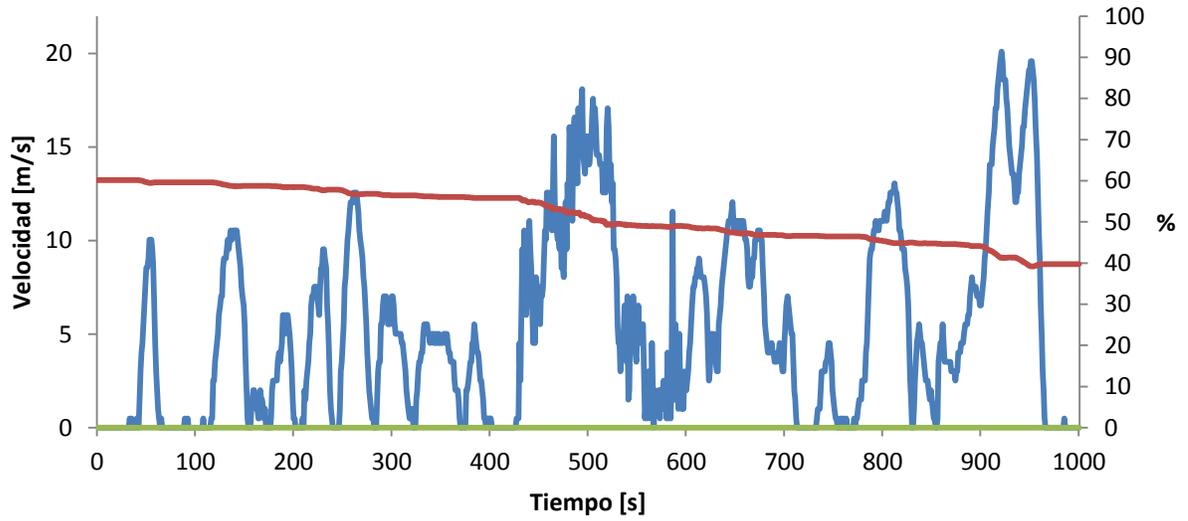


Figura A.3.94 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #13 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

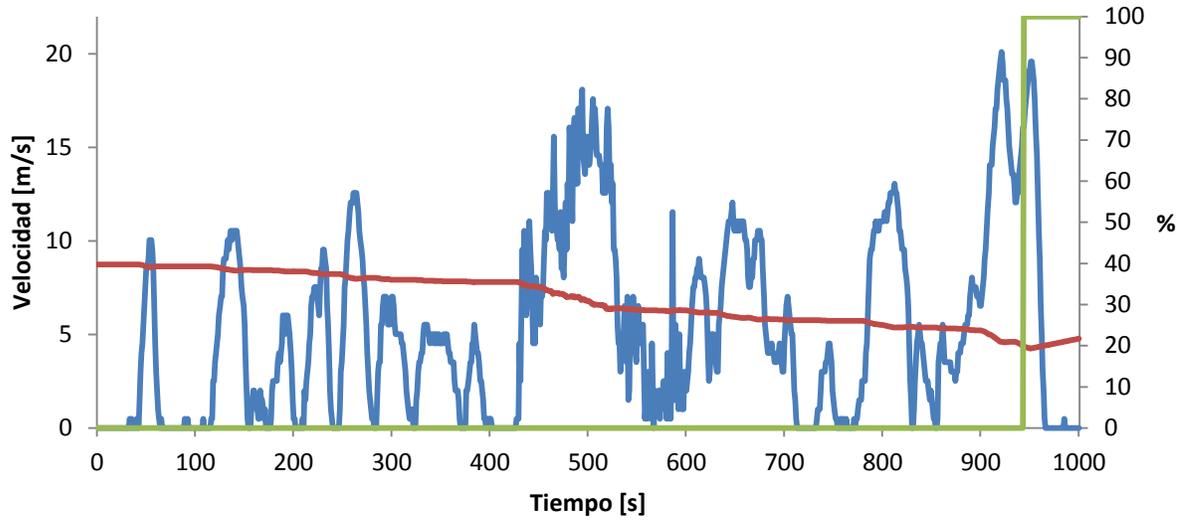


Figura A.3.95 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #14 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

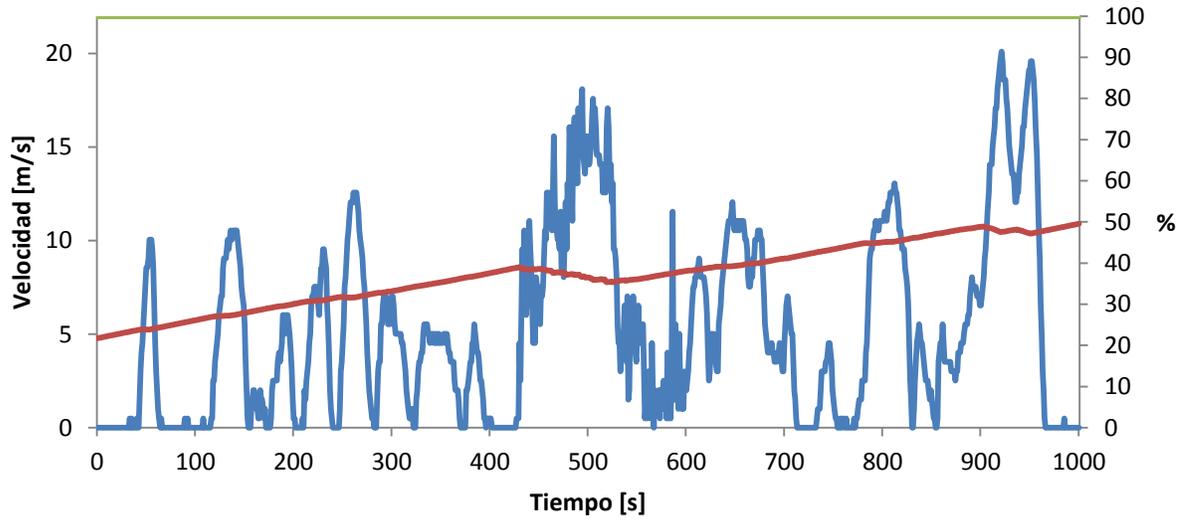


Figura A.3.96 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #15 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

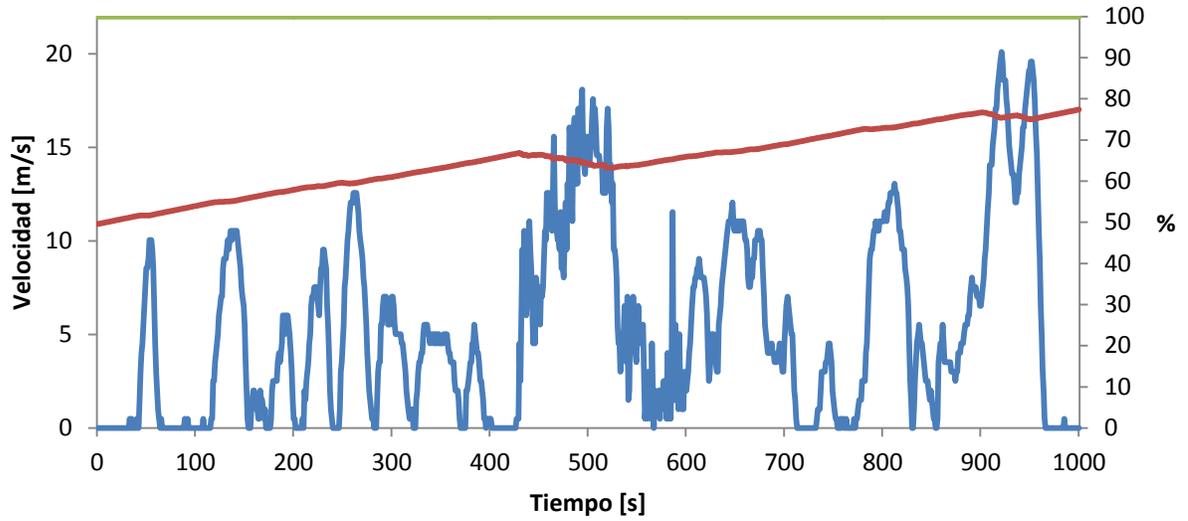


Figura A.3.97 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #16 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

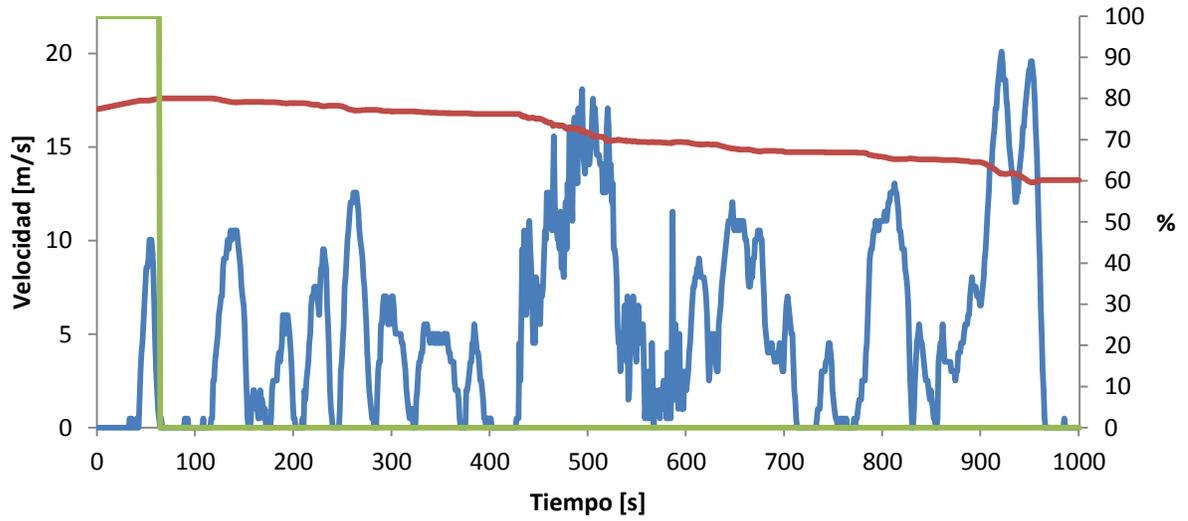


Figura A.3.98 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #17 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

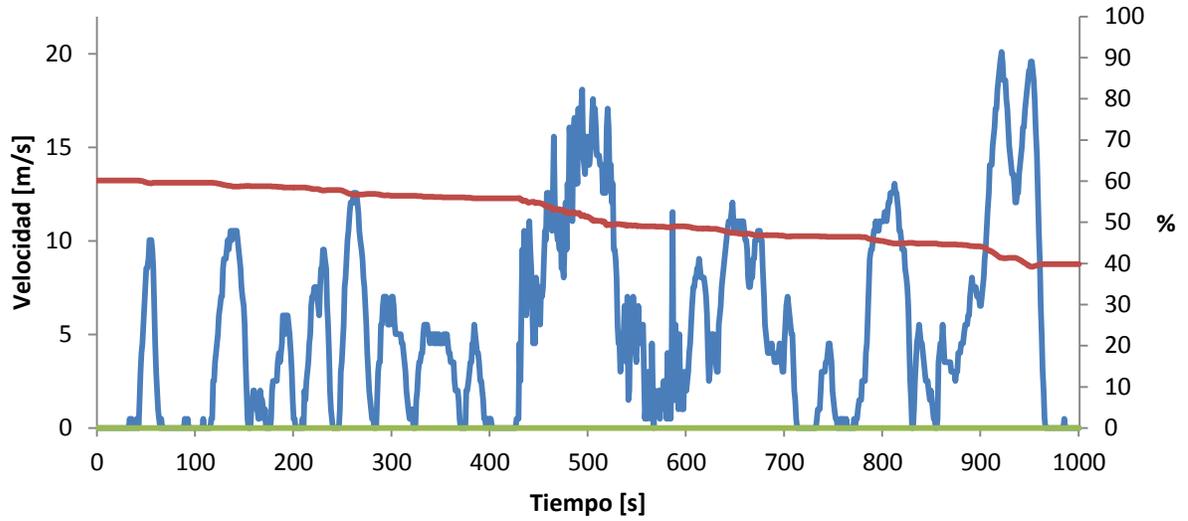


Figura A.3.99 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #18 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

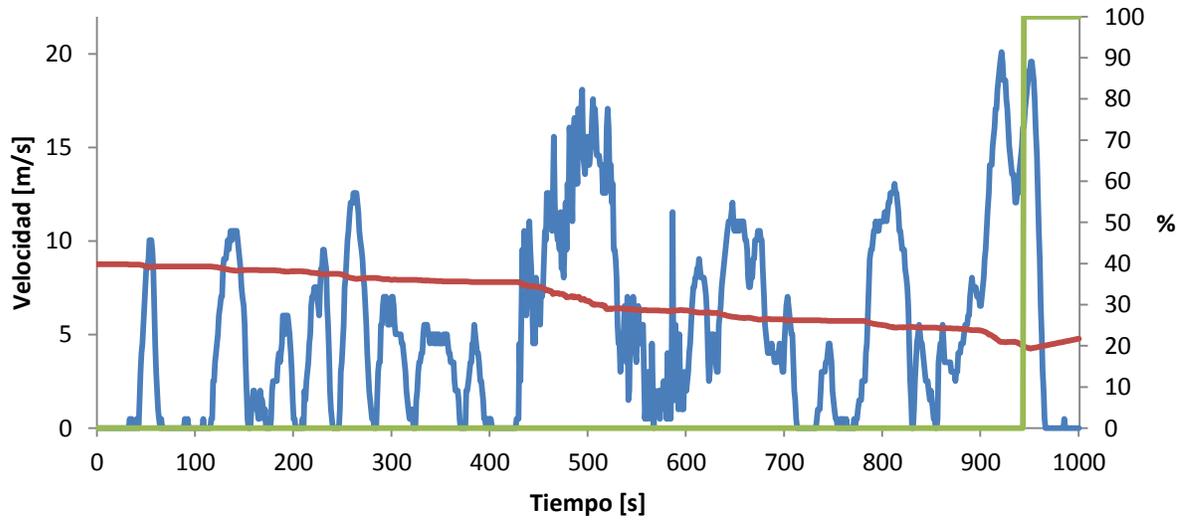


Figura A.3.100 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #19 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

Anexos

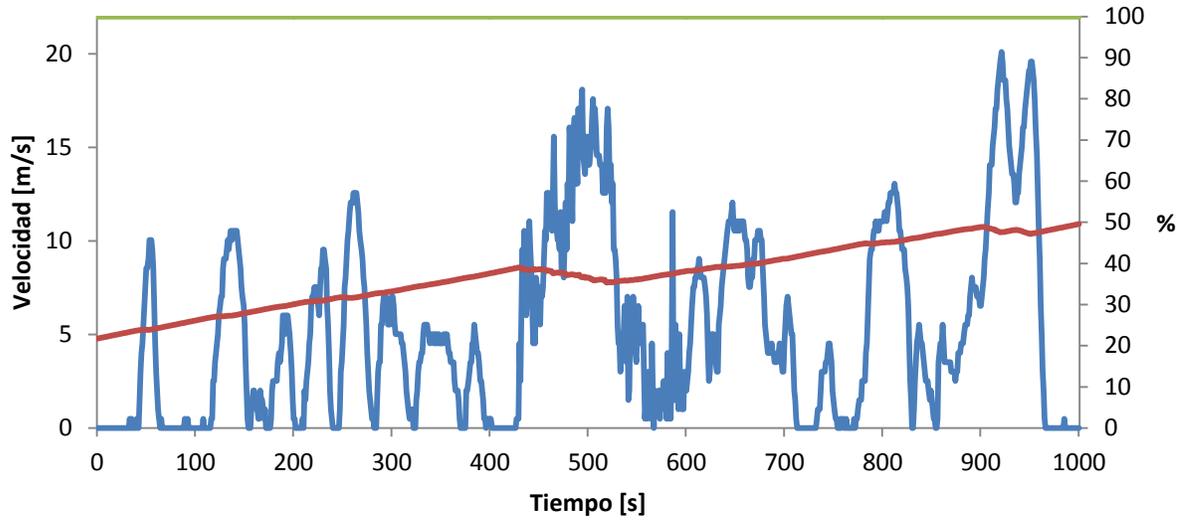


Figura A.3.101 - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #20 para calcular el consumo de comb. durante 100 [km]

3.2.2.5.-UDDS

Las gráficas de las primeras dos corridas son la mismas que las del cálculo de autonomía (ver figuras 3.27 y 3.28).

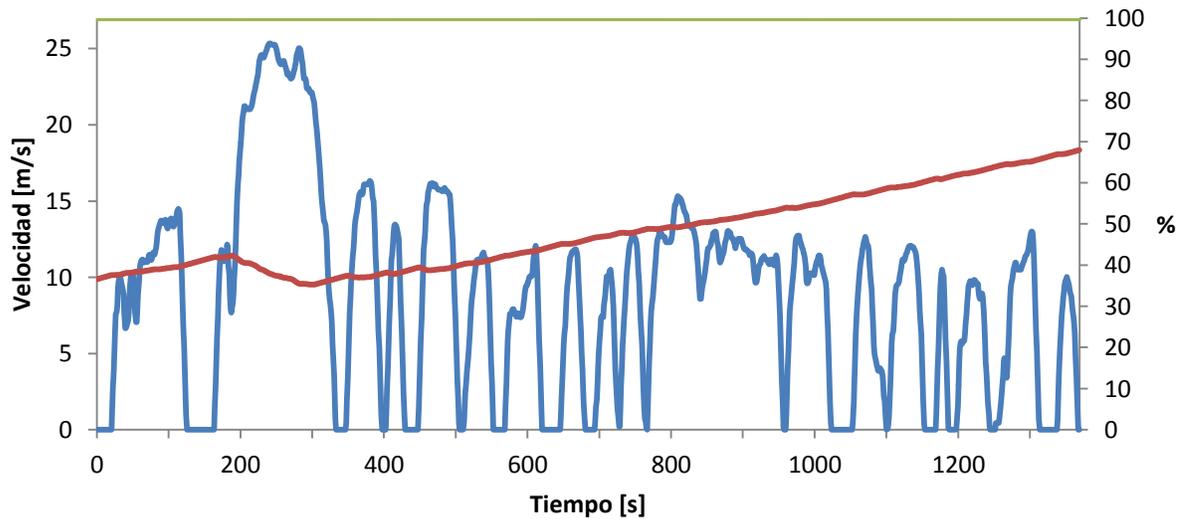


Figura A.3.102 - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

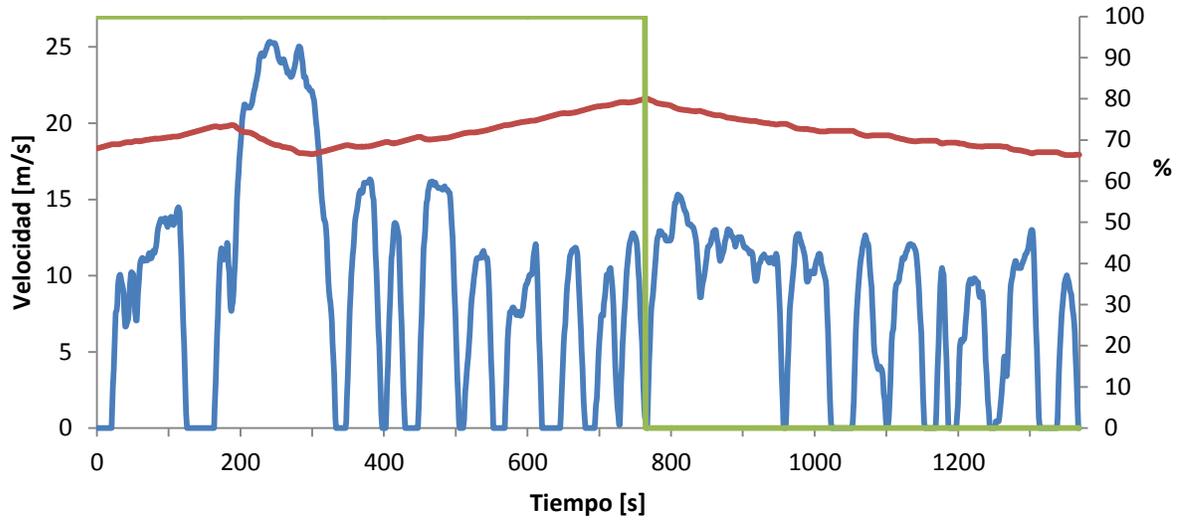


Figura A.3.103 - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

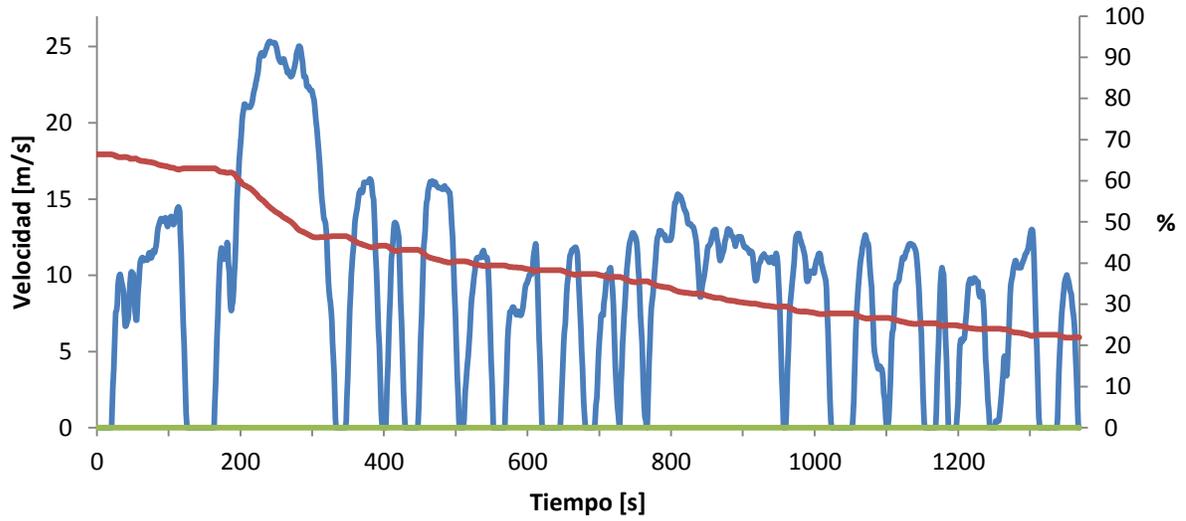


Figura A.3.104 - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

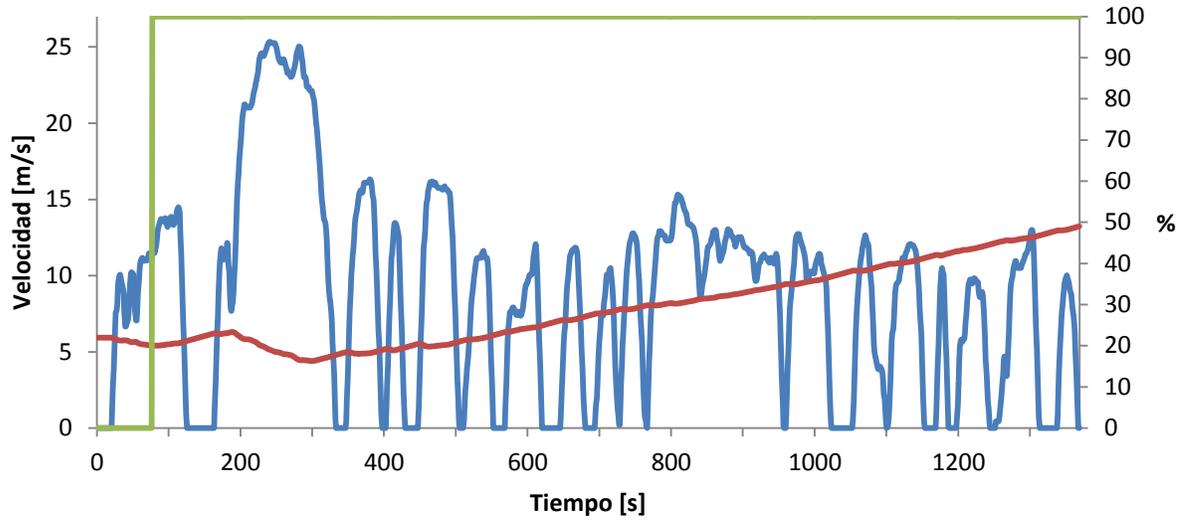


Figura A.3.105 - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

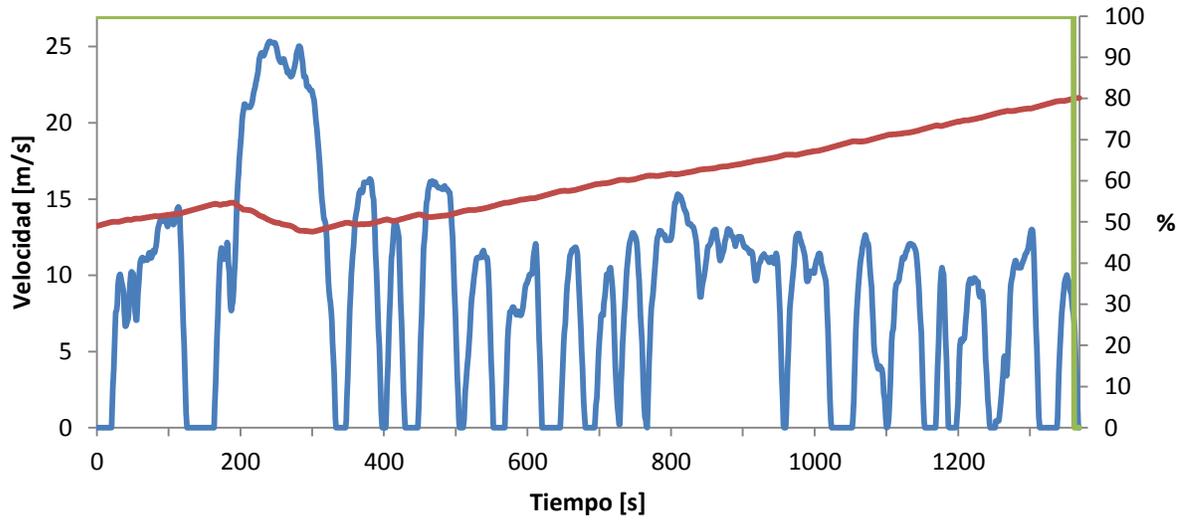


Figura A.3.106 - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

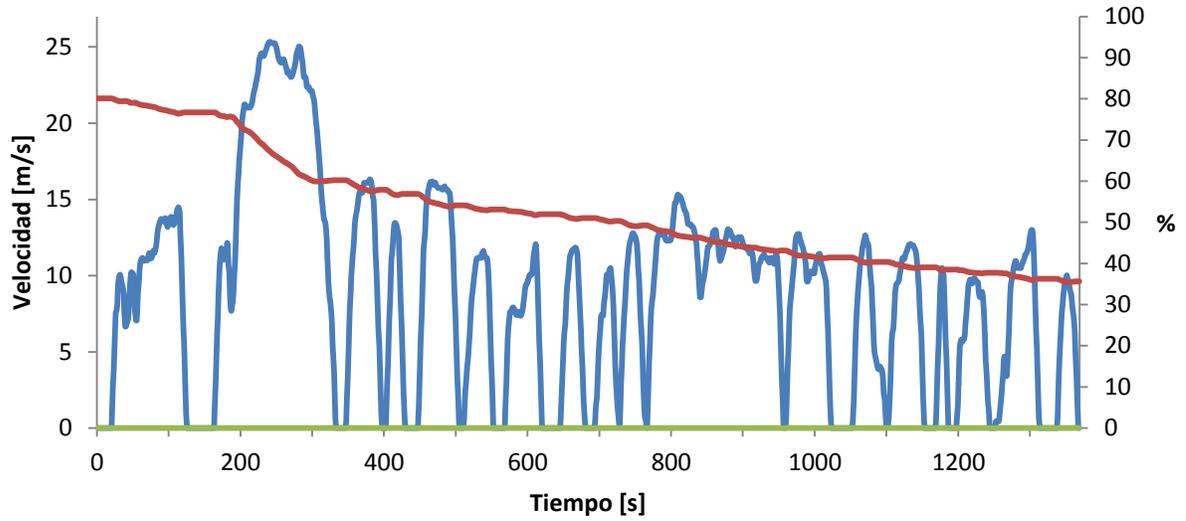


Figura A.3.107 - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

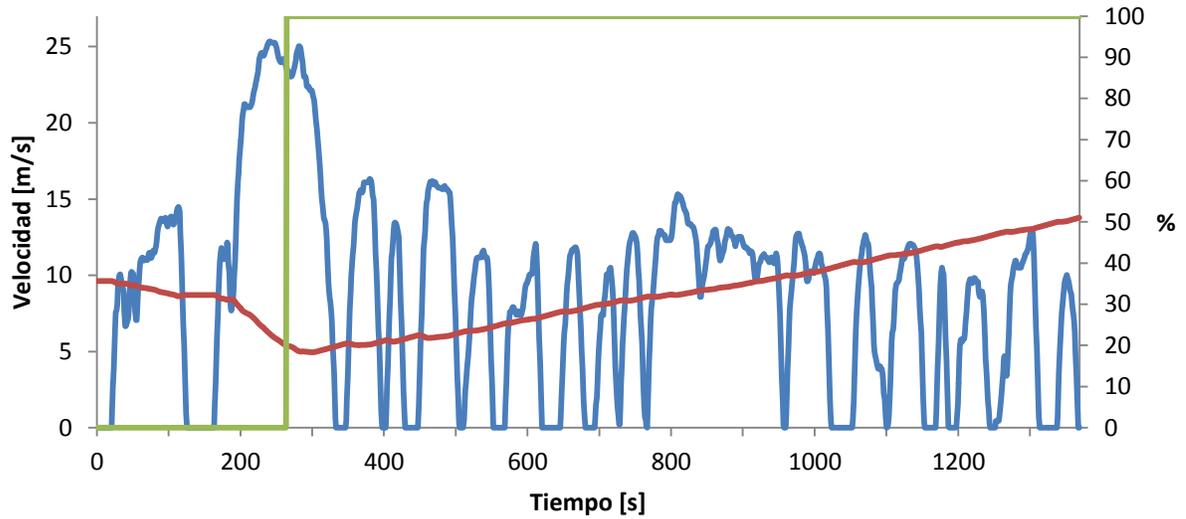


Figura A.3.108 - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

3.2.2.1-NYCC

Las gráficas de las primeras trece corridas son la mismas que las del cálculo de autonomía (ver figuras 3.29 a 3.41).

Anexos

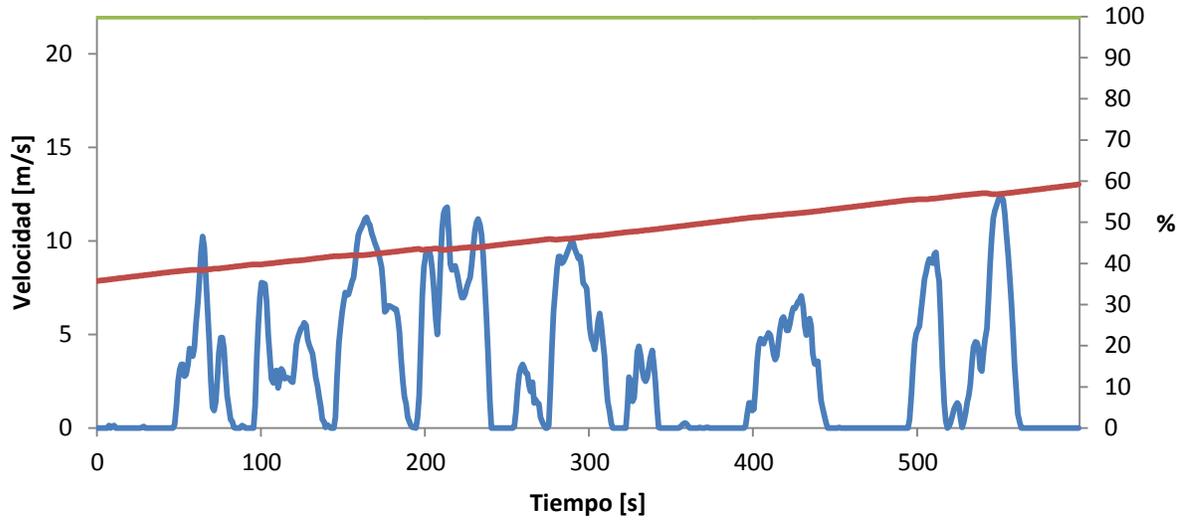


Figura A.3.109 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #14 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

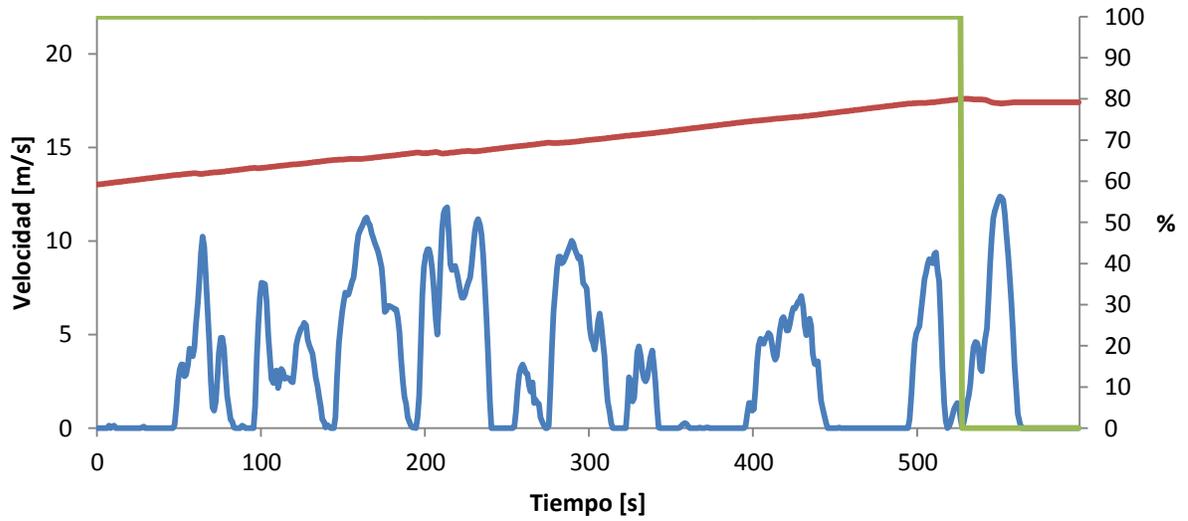


Figura A.3.110 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #15 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

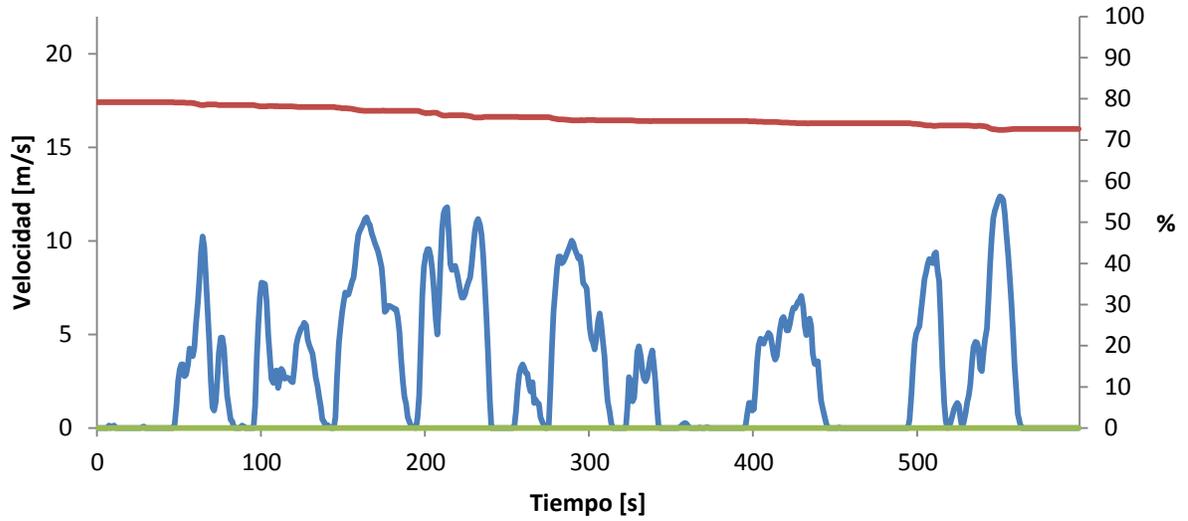


Figura A.3.111 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #16 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

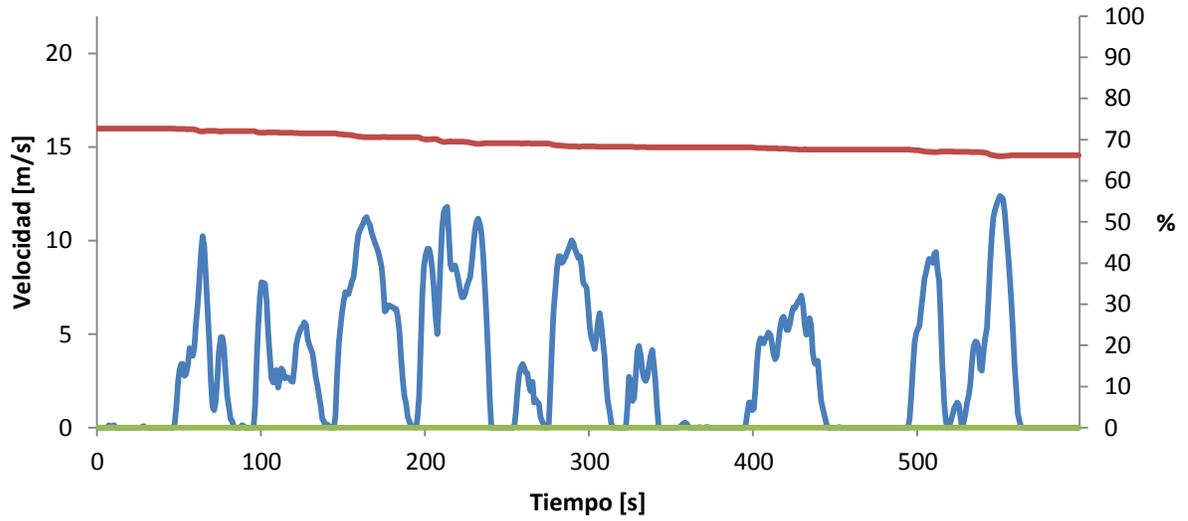


Figura A.3.112 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #17 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

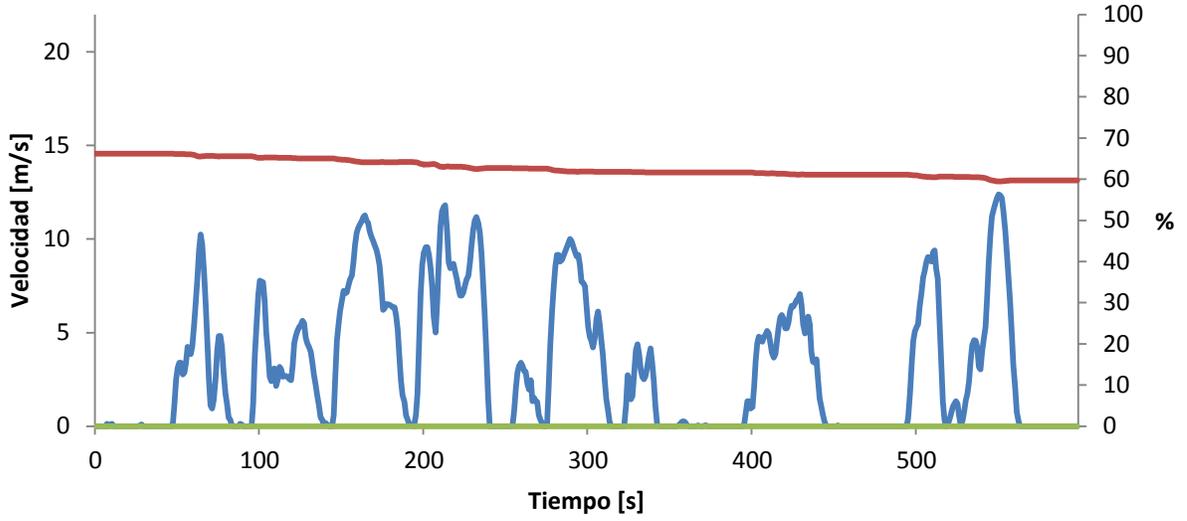


Figura A.3.113 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #18 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

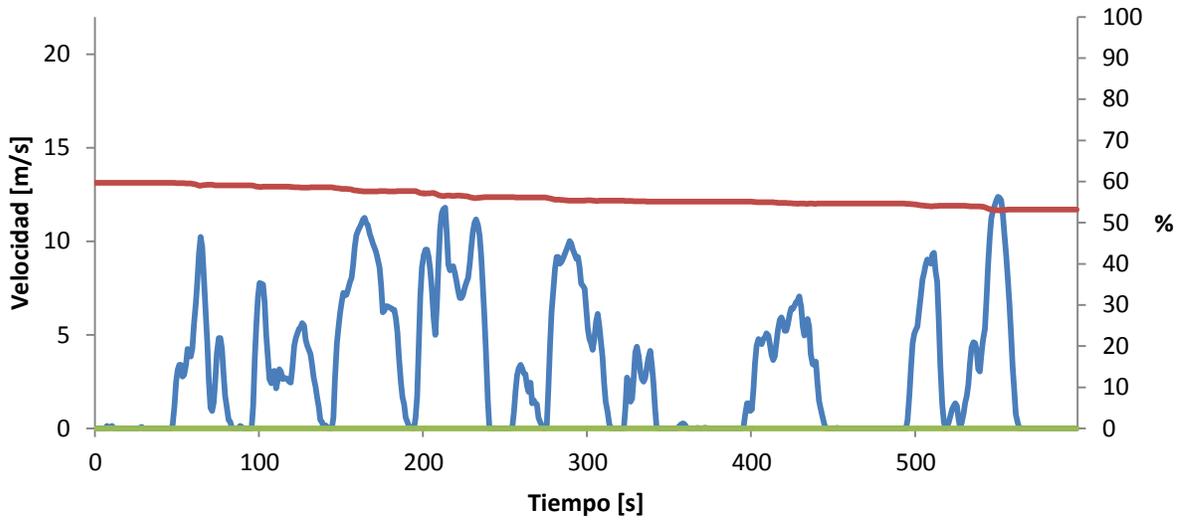


Figura A.3.114 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #19 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

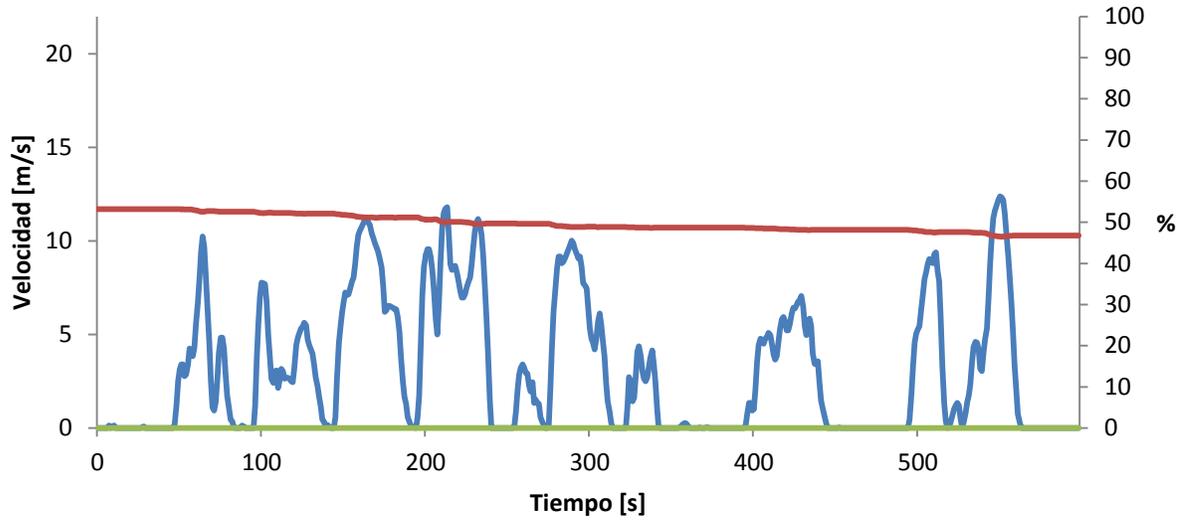


Figura A.3.115 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #20 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

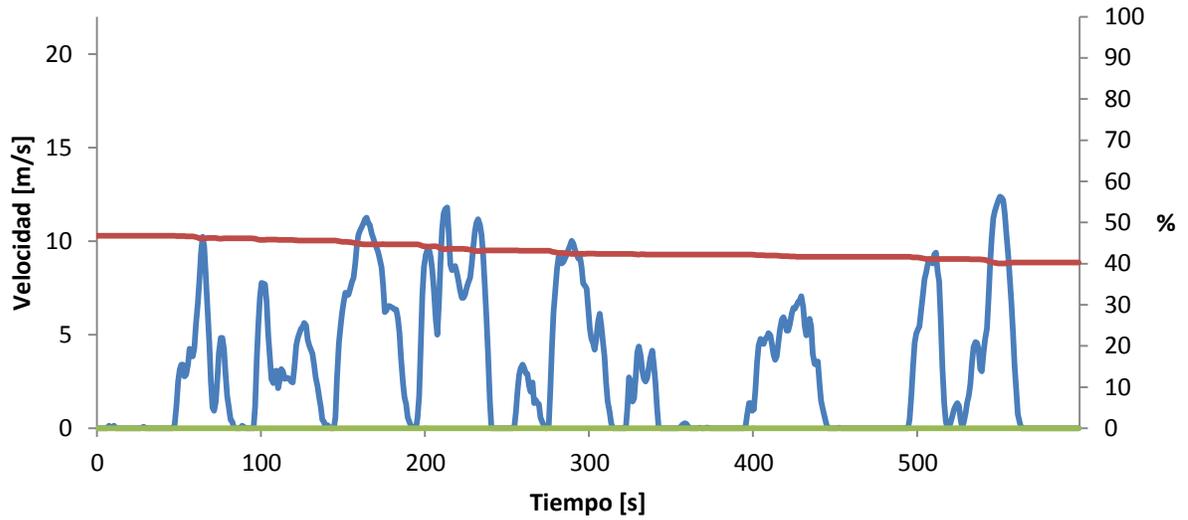


Figura A.3.116 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #21 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

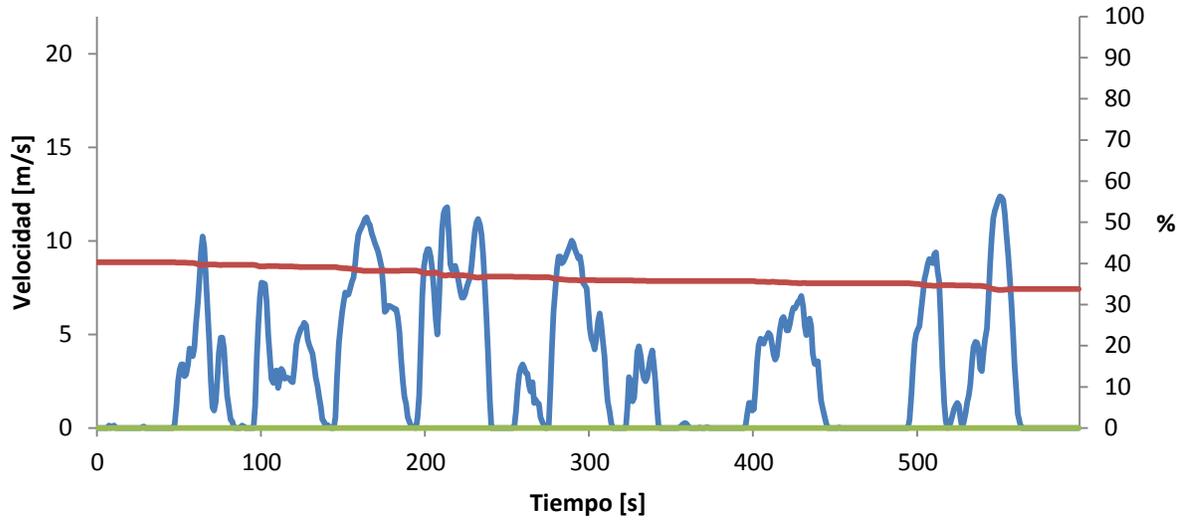


Figura A.3.117 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #22 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

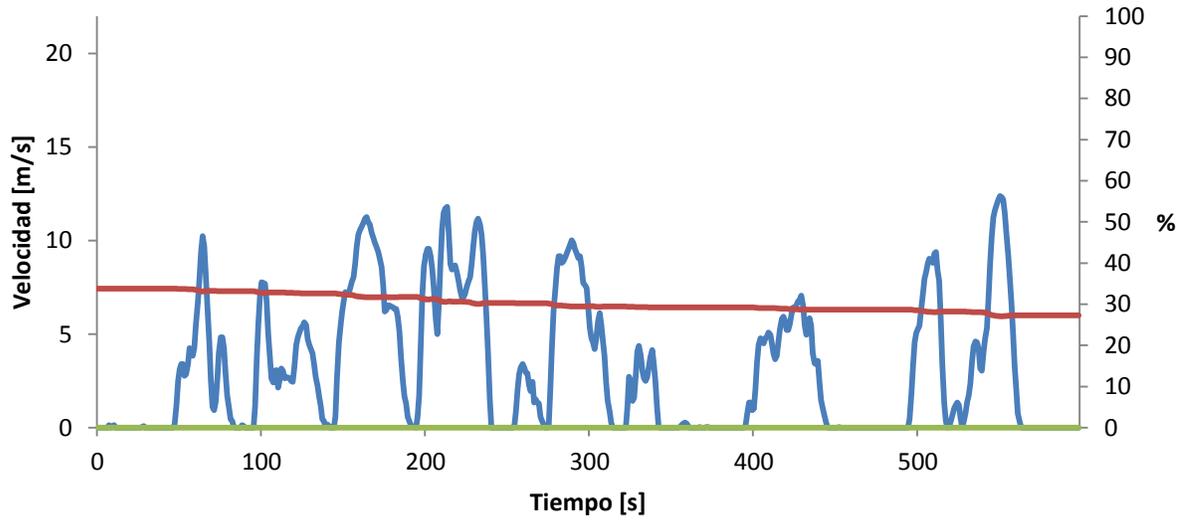


Figura A.3.118 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #23 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

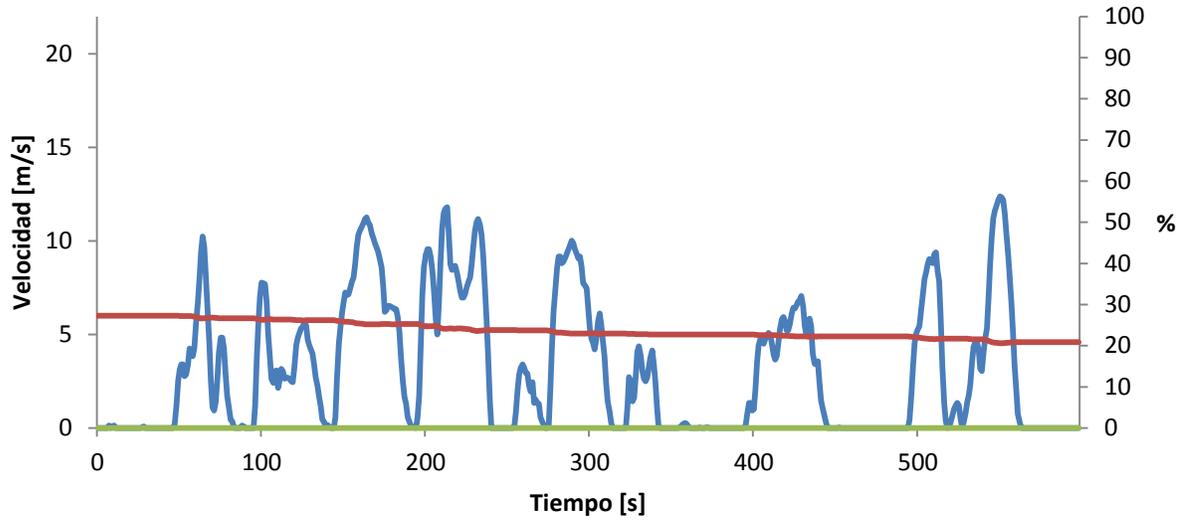


Figura A.3.119 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #24 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

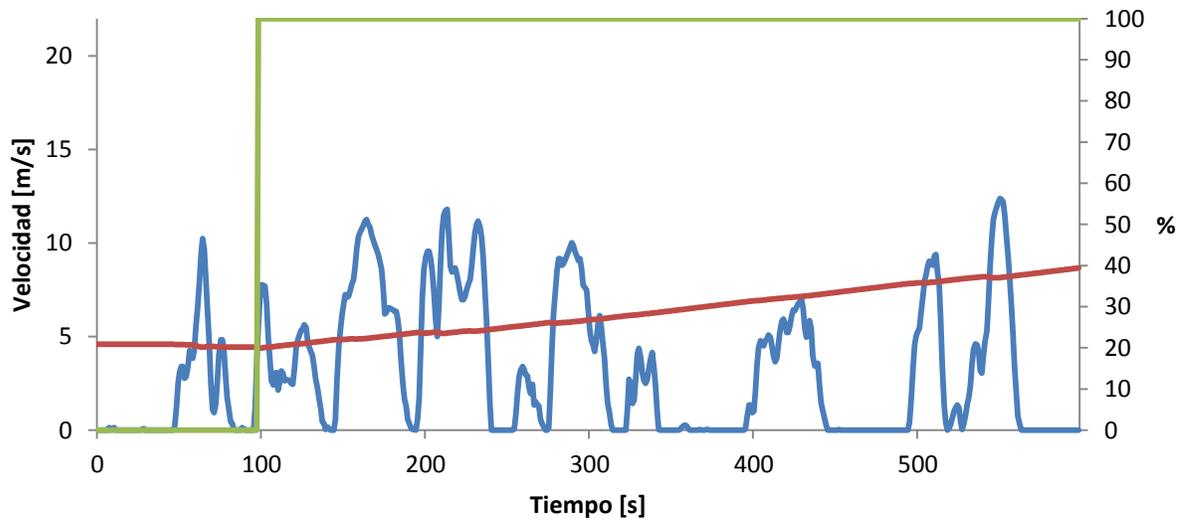


Figura A.3.120 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #25 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

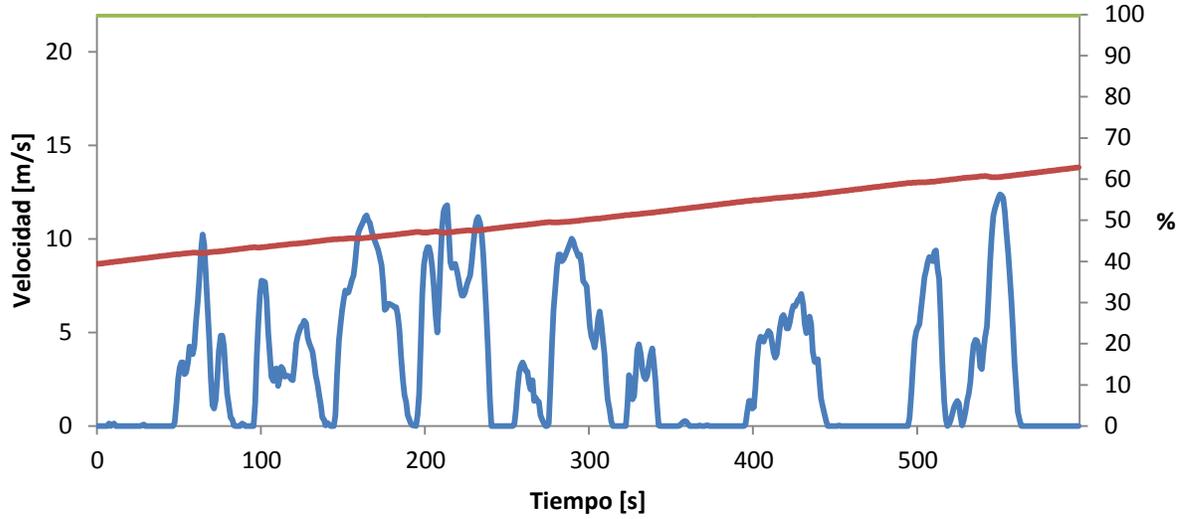


Figura A.3.121 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #26 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

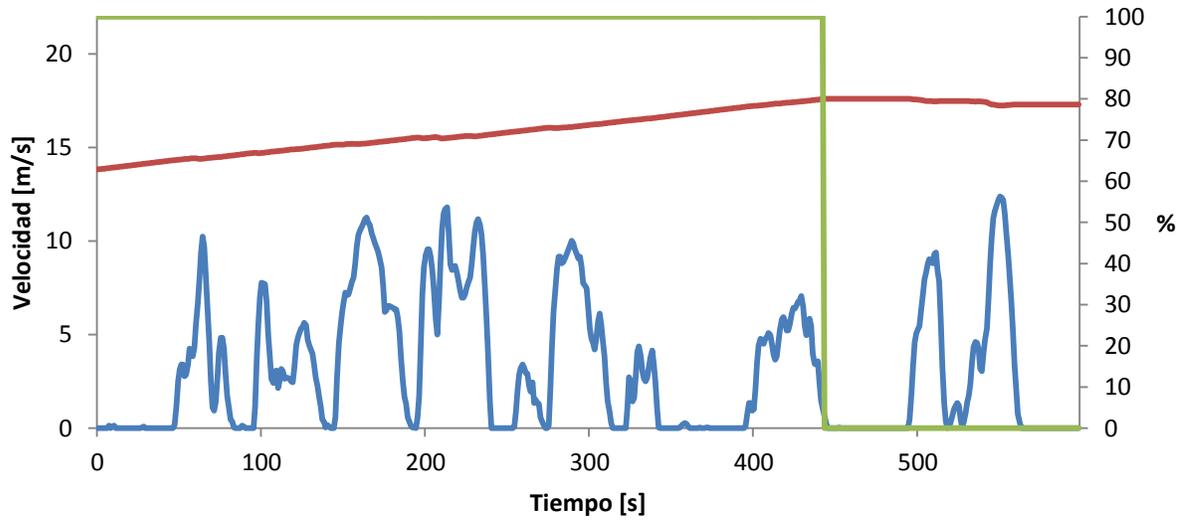


Figura A.3.122 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #27 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

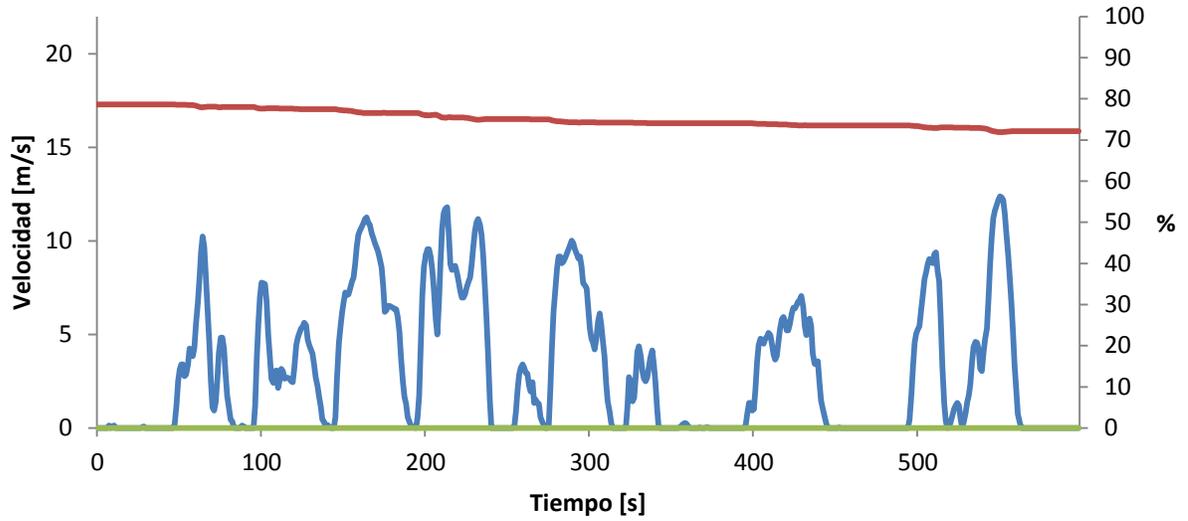


Figura A.3.123 - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #28 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

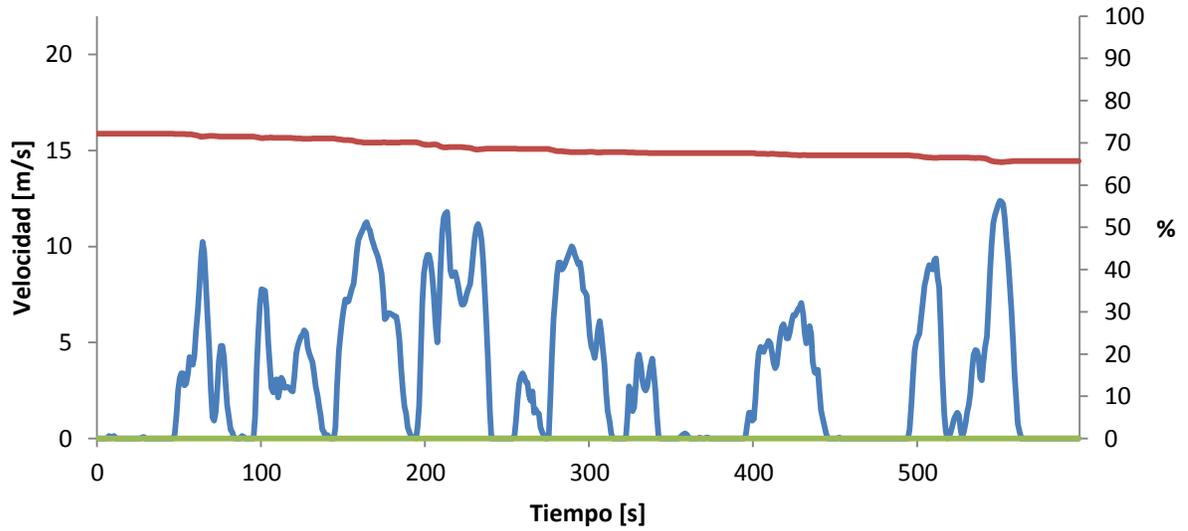


Figura A.3.124. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #29 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

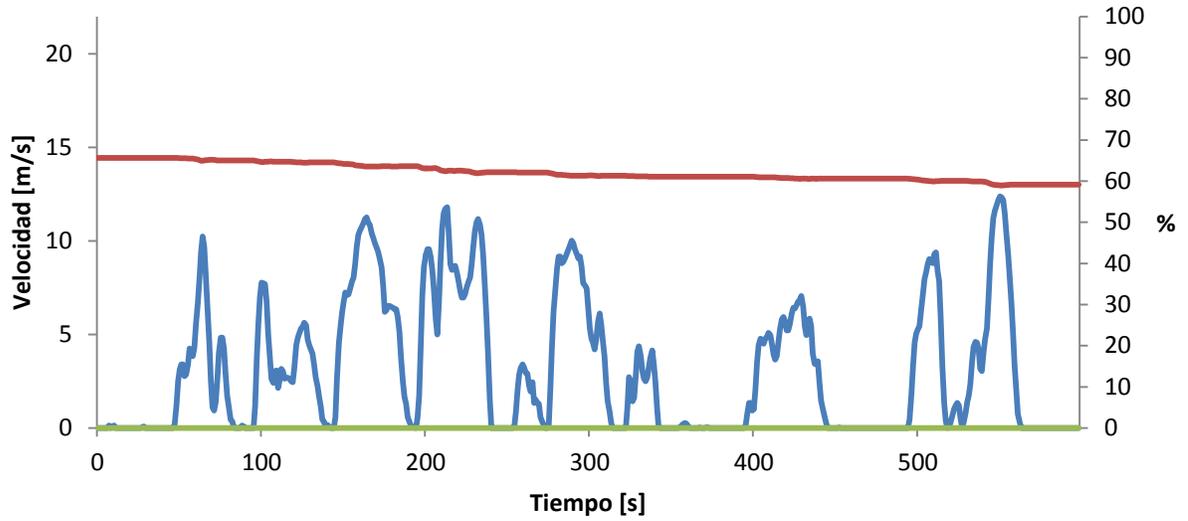


Figura A.3.125. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #30 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

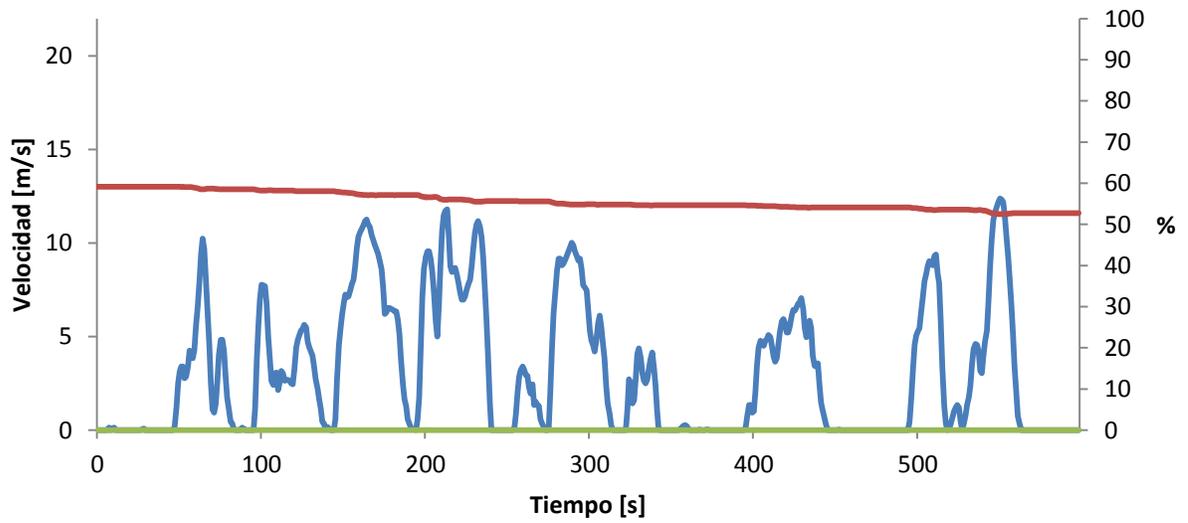


Figura A.3.126. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #31 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

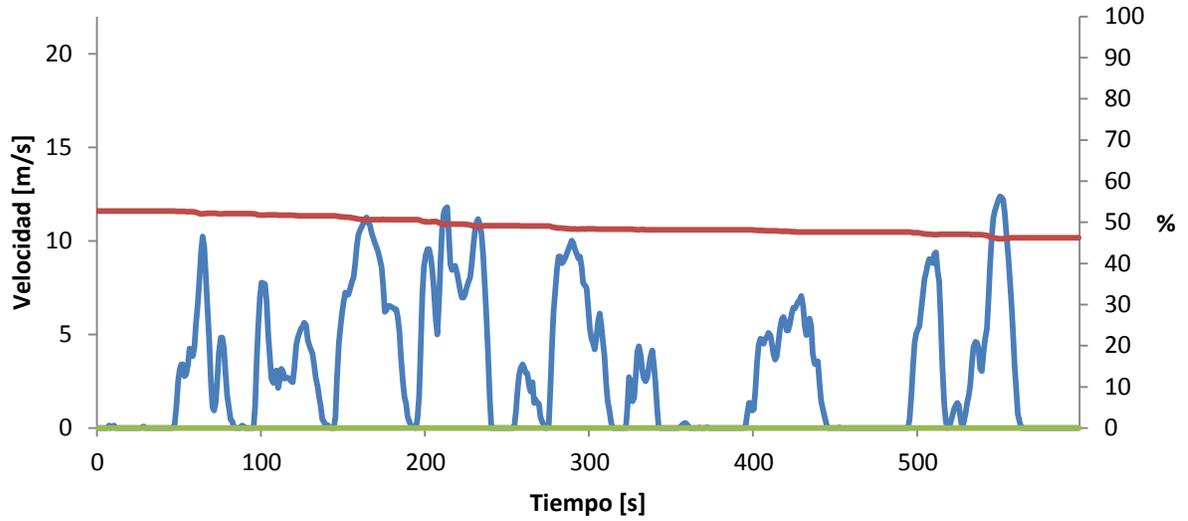


Figura A.3.127. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #32 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

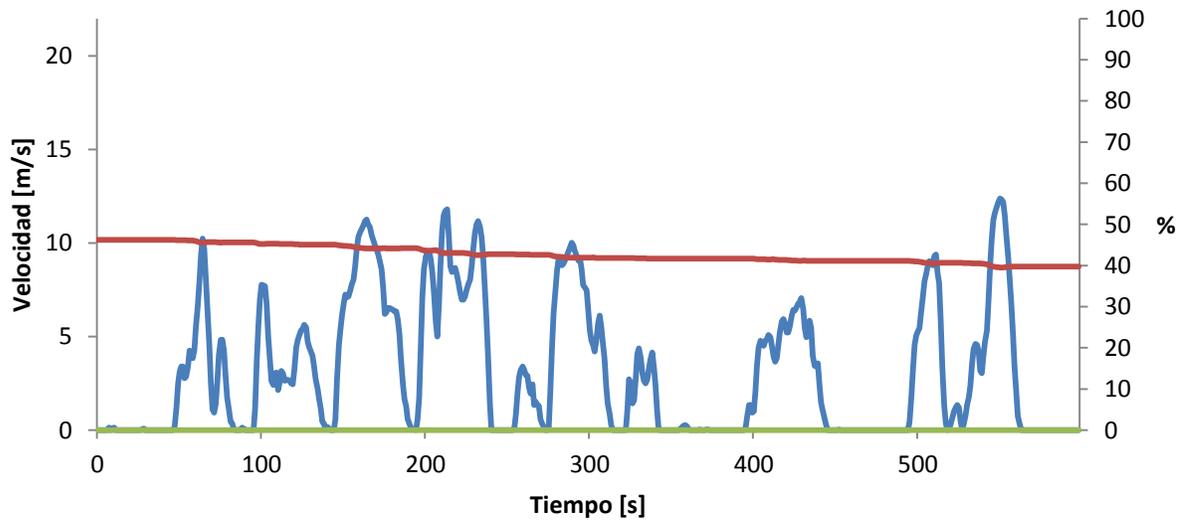


Figura A.3.128. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #33 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

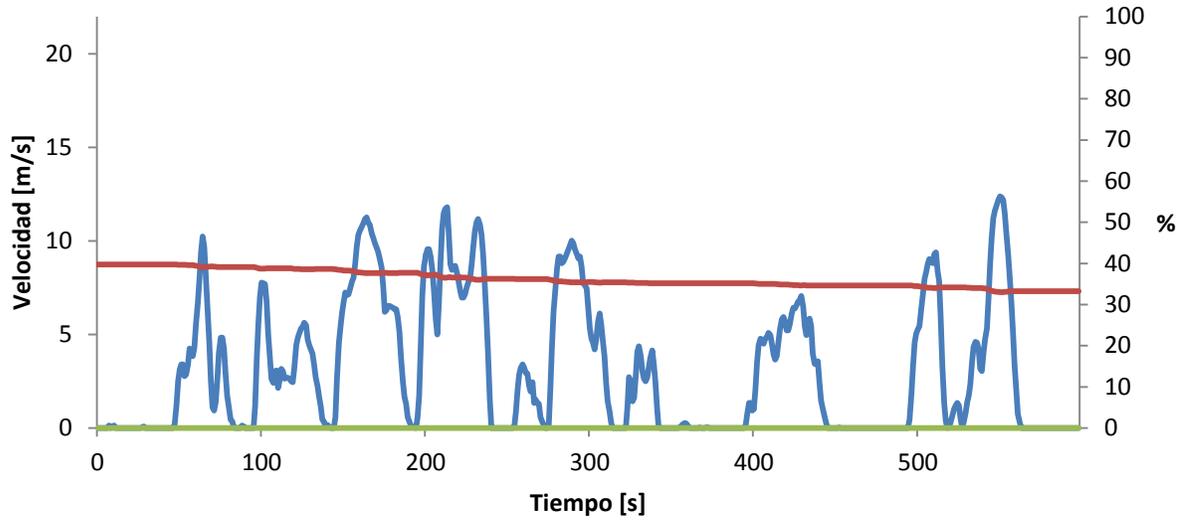


Figura A.3.129. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCI_R/gen, corrida #34 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

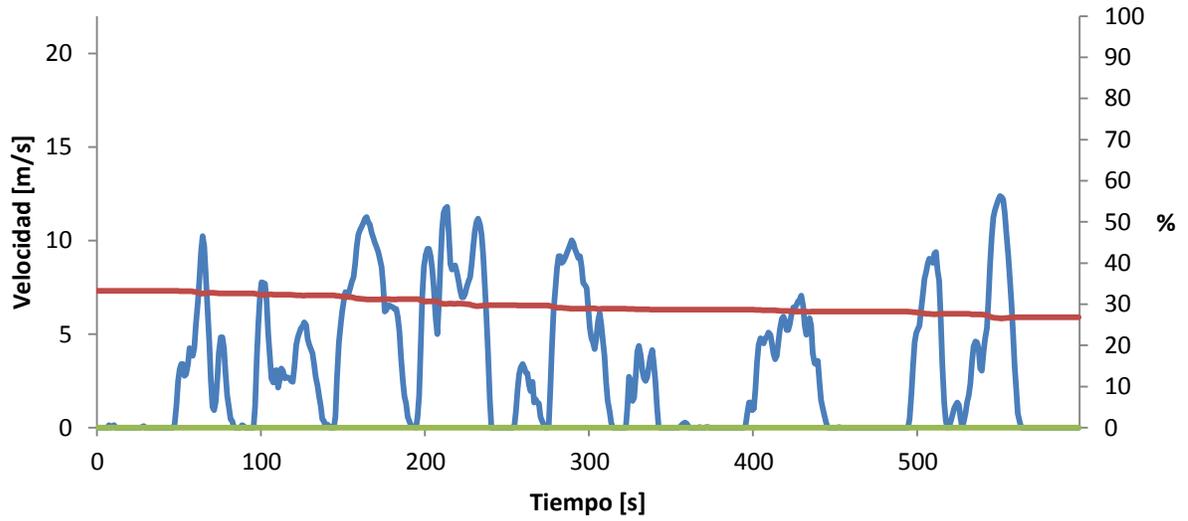


Figura A.3.130. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCI_R/gen, corrida #35 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

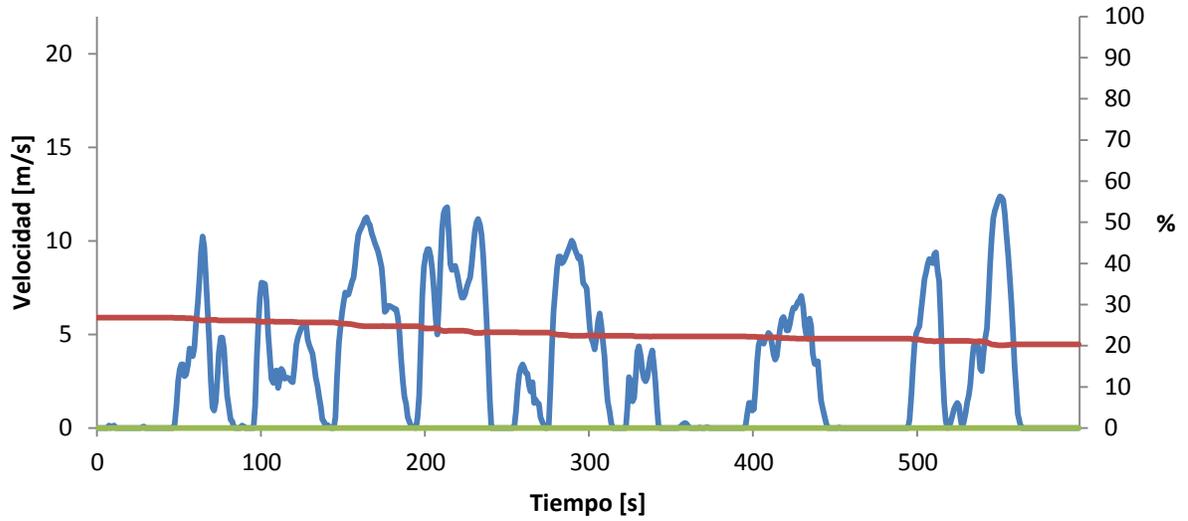


Figura A.3.131. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #36 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

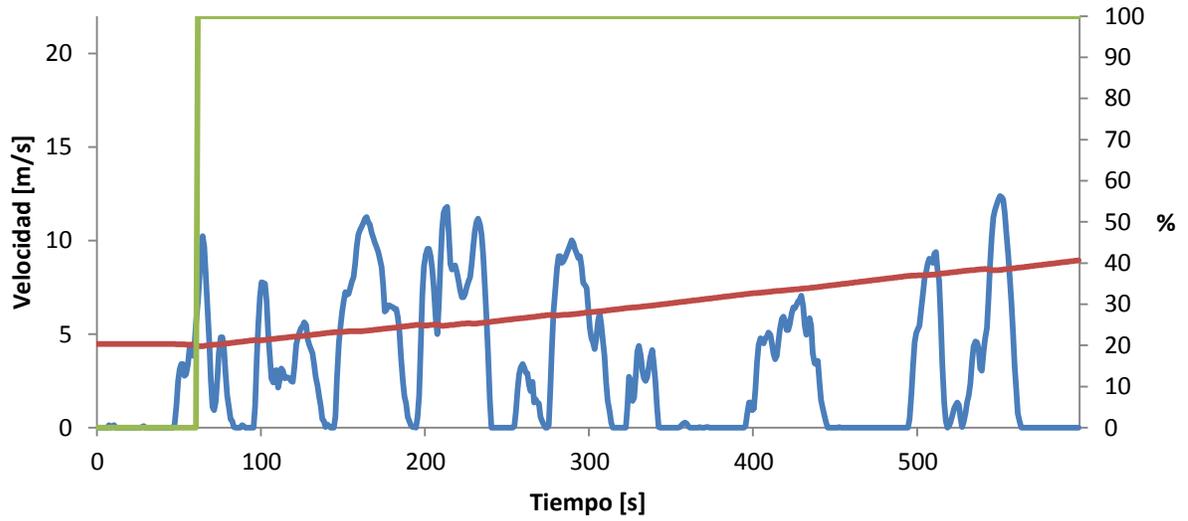


Figura A.3.132. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #37 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

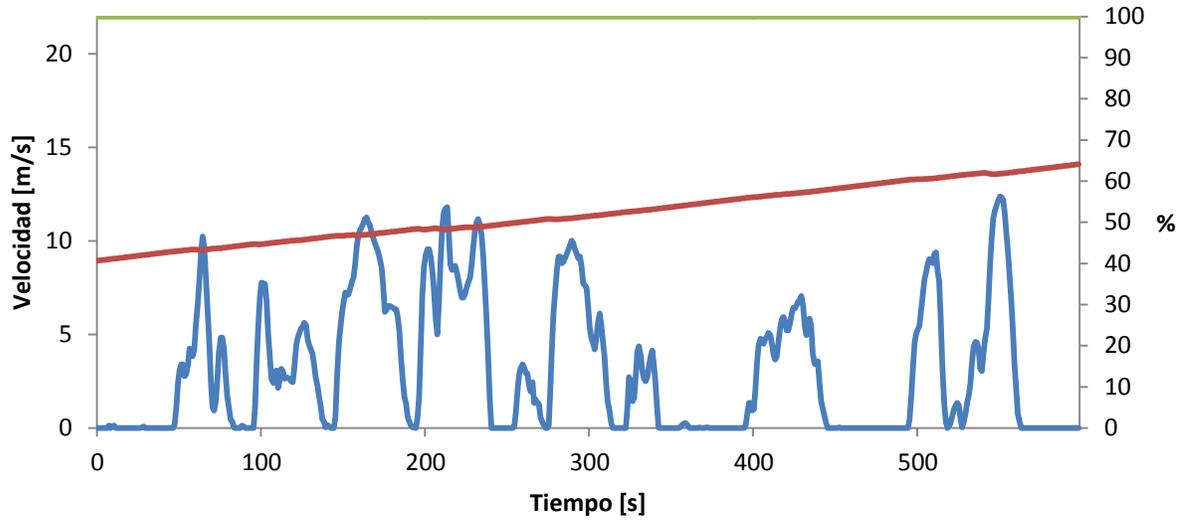


Figura A.3.133. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #38 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

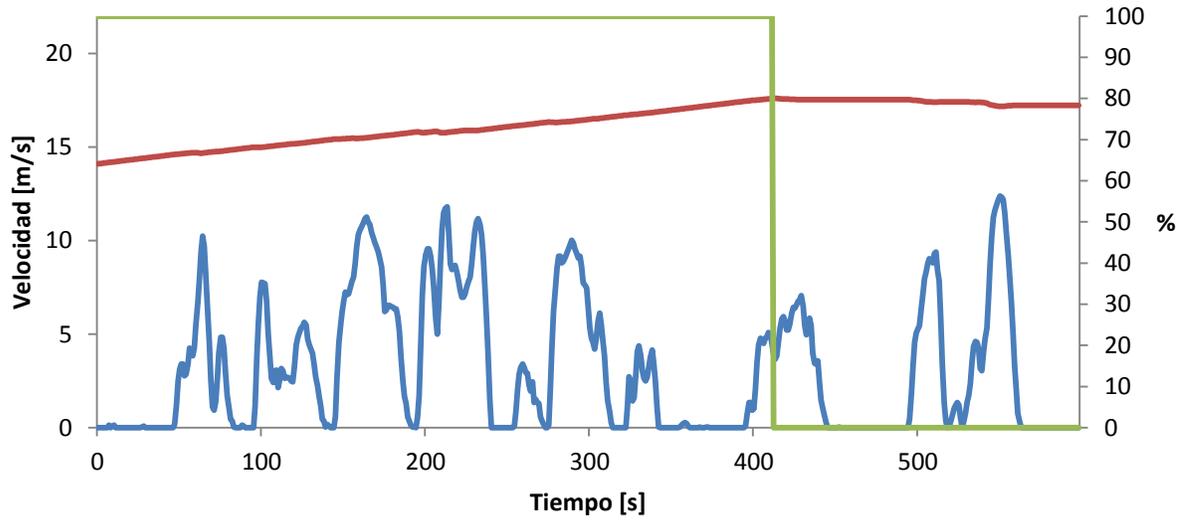


Figura A.3.134. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #39 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

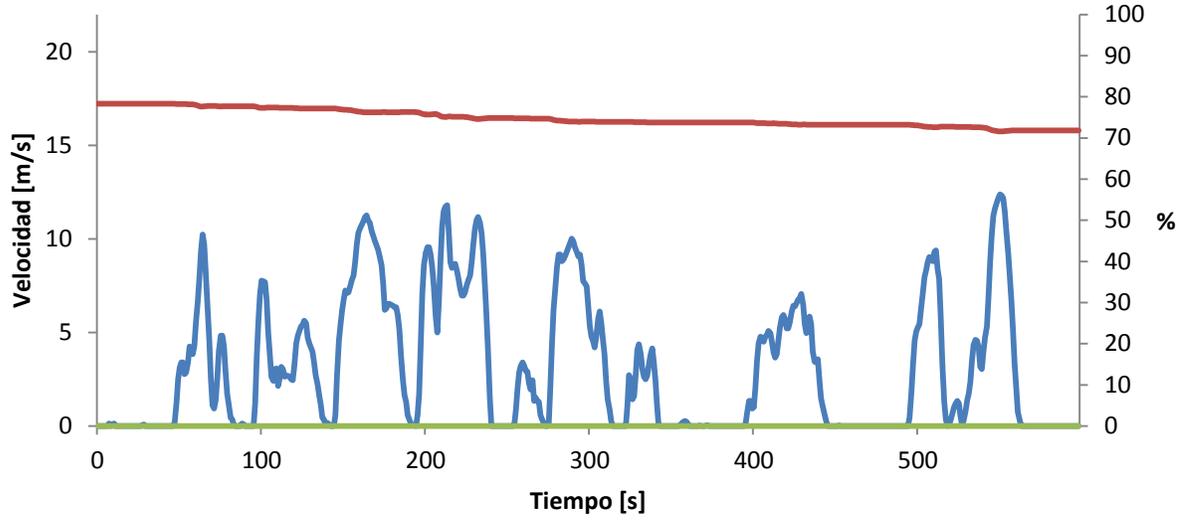


Figura A.3.135. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCI R/gen, corrida #40 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

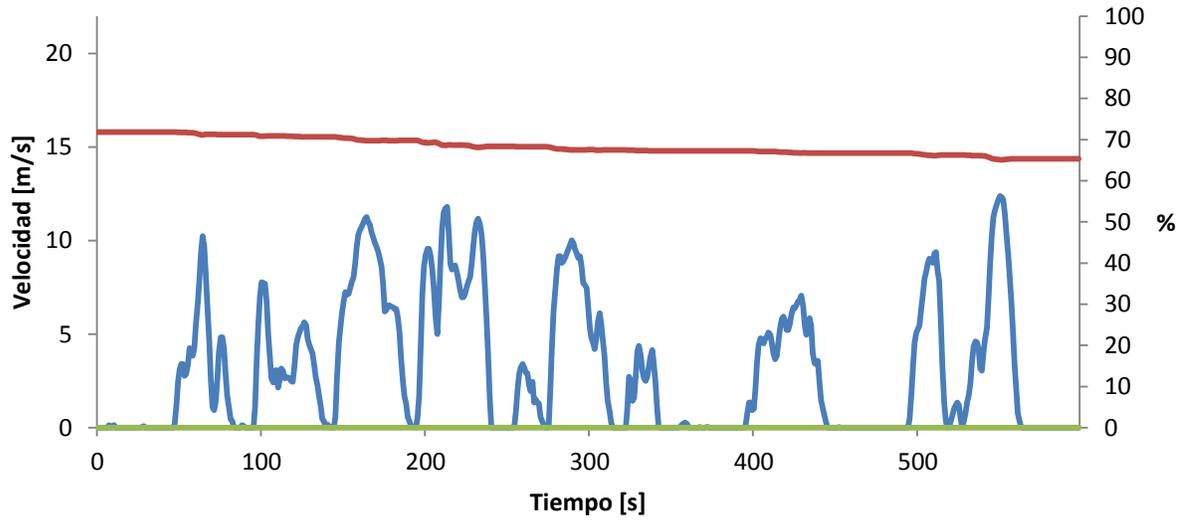


Figura A.3.136. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCI R/gen, corrida #41 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

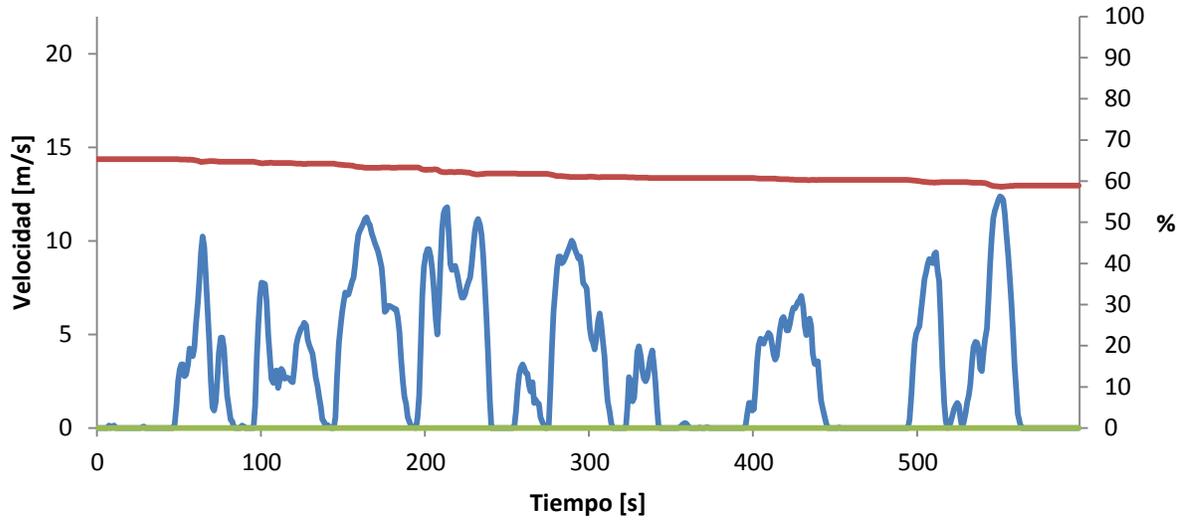


Figura A.3.137. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCR/gen, corrida #42 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

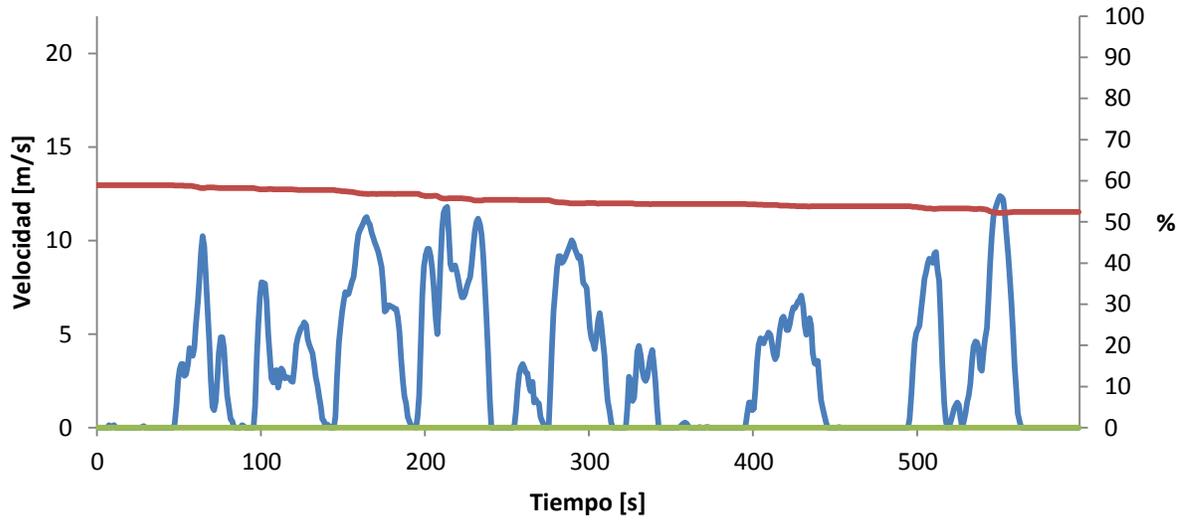


Figura A.3.138. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCR/gen, corrida #43 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

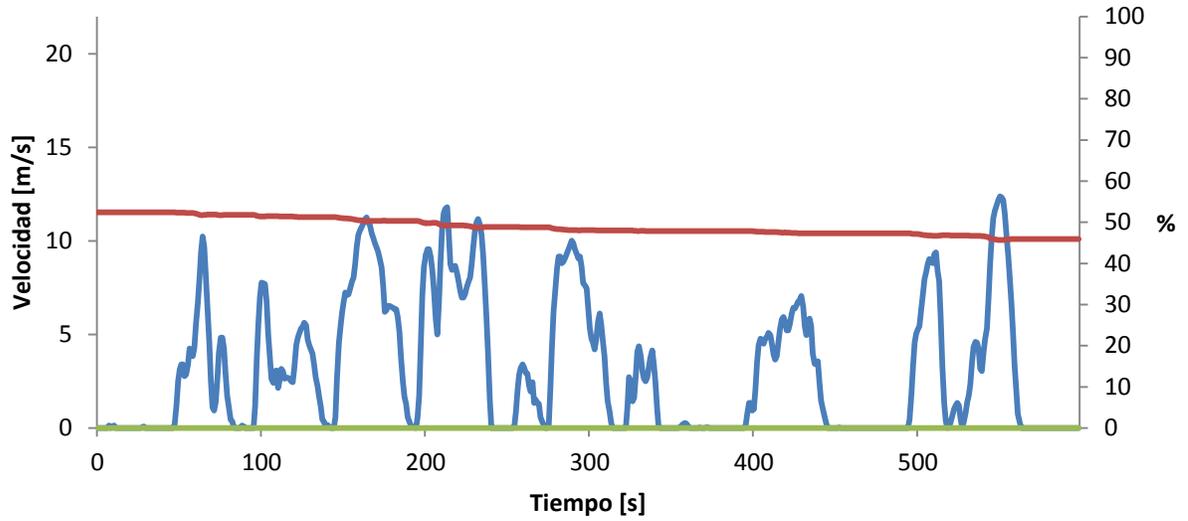


Figura A.3.139. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCI_R/gen, corrida #44 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

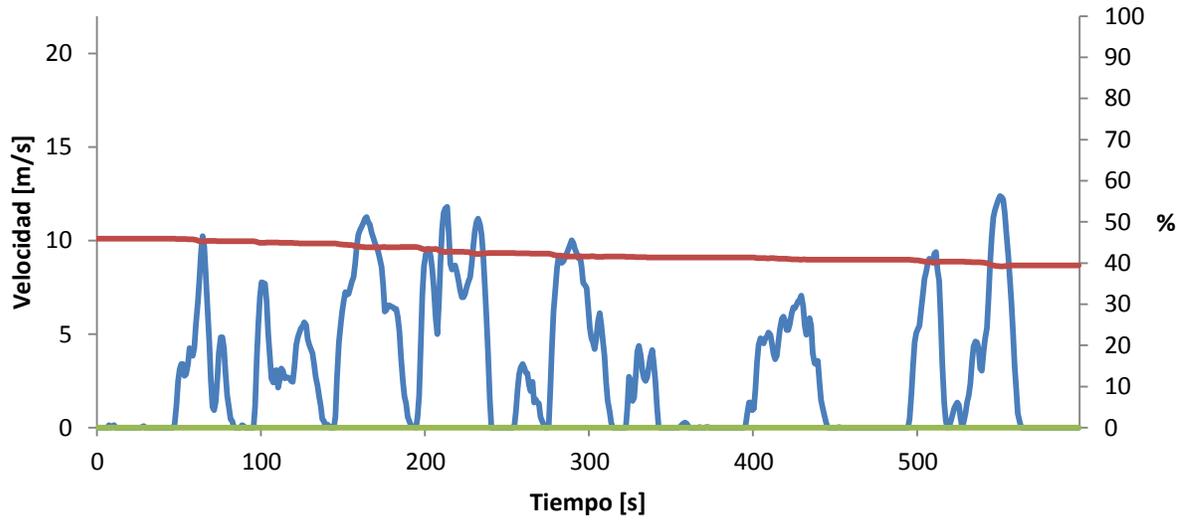


Figura A.3.140. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCI_R/gen, corrida #45 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

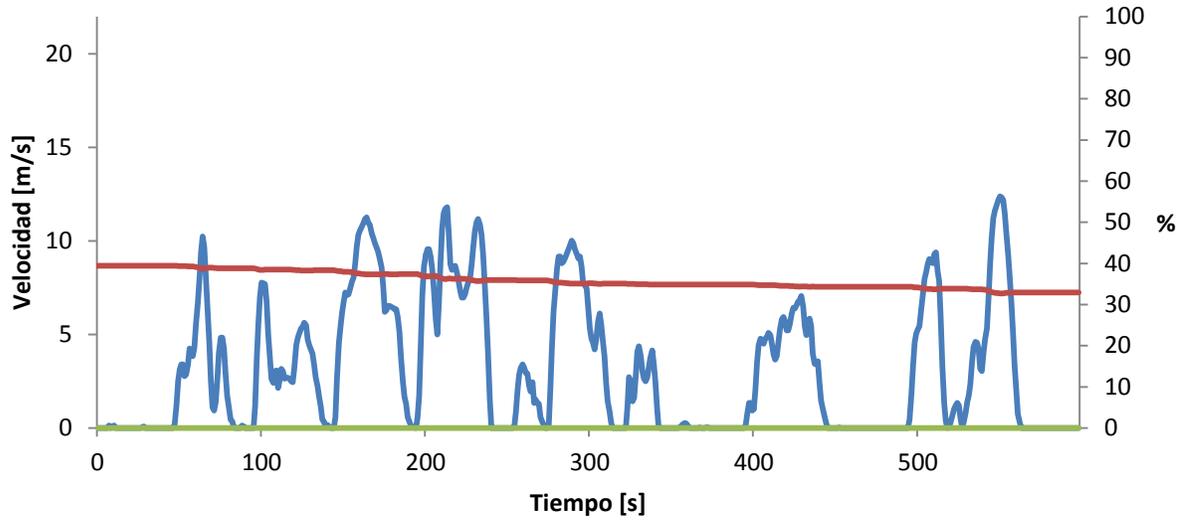


Figura A.3.141. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #46 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

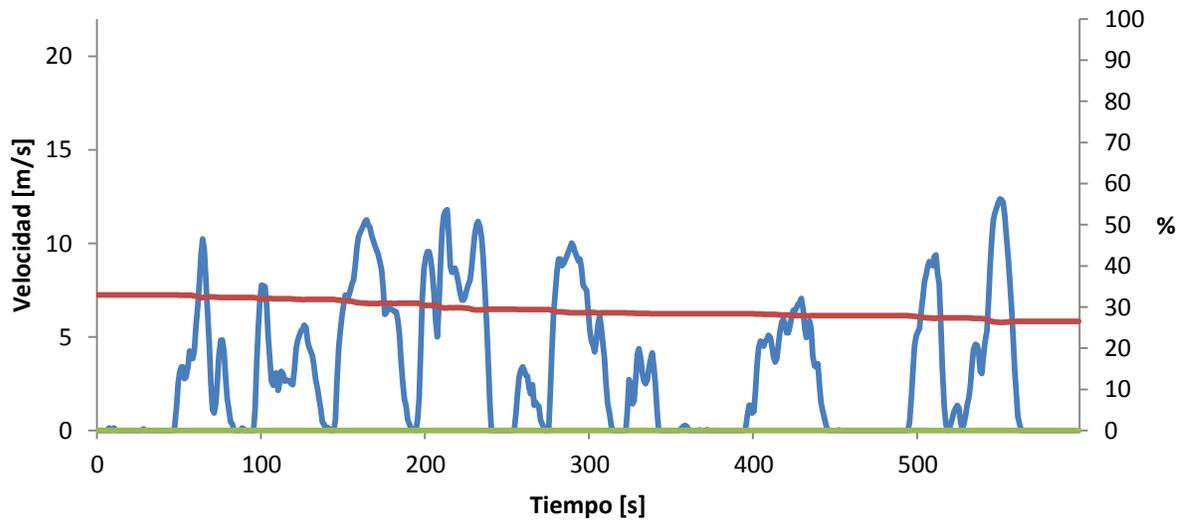


Figura A.3.142. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #47 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

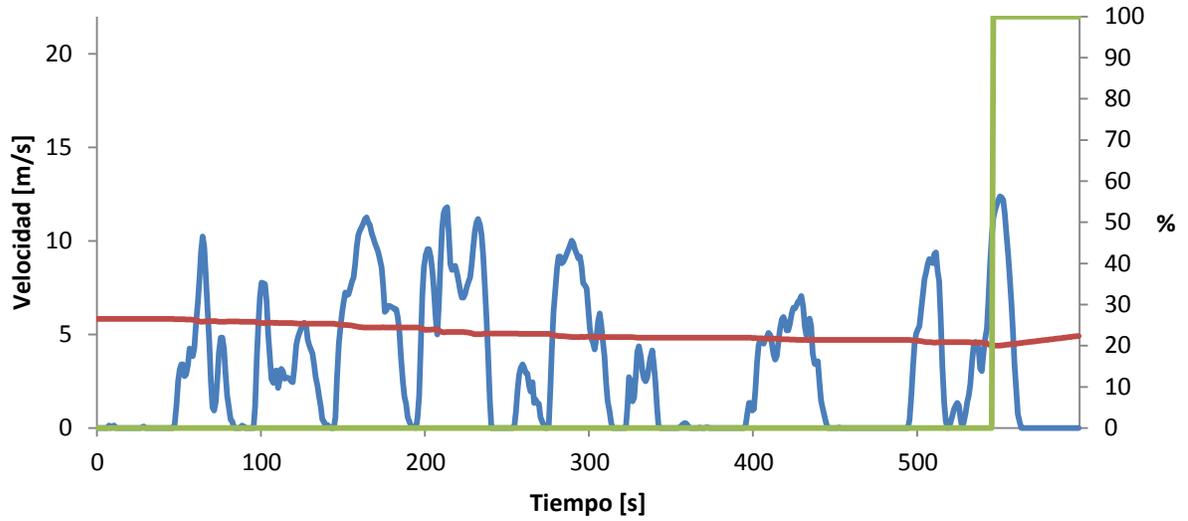


Figura A.3.143. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCI R/gen, corrida #48 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

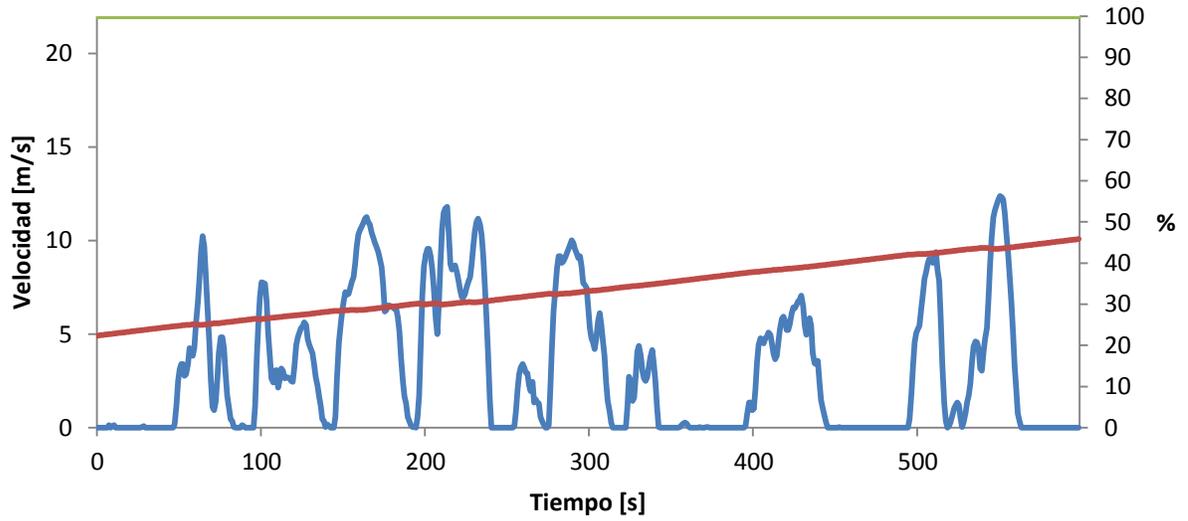


Figura A.3.144. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCI R/gen, corrida #49 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

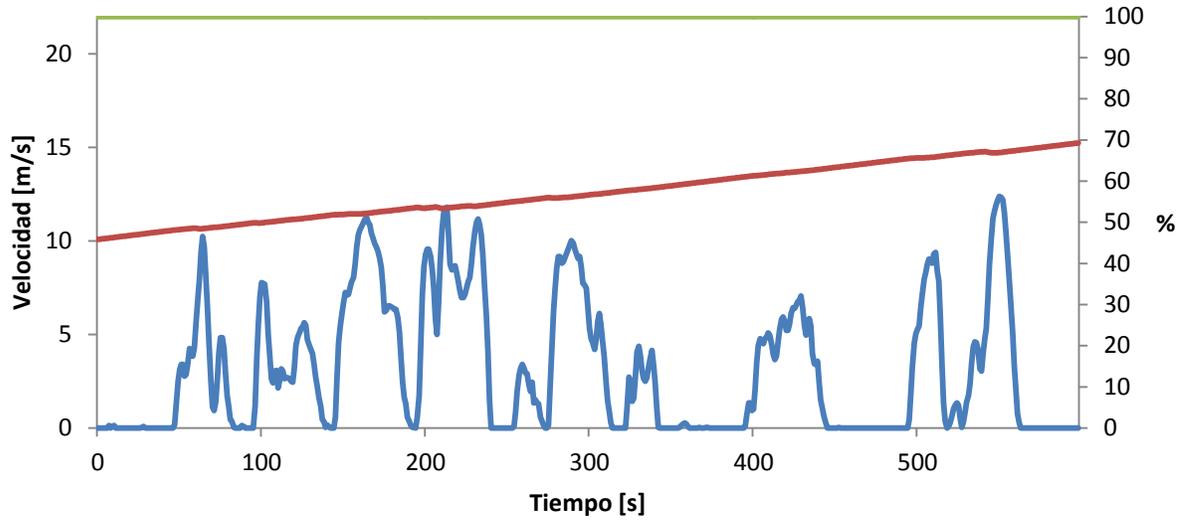


Figura A.3.145. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #50 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

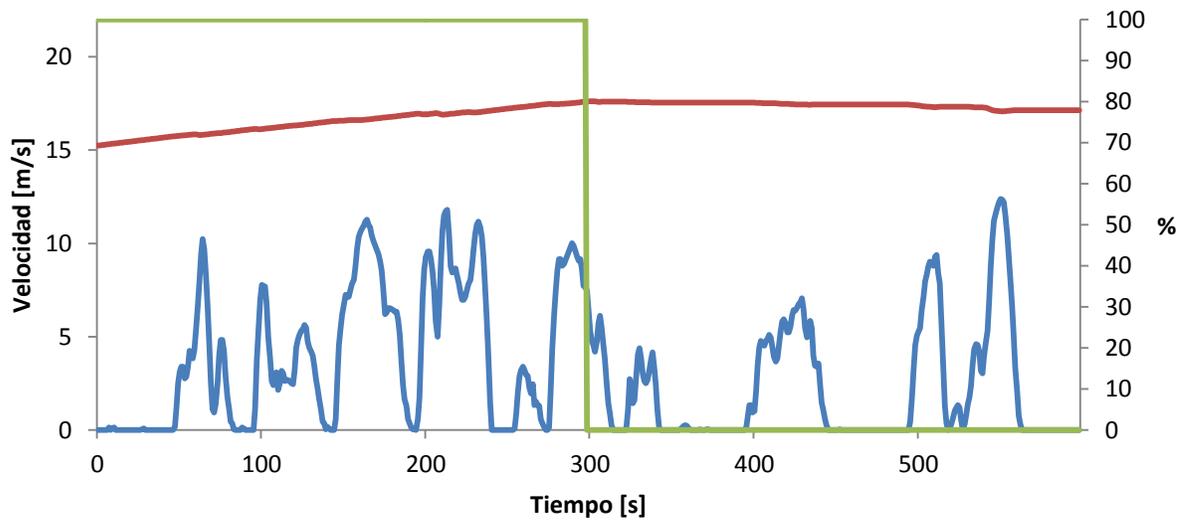


Figura A.3.146. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #51 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

Anexos

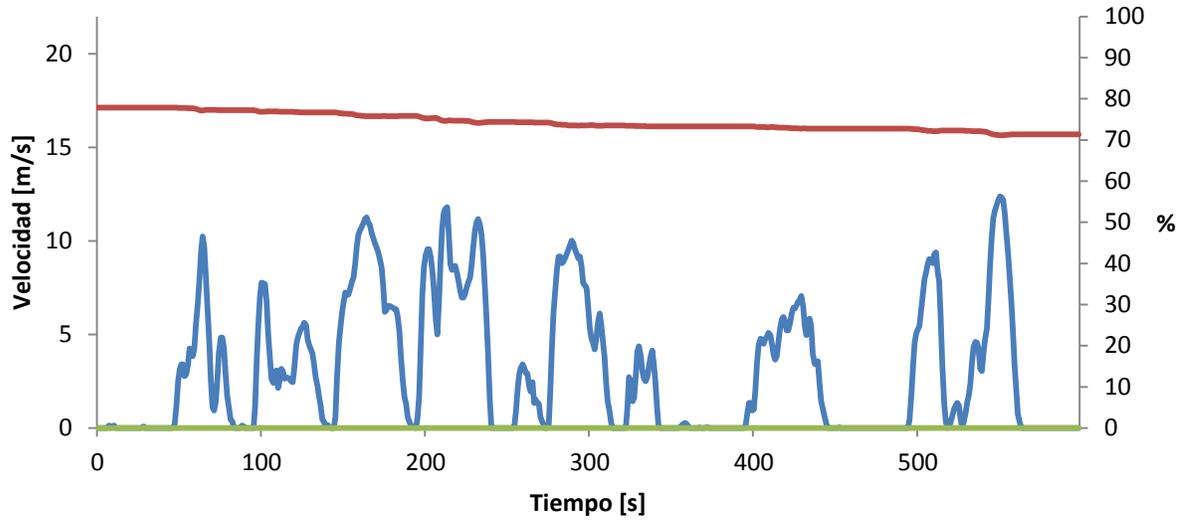


Figura A.3.147. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #52 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

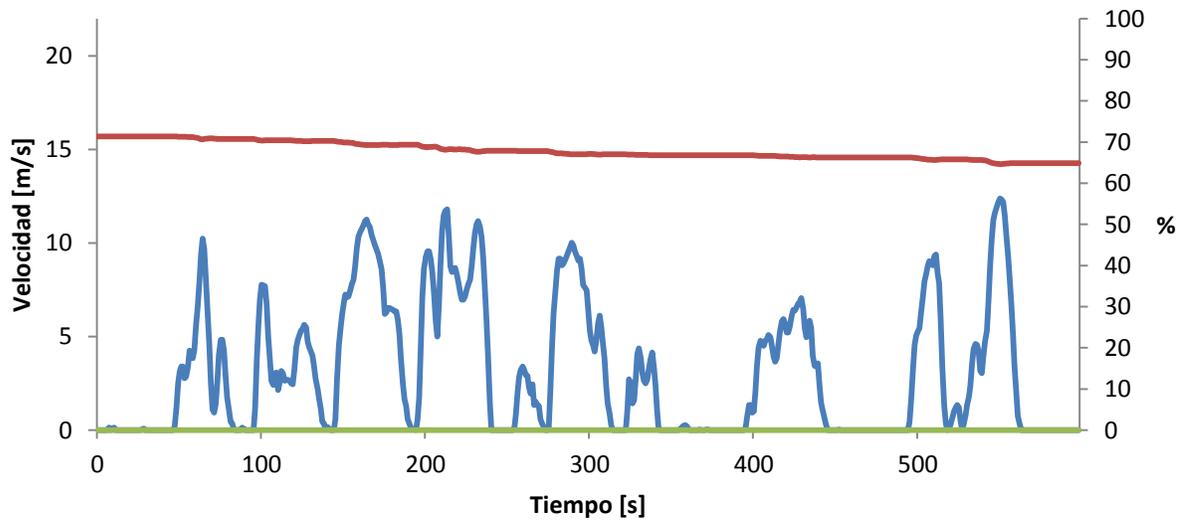


Figura A.3.148. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #53 para calcular el cons. de comb. durante 100 [km]

A.3.2.3.-Gráficas de simulaciones por ciclo partiendo de distintos estados iniciales de carga

3.2.3.1.-Ciclo I

3.2.3.1.1.-Ciclo I partiendo de un estado de carga inicial de 80%

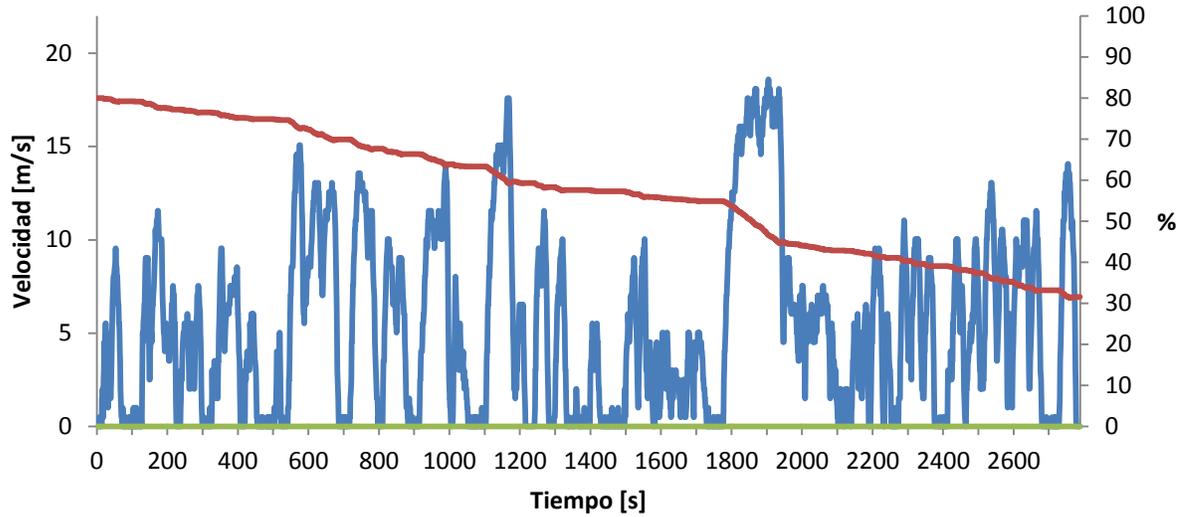


Figura A.3.149. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

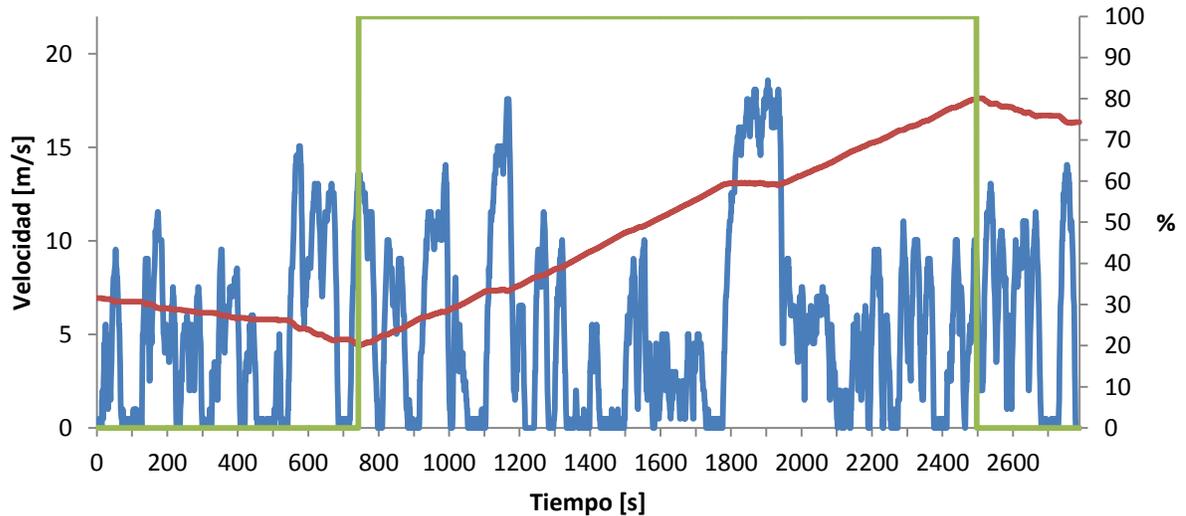


Figura A.3.150. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

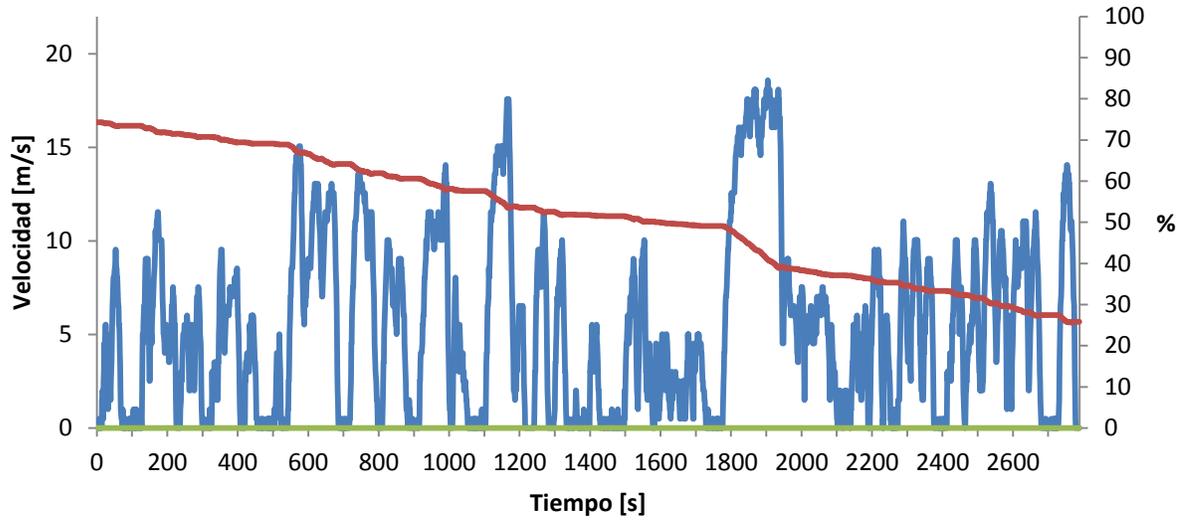


Figura A.3.151. - Ciclo I, estados de carga y del MCR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

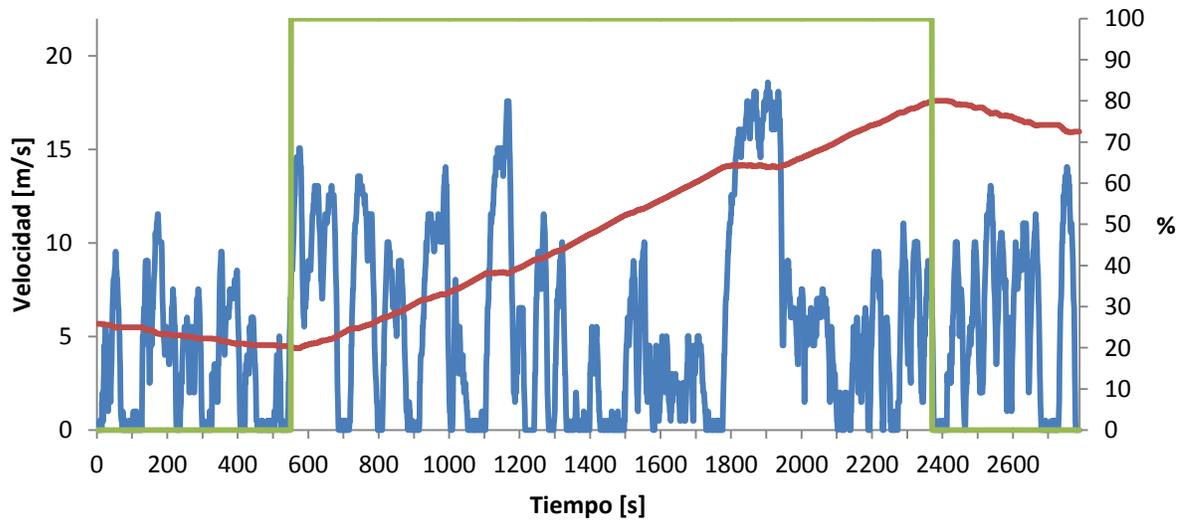


Figura A.3.152. - Ciclo I, estados de carga y del MCR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

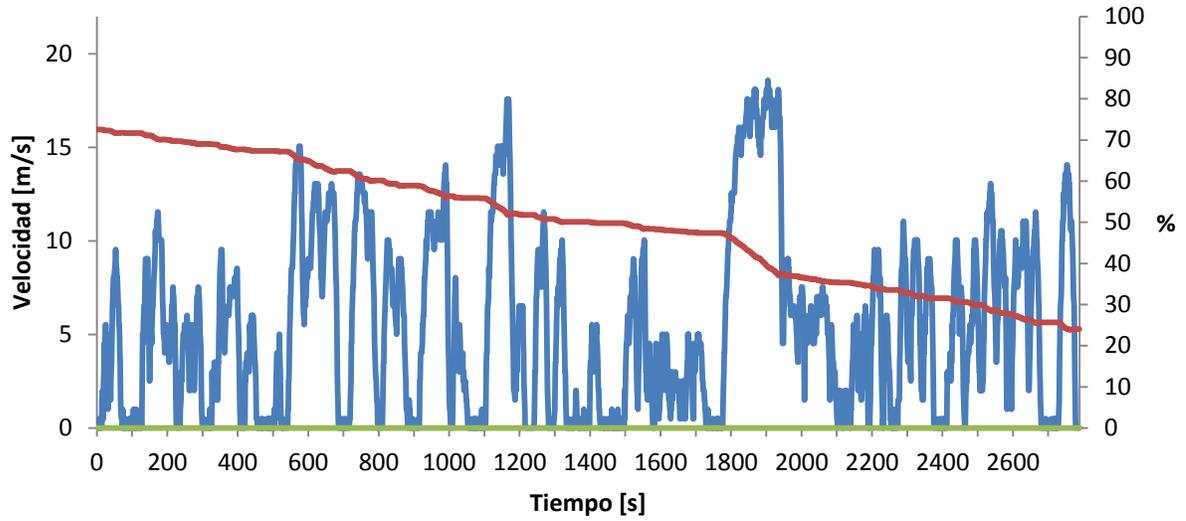


Figura A.3.153. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

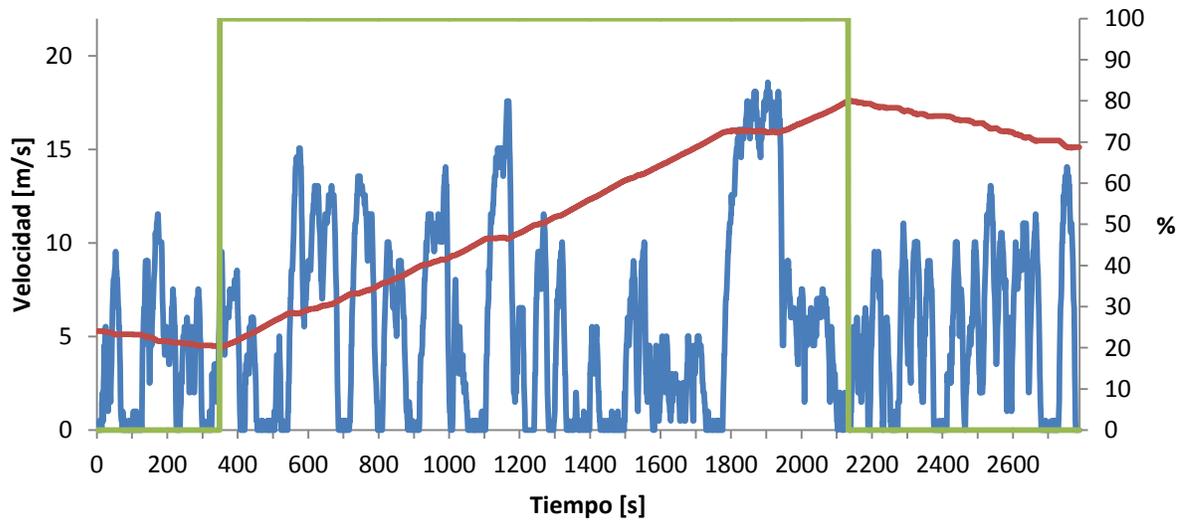


Figura A.3.154. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

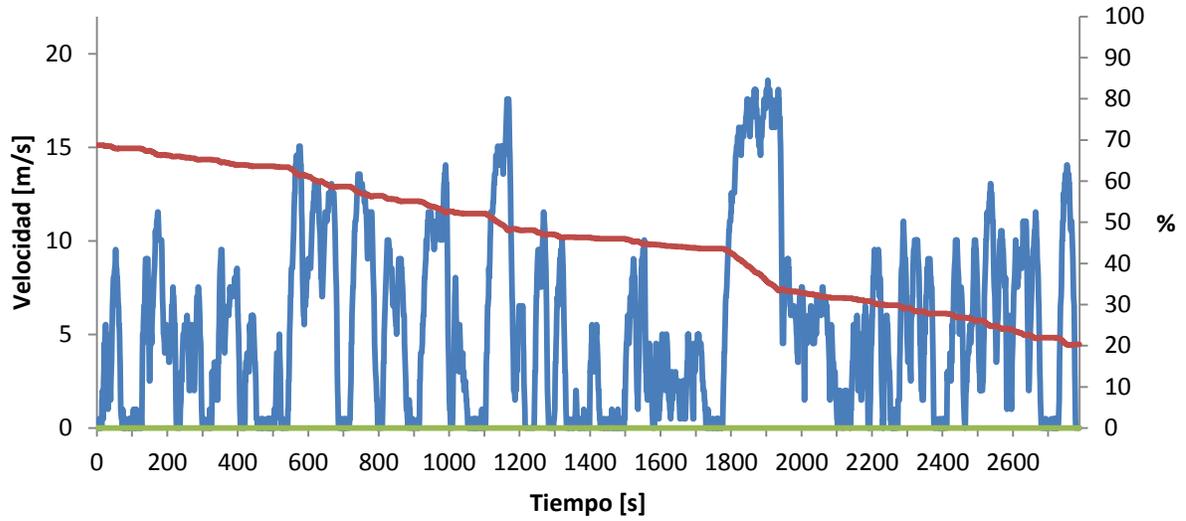


Figura A.3.155. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

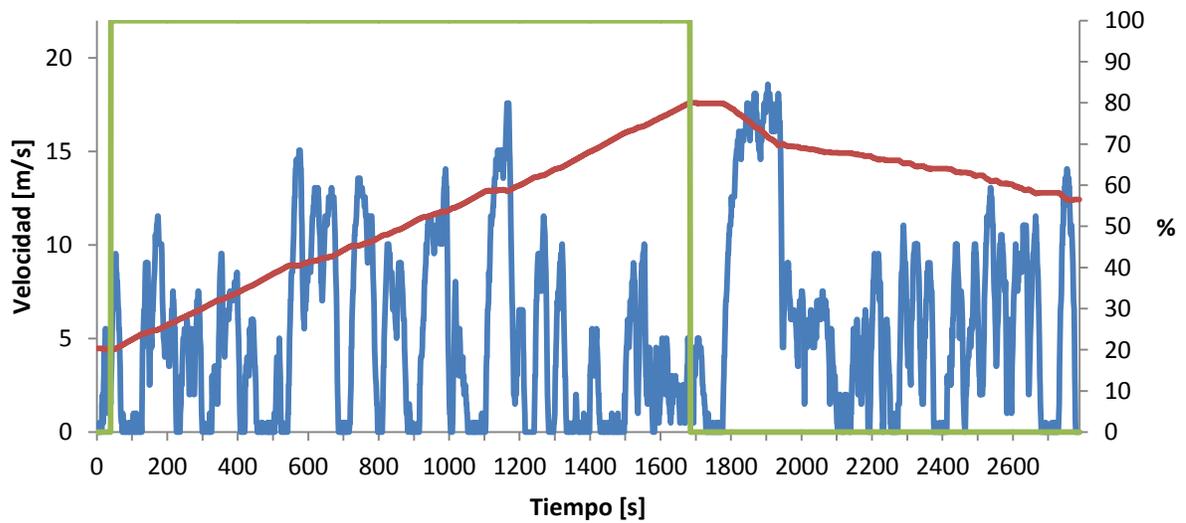


Figura A.3.156. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

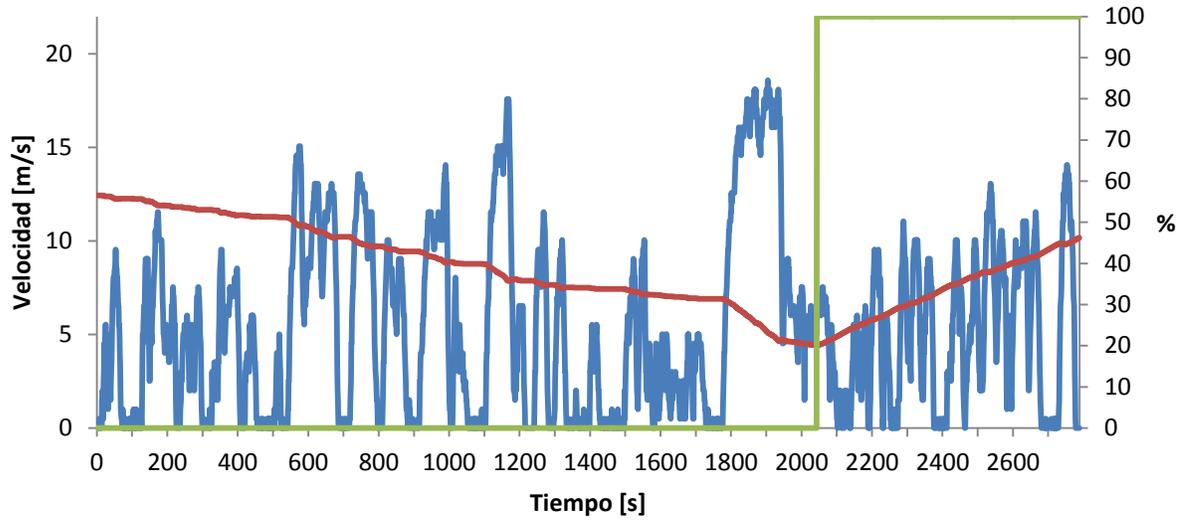


Figura A.3.157. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

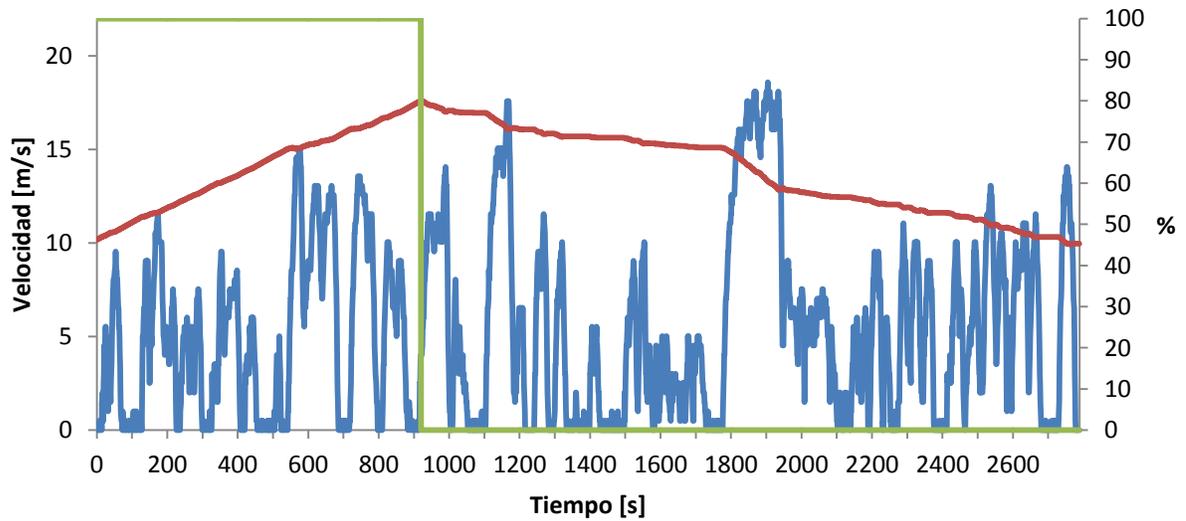


Figura A.3.158. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

3.2.3.1.2.-Ciclo I partiendo de un estado de carga inicial de 50%

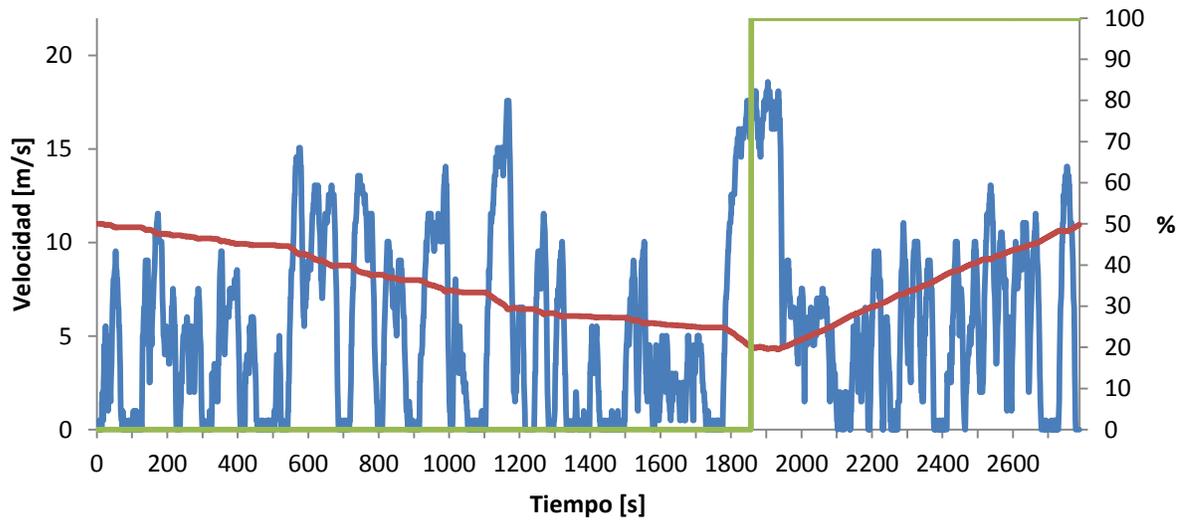


Figura A.3.159. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

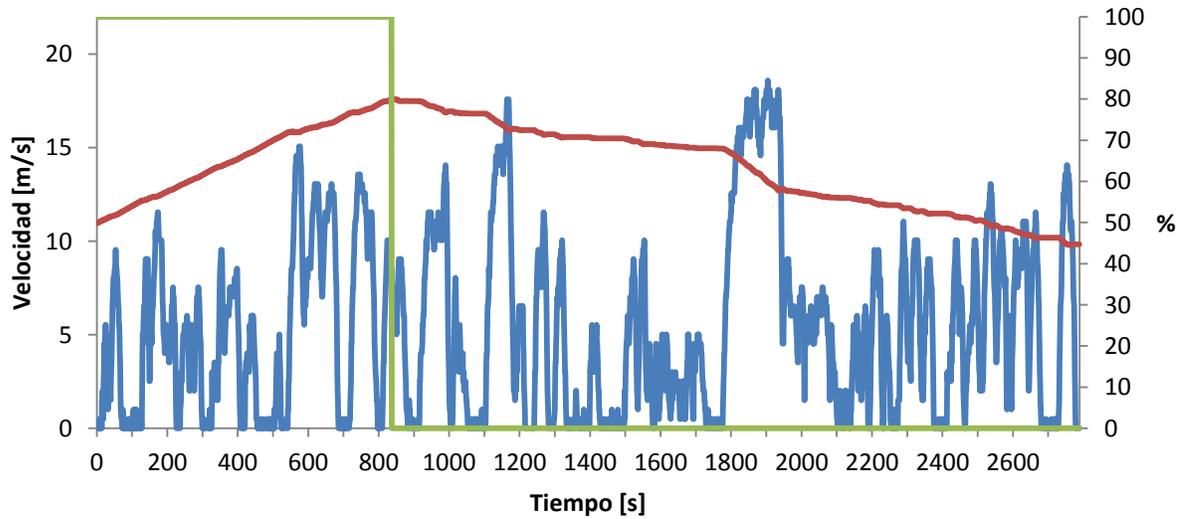


Figura A.3.160. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

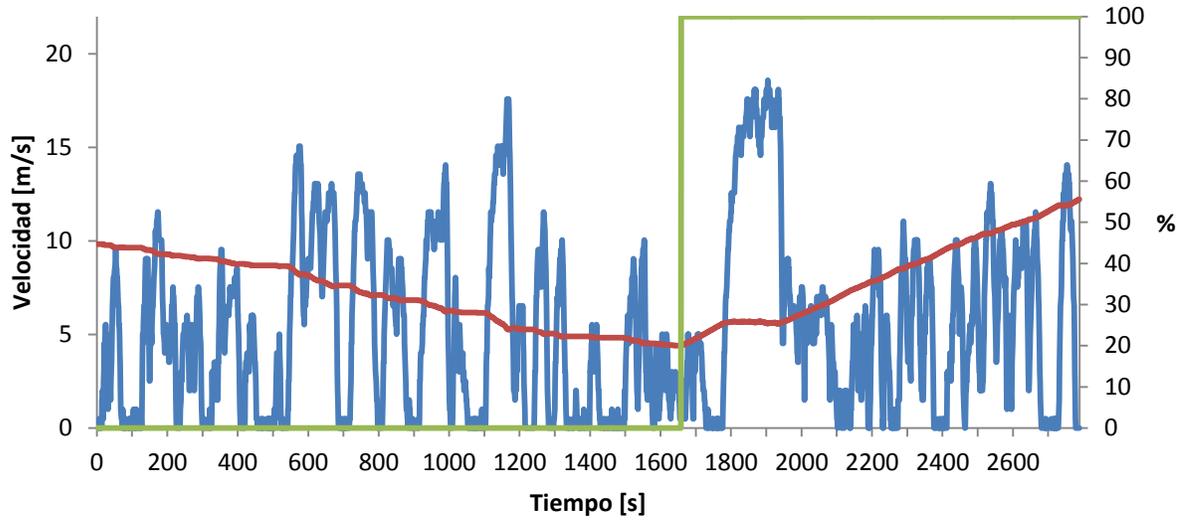


Figura A.3.161. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

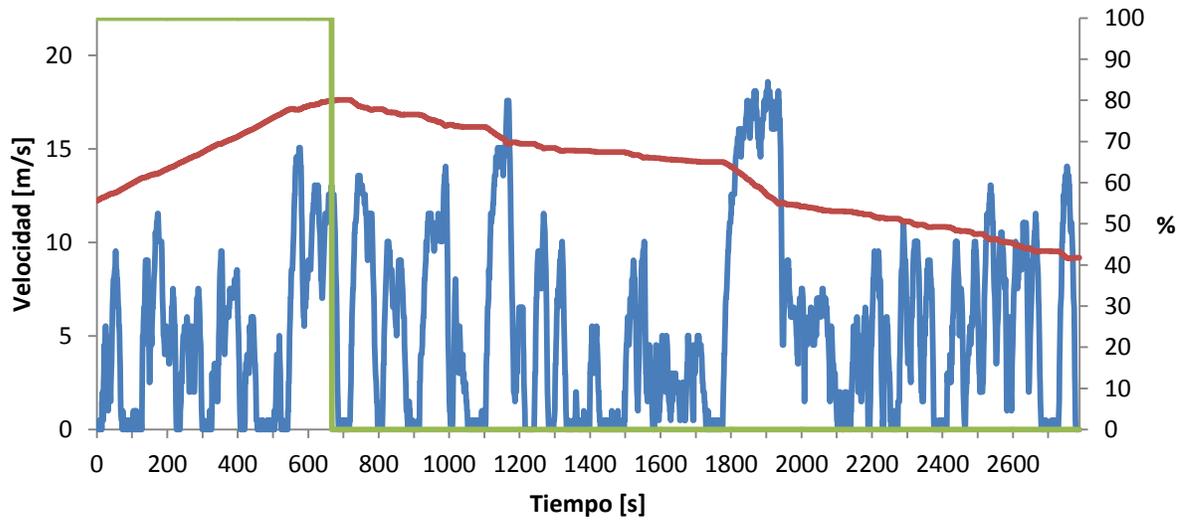


Figura A.3.162. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

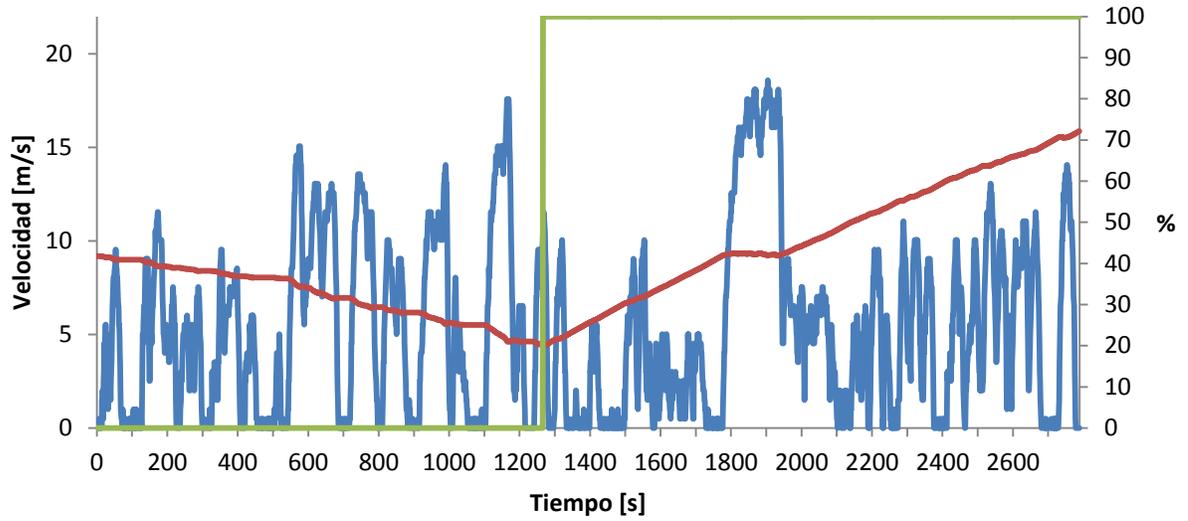


Figura A.3.163. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

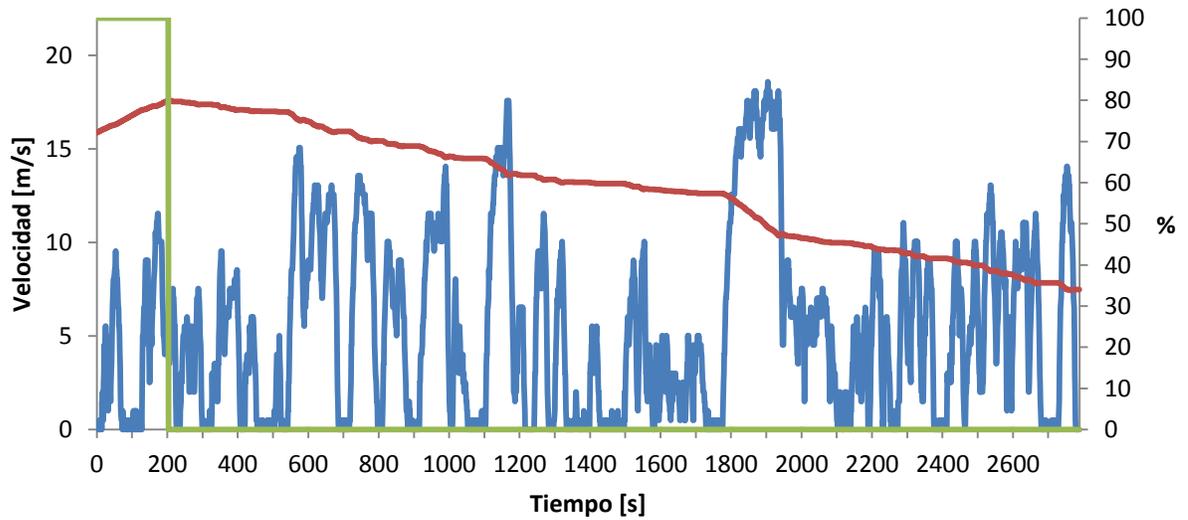


Figura A.3.164. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

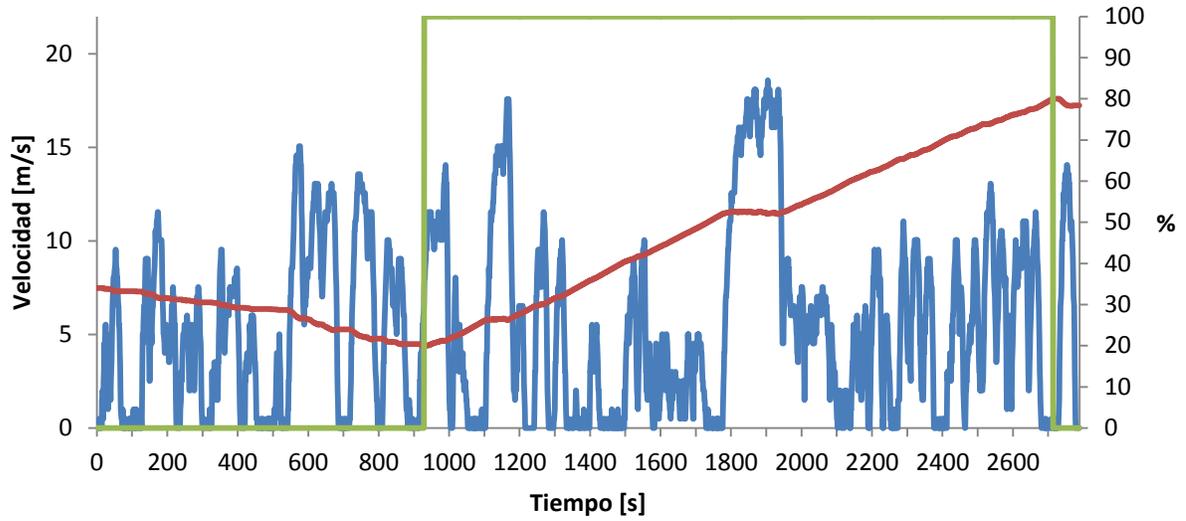


Figura A.3.165. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

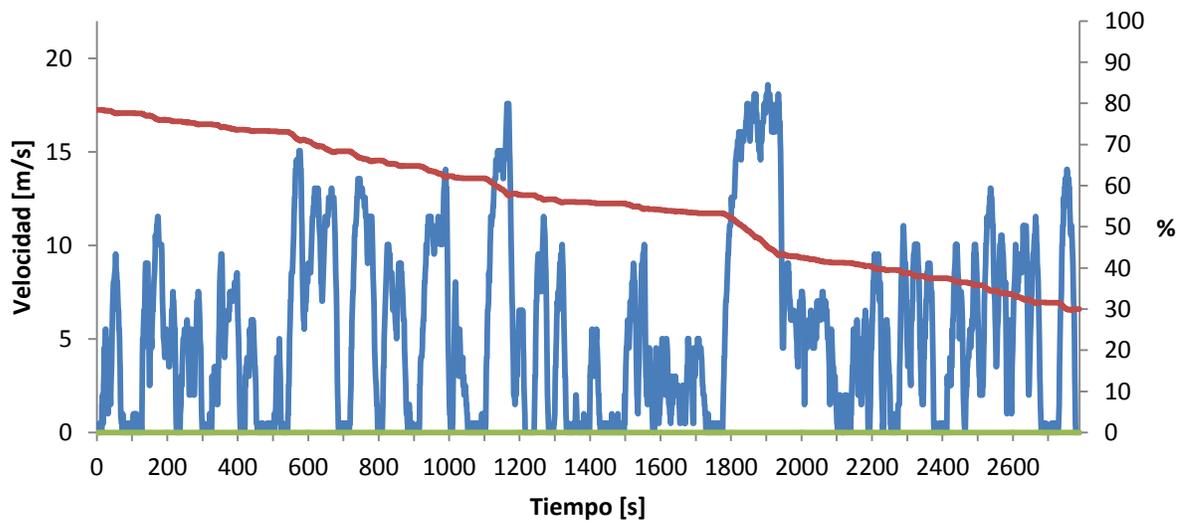


Figura A.3.166. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

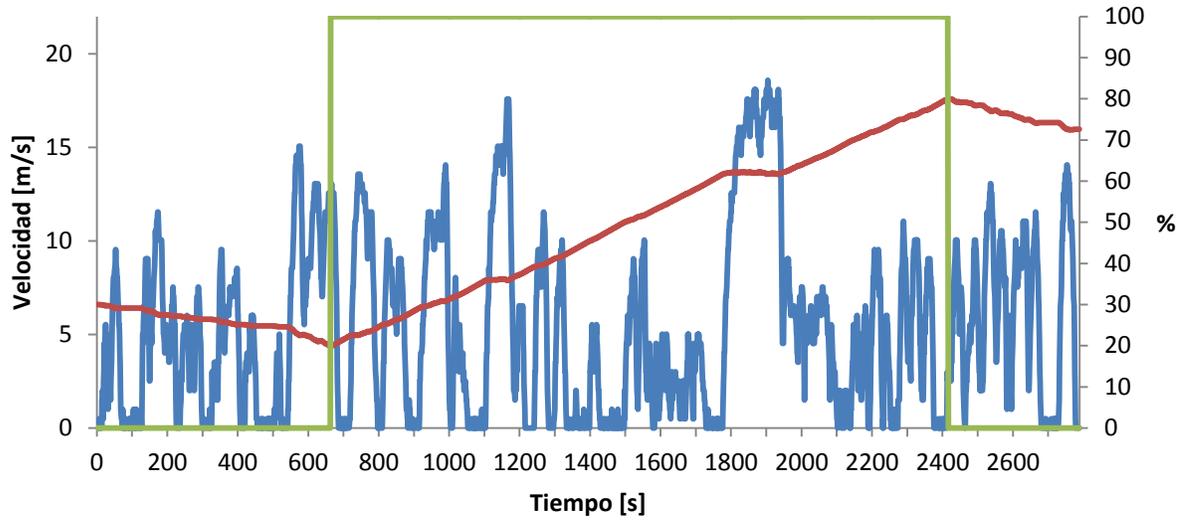


Figura A.3.167. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

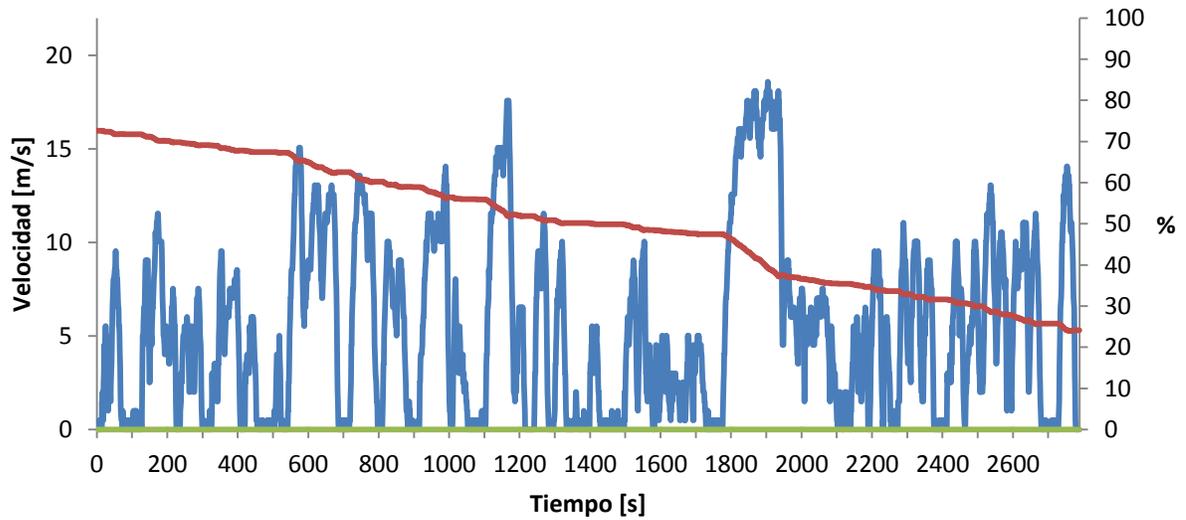


Figura A.3.168. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

3.2.3.1.3.-Ciclo I partiendo de un estado de carga inicial de 20%

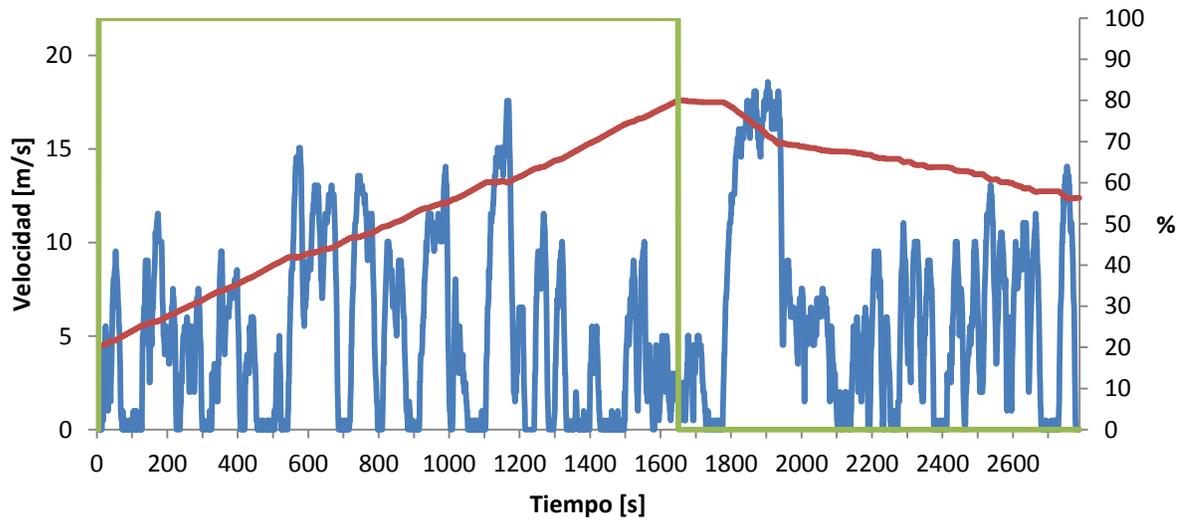


Figura A.3.169. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

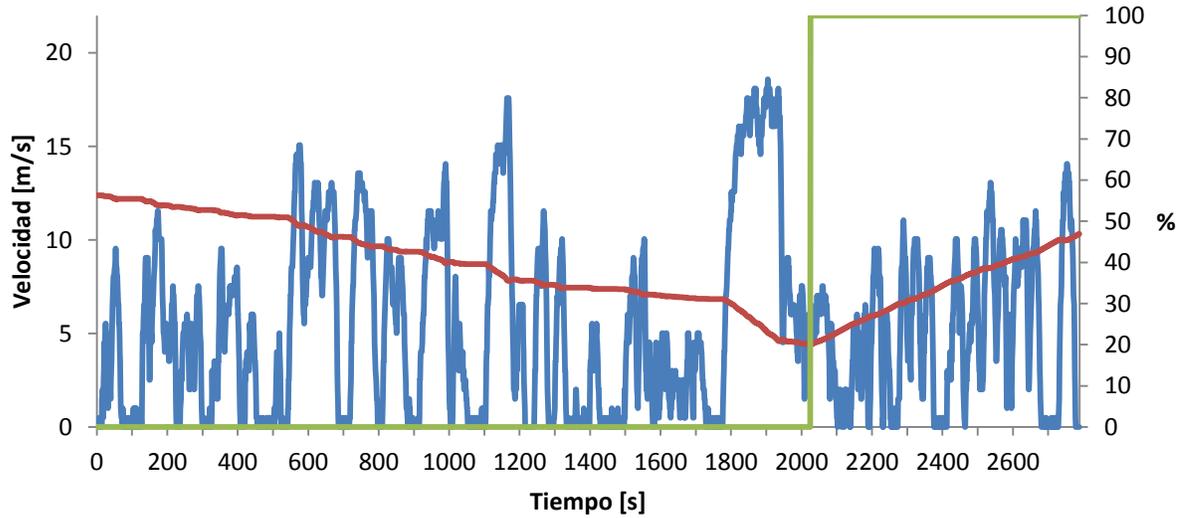


Figura A.3.170. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

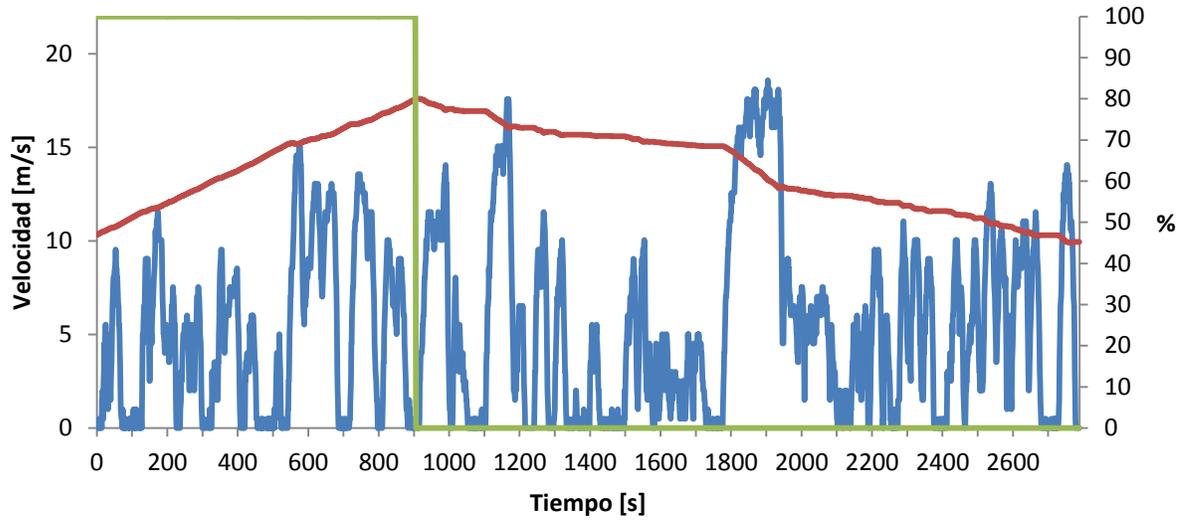


Figura A.3.171. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

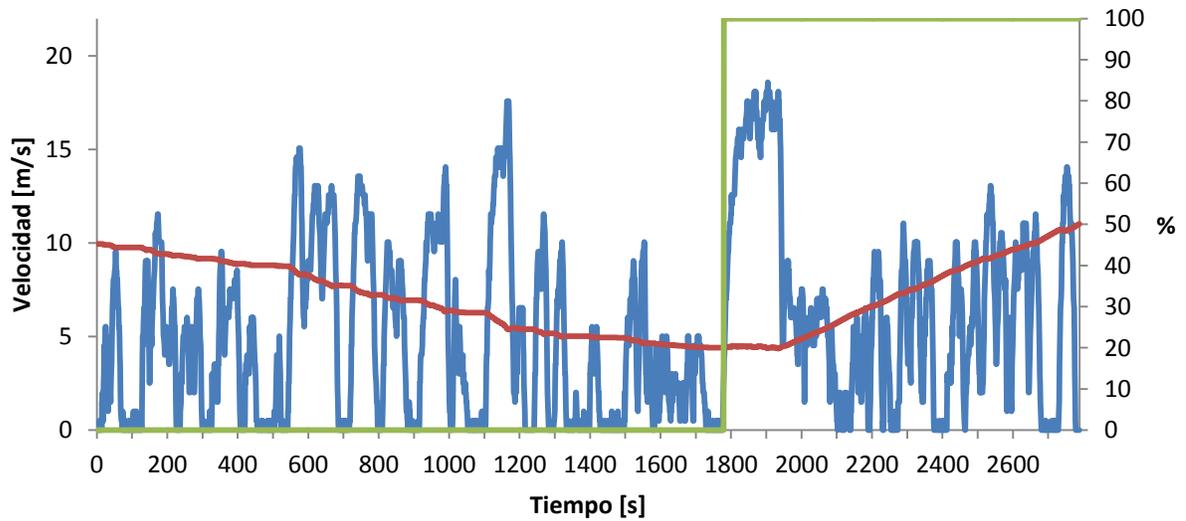


Figura A.3.172. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

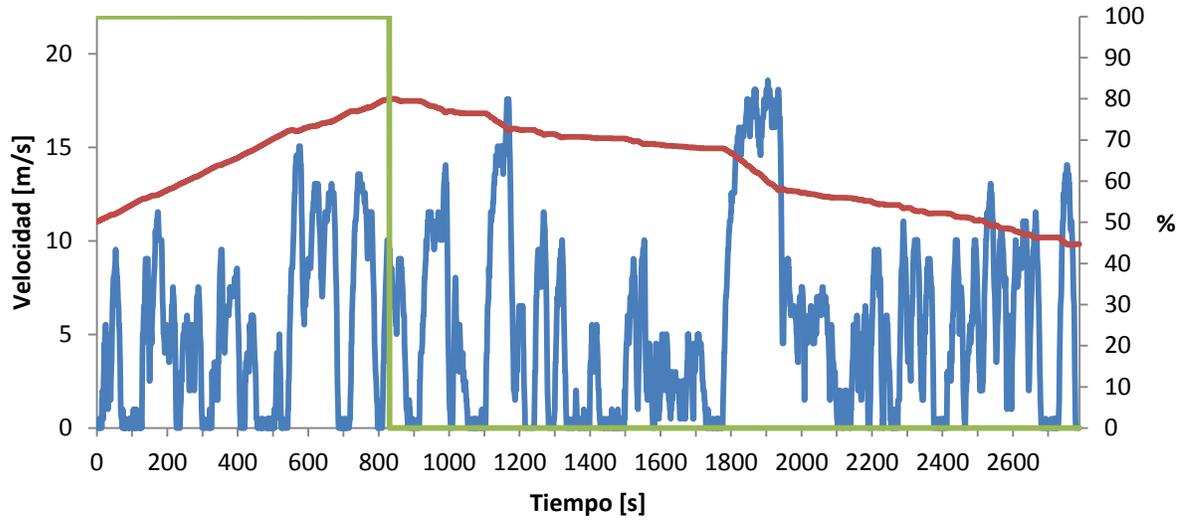


Figura A.3.173. - Ciclo I, estados de carga y del MCI_R/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

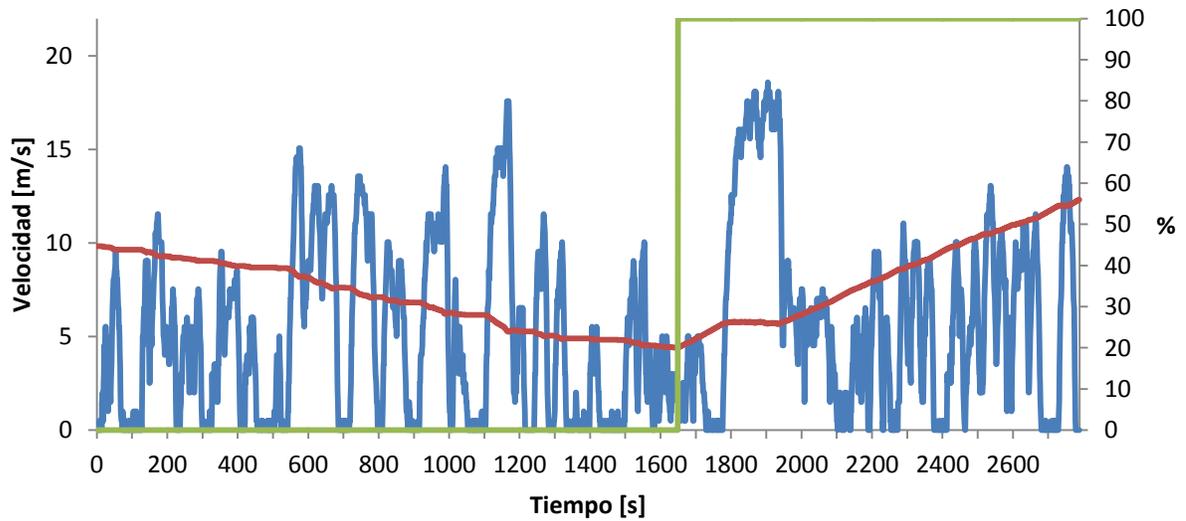


Figura A.3.174. - Ciclo I, estados de carga y del MCI_R/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

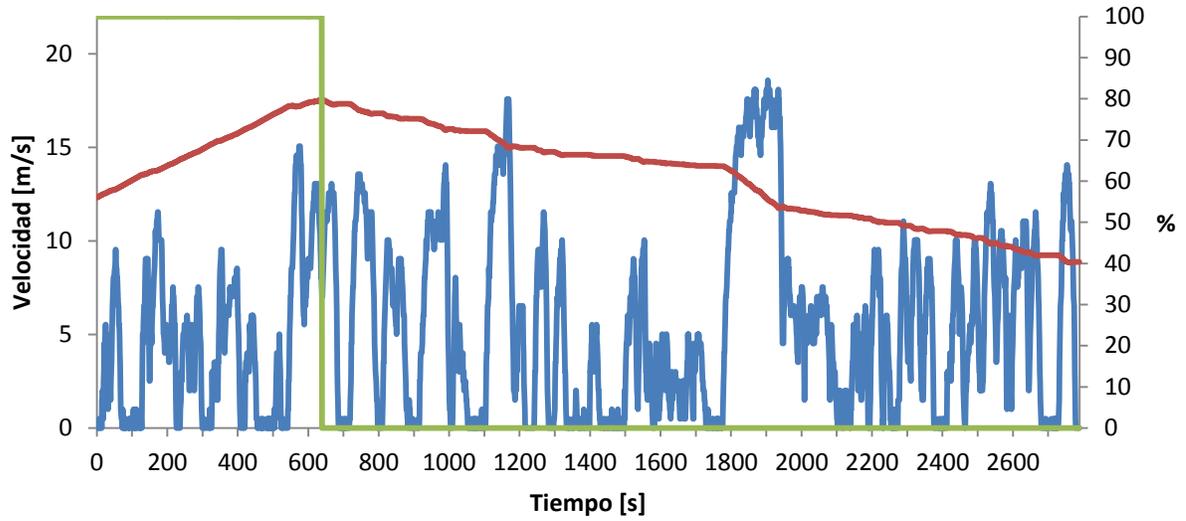


Figura A.3.175. - Ciclo I, estados de carga y del MCI_R/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

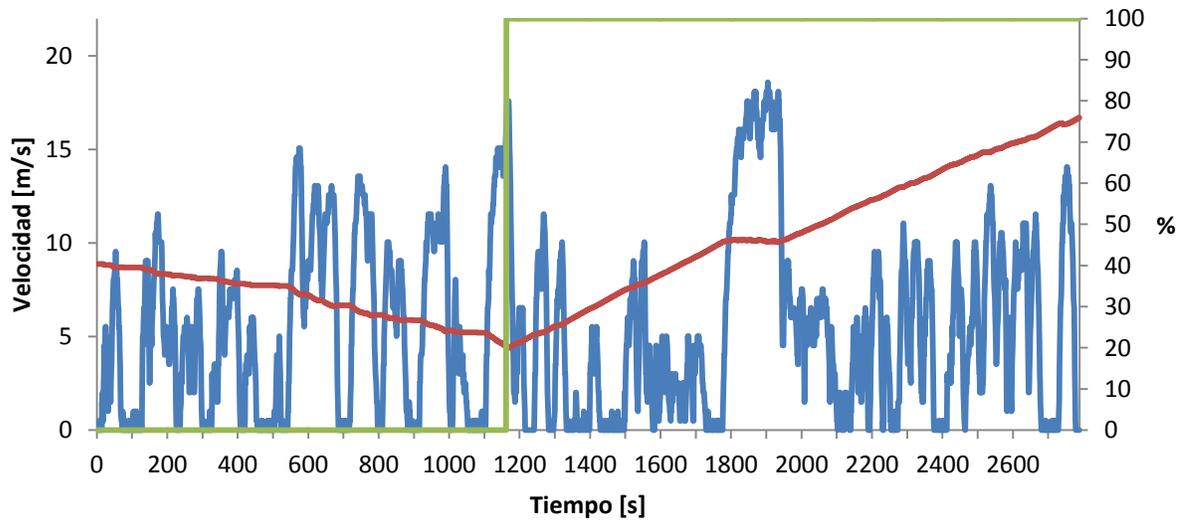


Figura A.3.176. - Ciclo I, estados de carga y del MCI_R/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

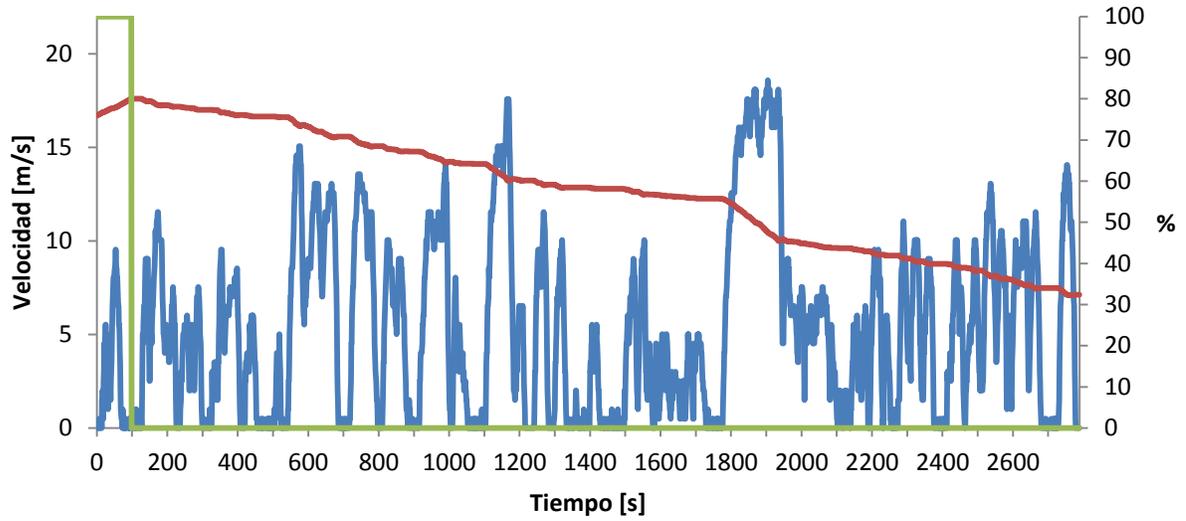


Figura A.3.177. - Ciclo I, estados de carga y del MCR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

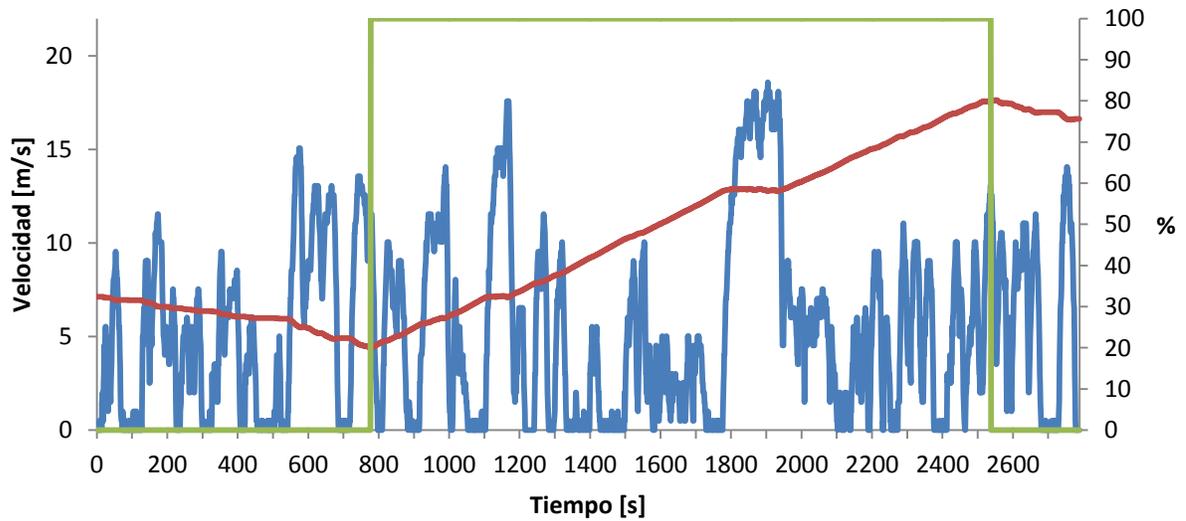


Figura A.3.178. - Ciclo I, estados de carga y del MCR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

3.2.3.2 Ciclo II

3.2.3.2.1.-Ciclo II partiendo de un estado de carga inicial de 80%

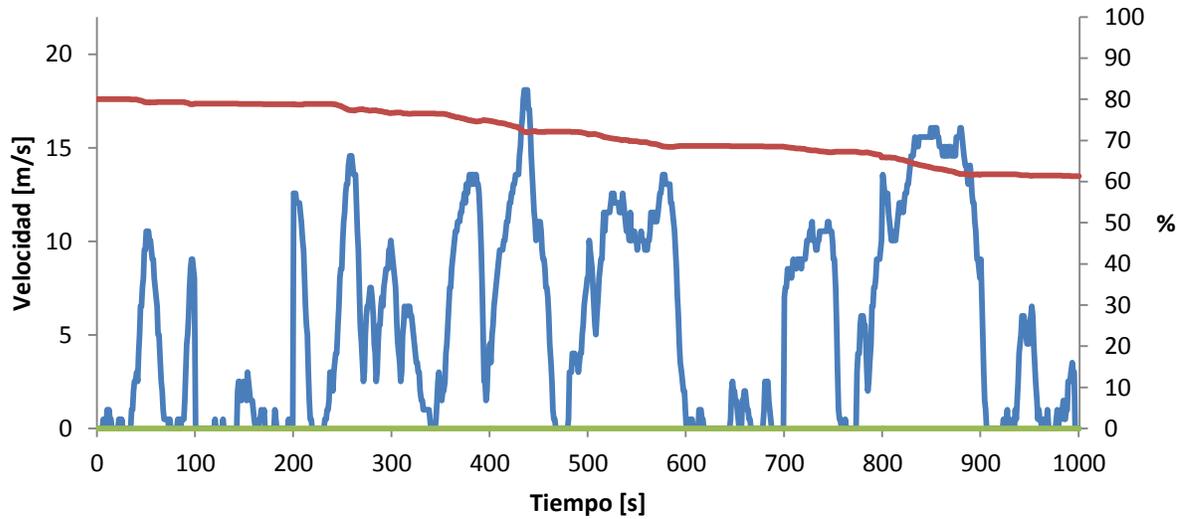


Figura A.3.179. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

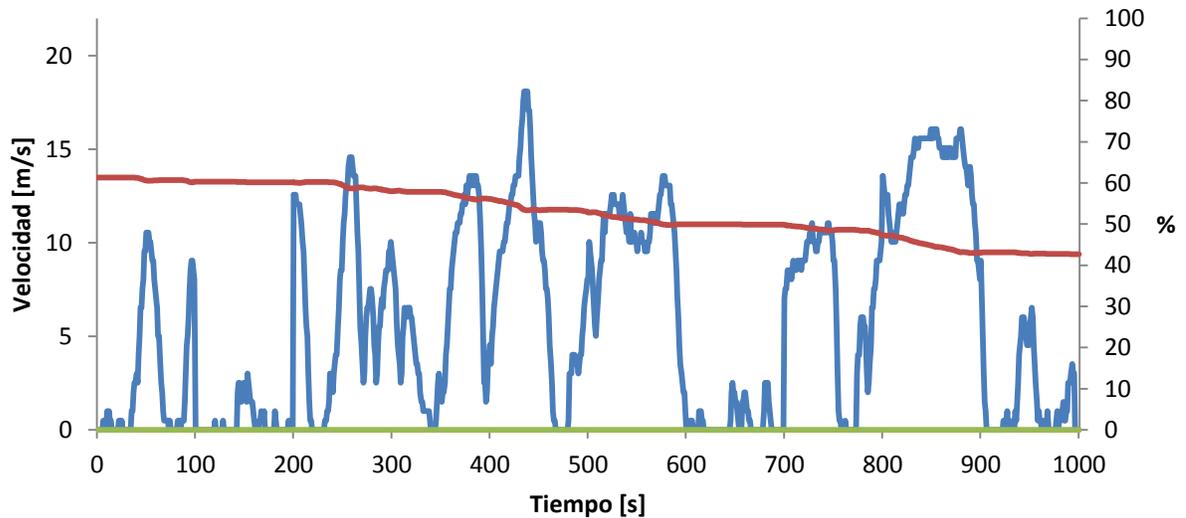


Figura A.3.180. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

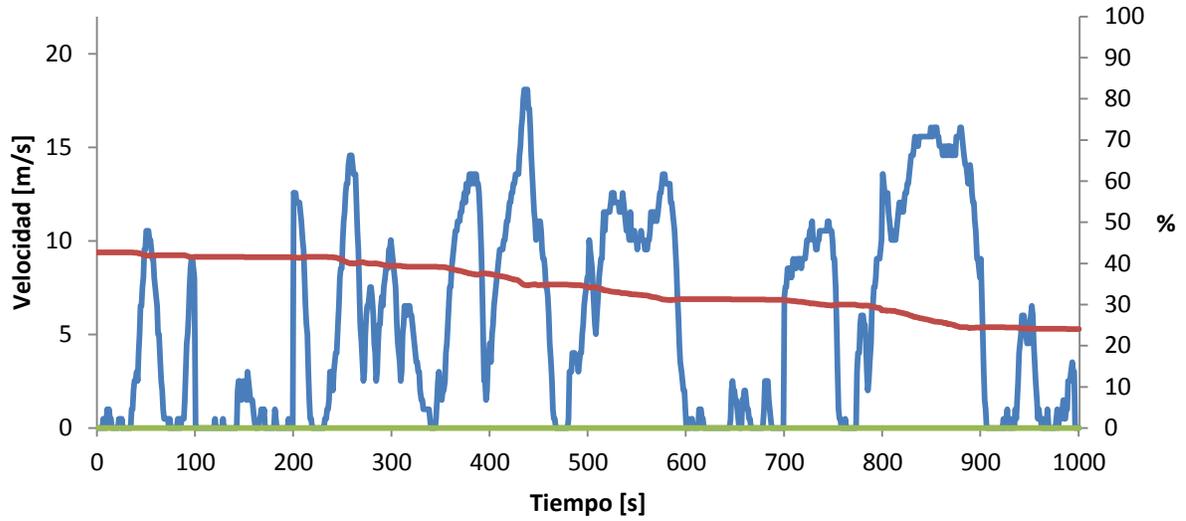


Figura A.3.181. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

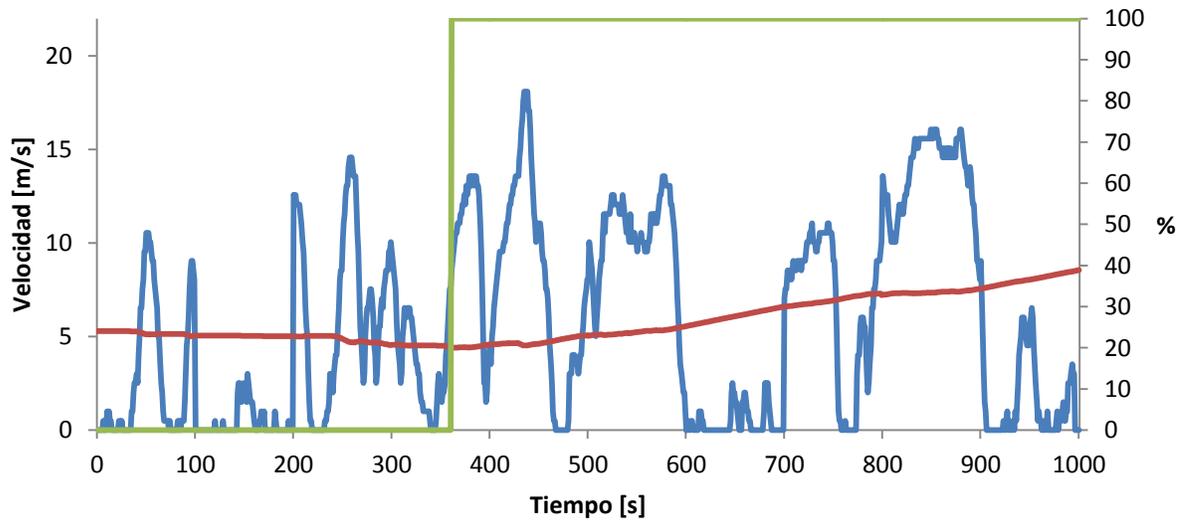


Figura A.3.182. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

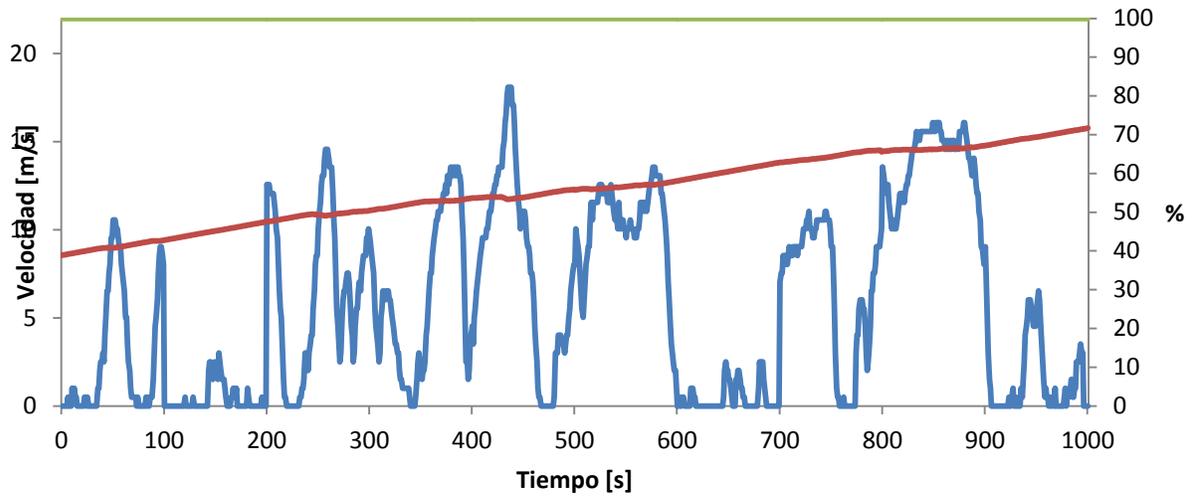


Figura A.3.183. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

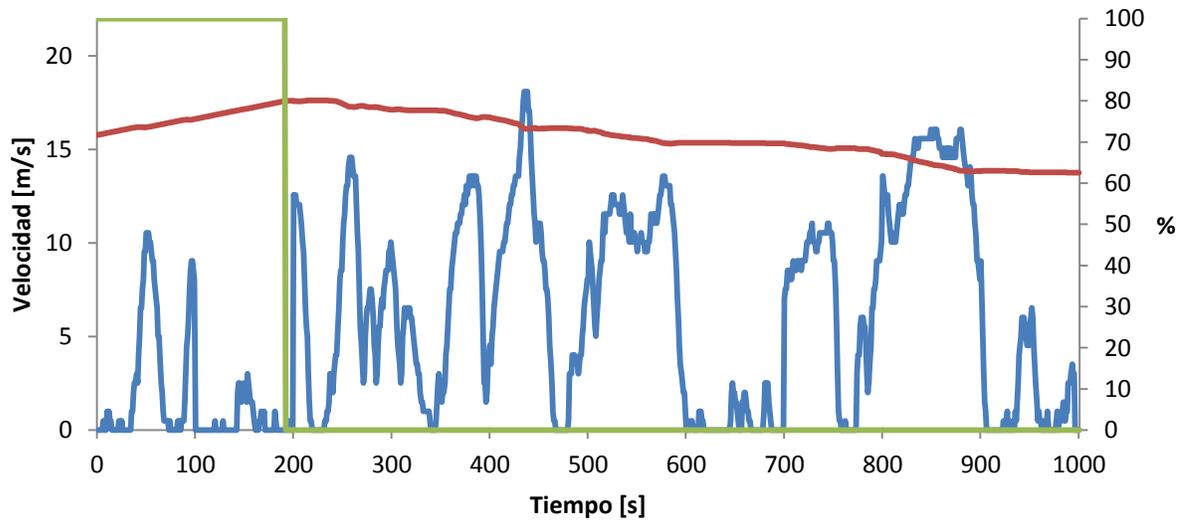


Figura A.3.184. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

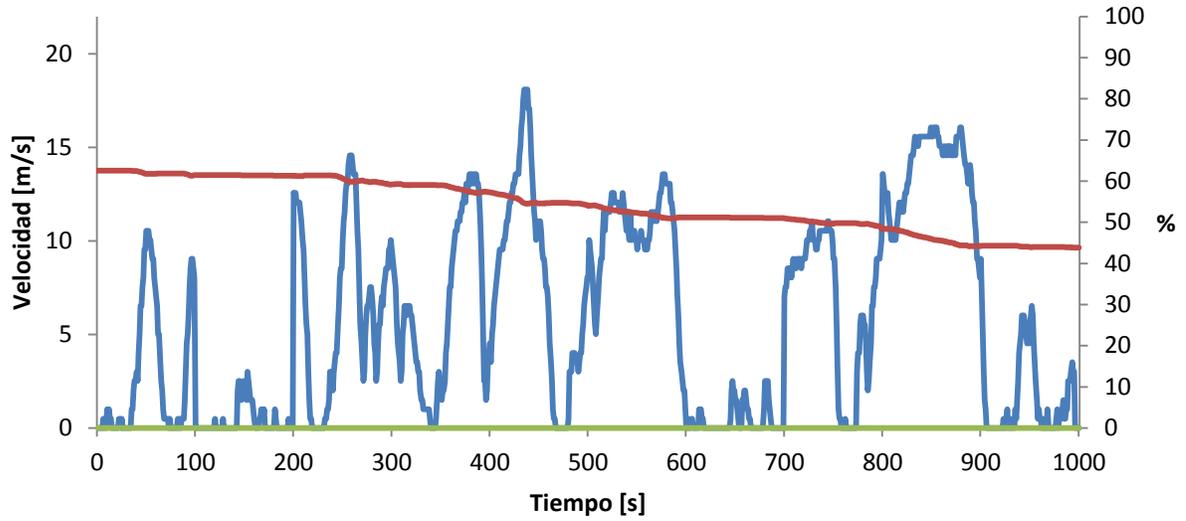


Figura A.3.185. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

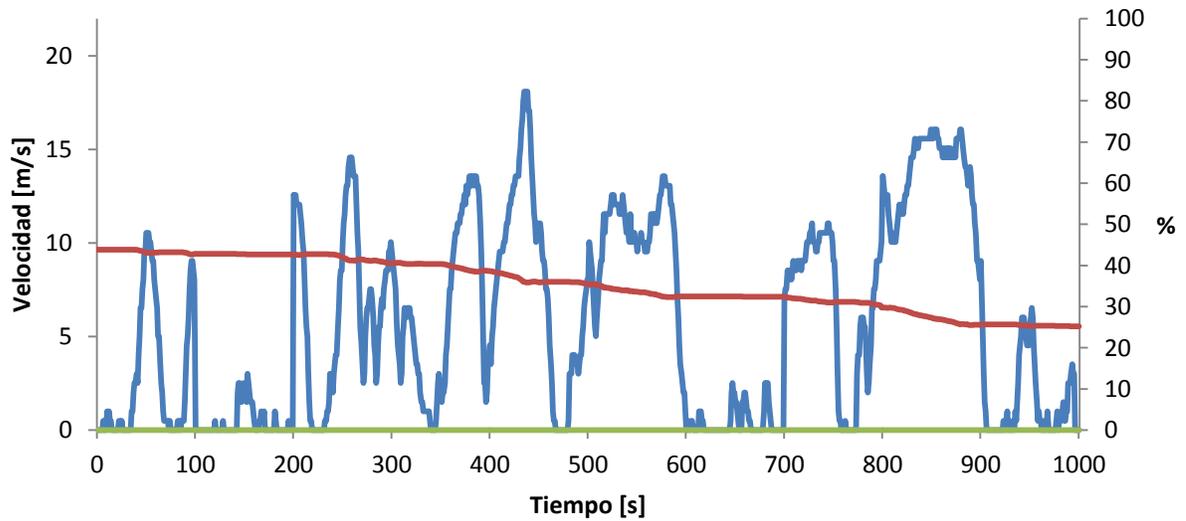


Figura A.3.186. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

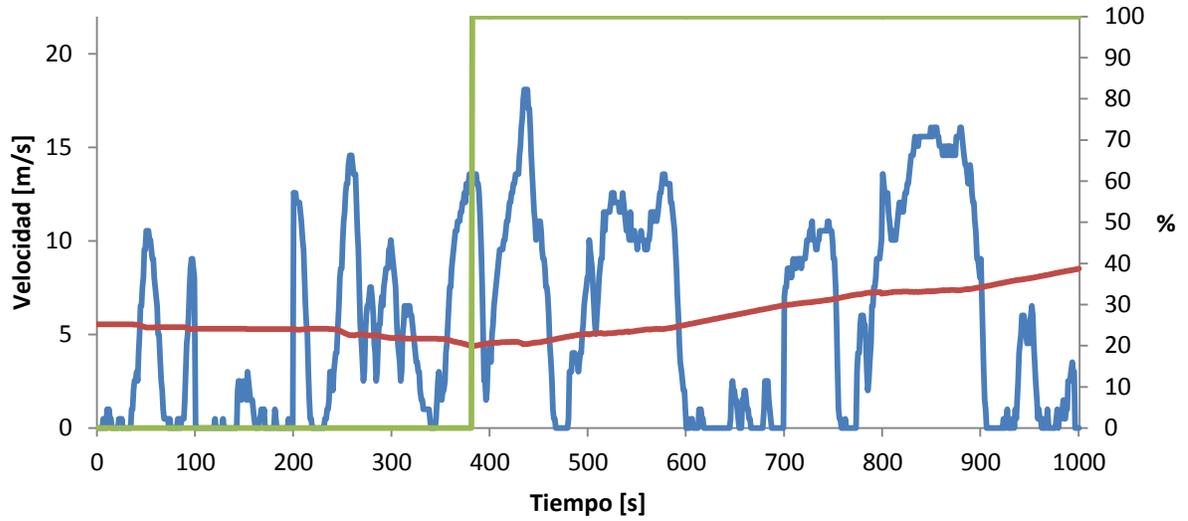


Figura A.3.187. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

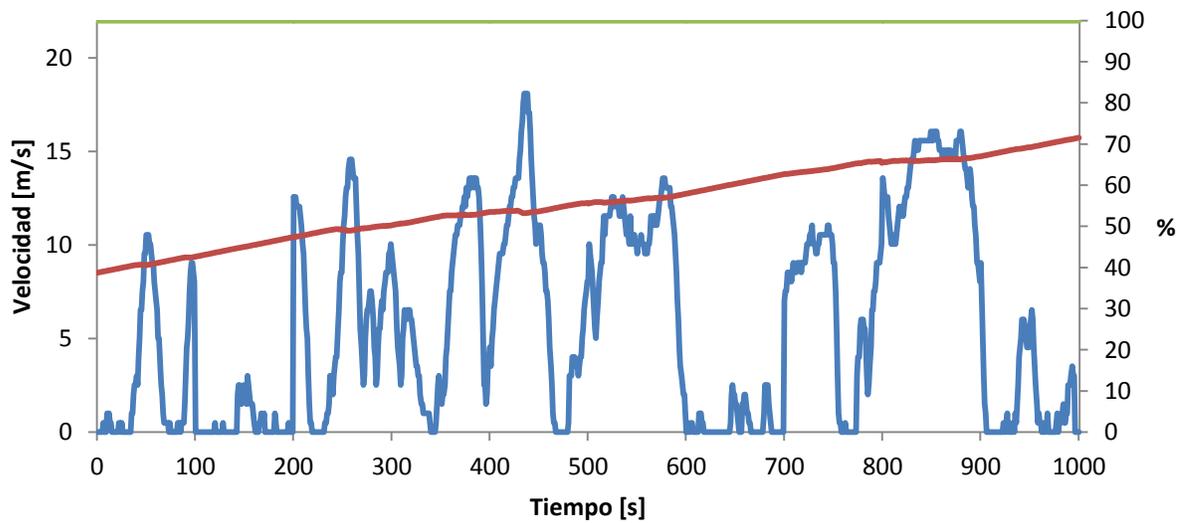


Figura A.3.188. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

3.2.3.2.2.-Ciclo II partiendo de un estado de carga inicial de 50%

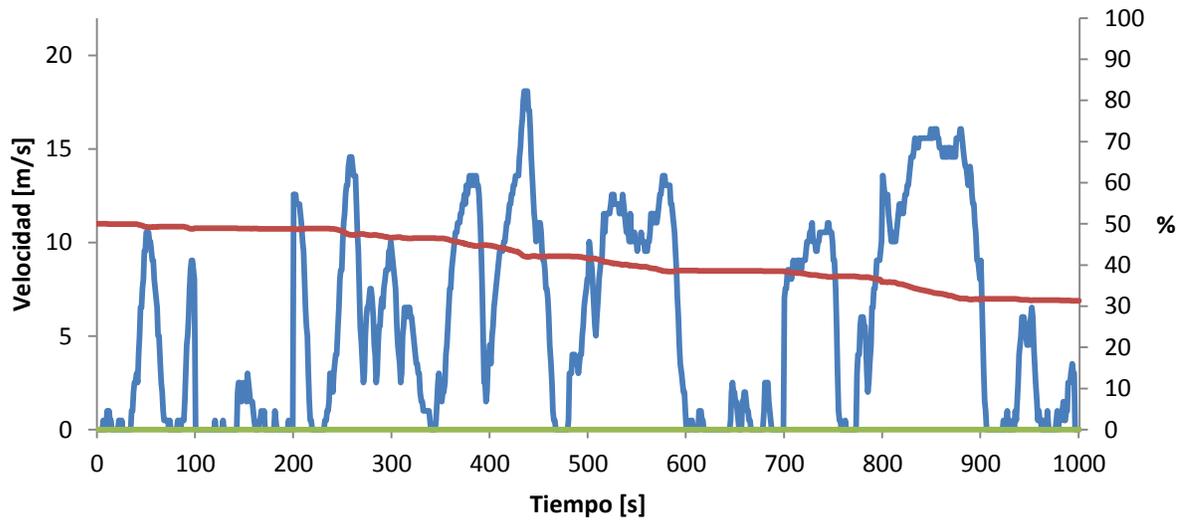


Figura A.3.189. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

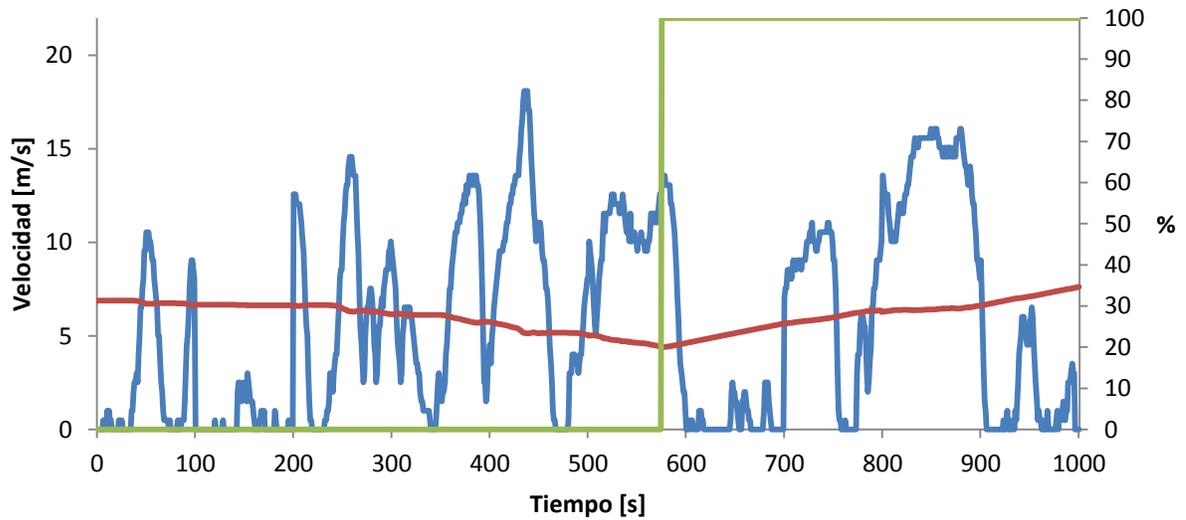


Figura A.3.190. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

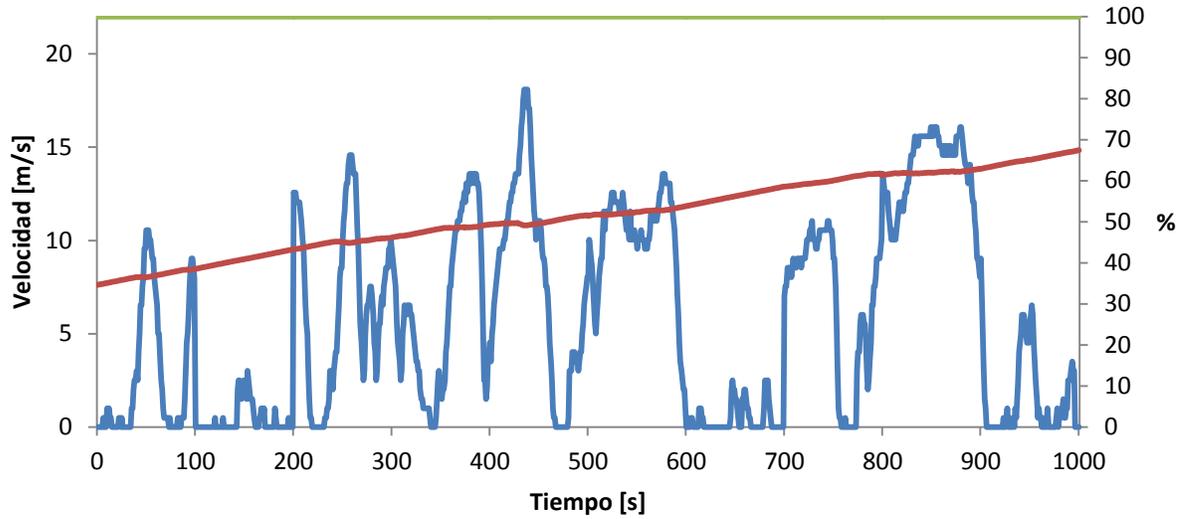


Figura A.3.191. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

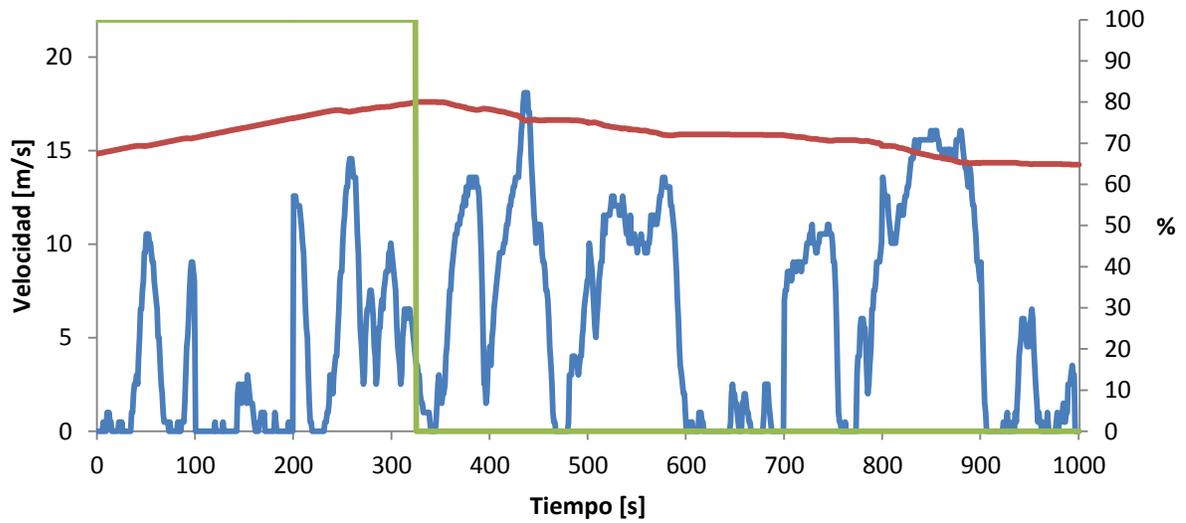


Figura A.3.192. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

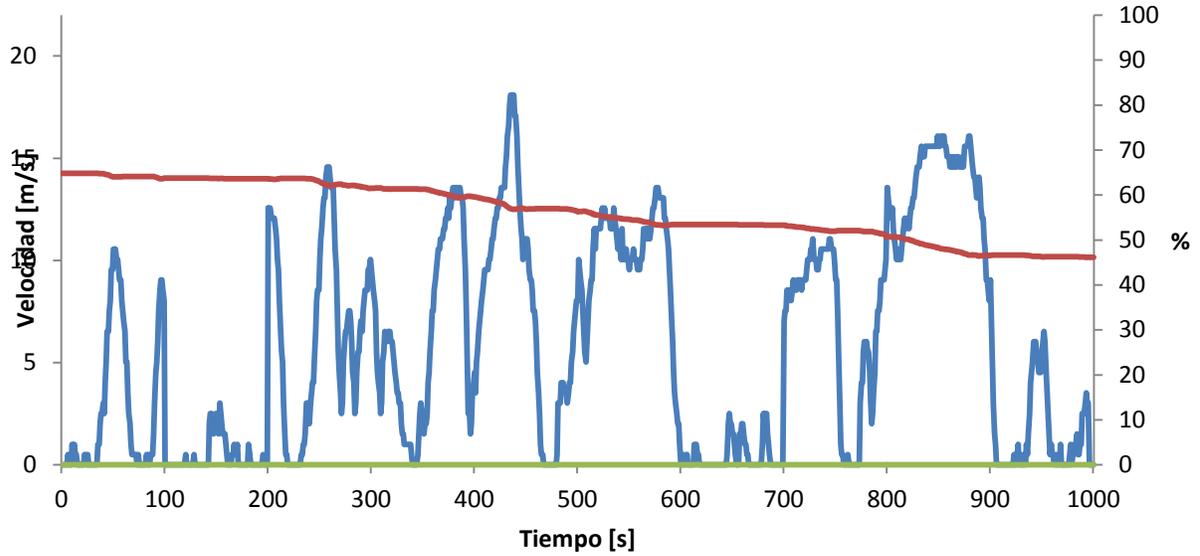


Figura A.3.193. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

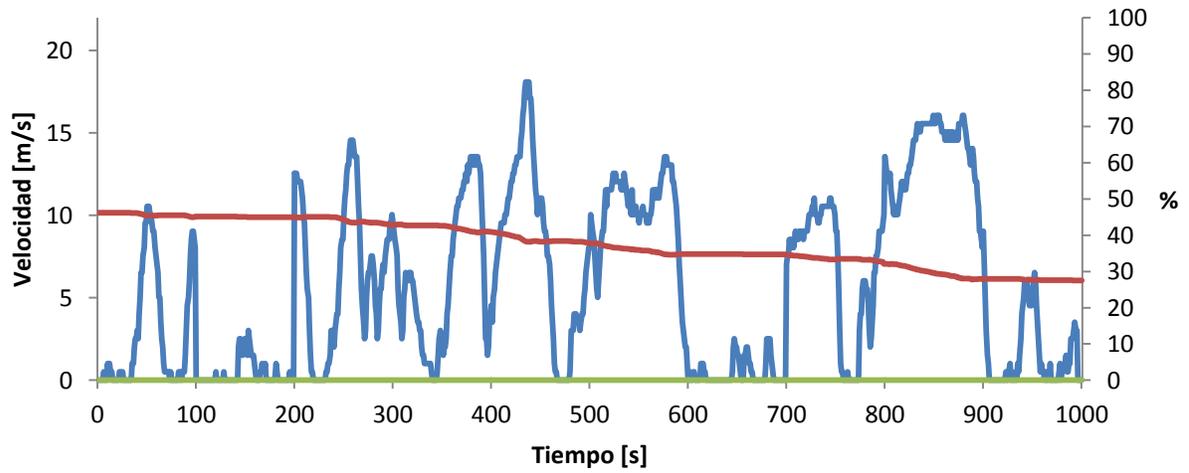


Figura A.3.194. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

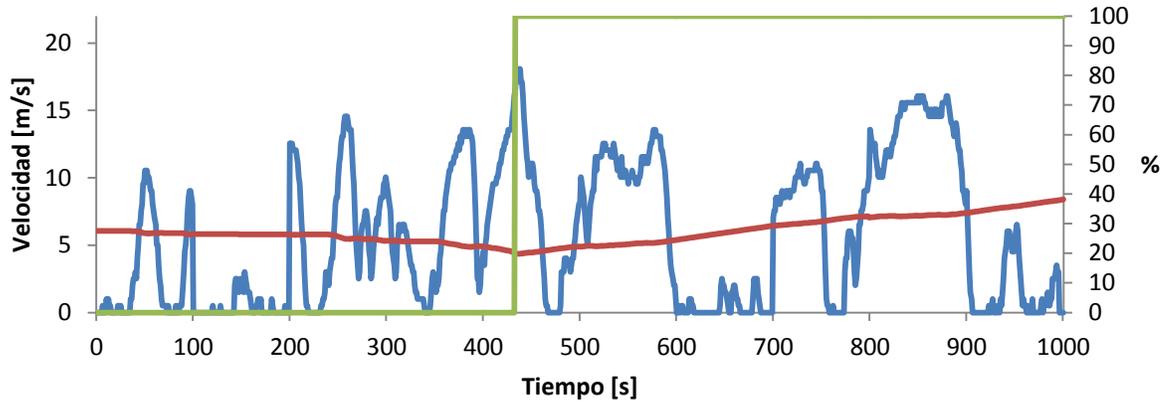


Figura A.3.195. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

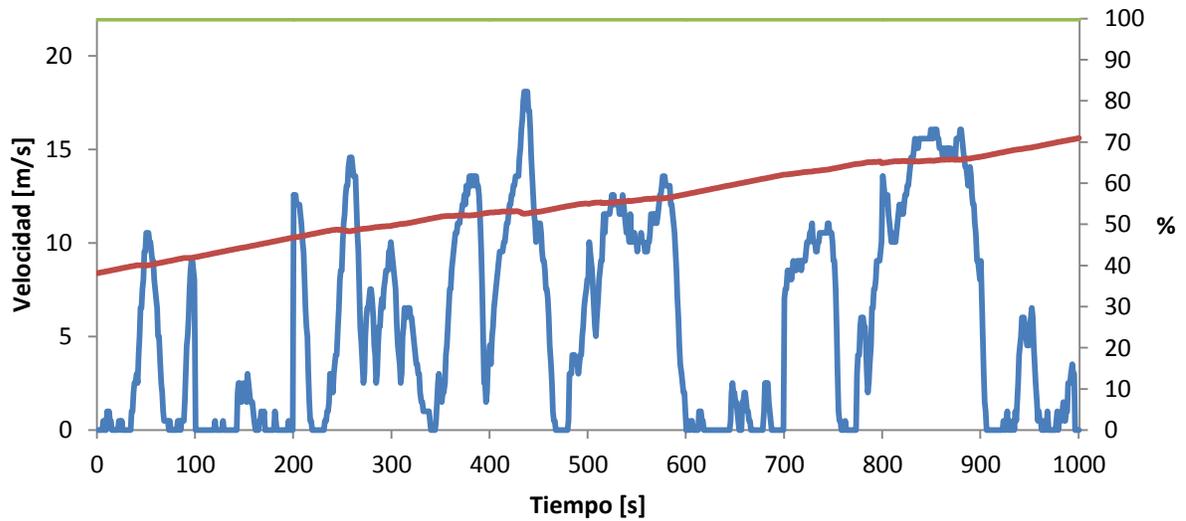


Figura A.3.196. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

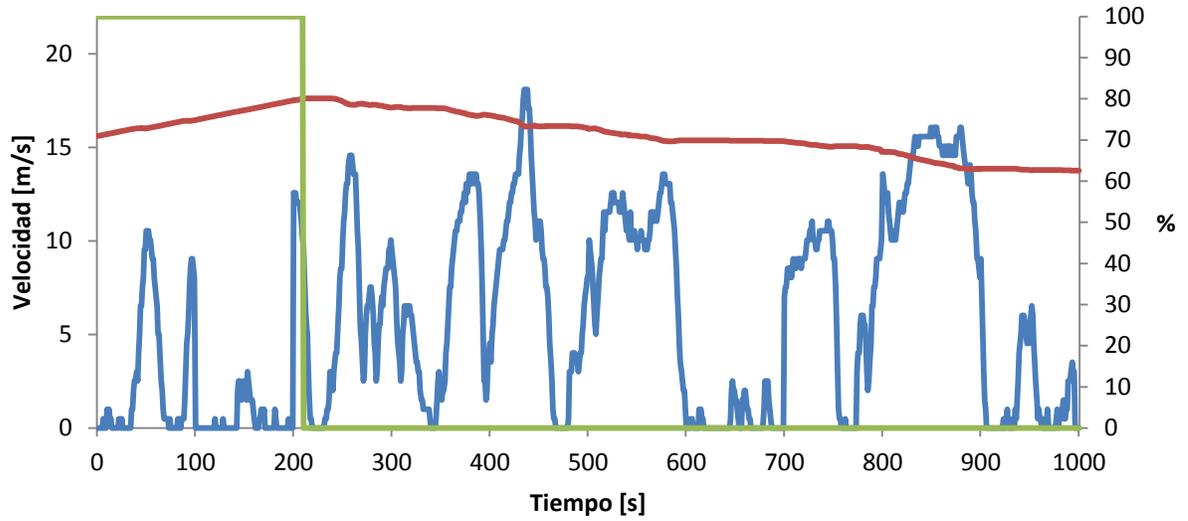


Figura A.3.197. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

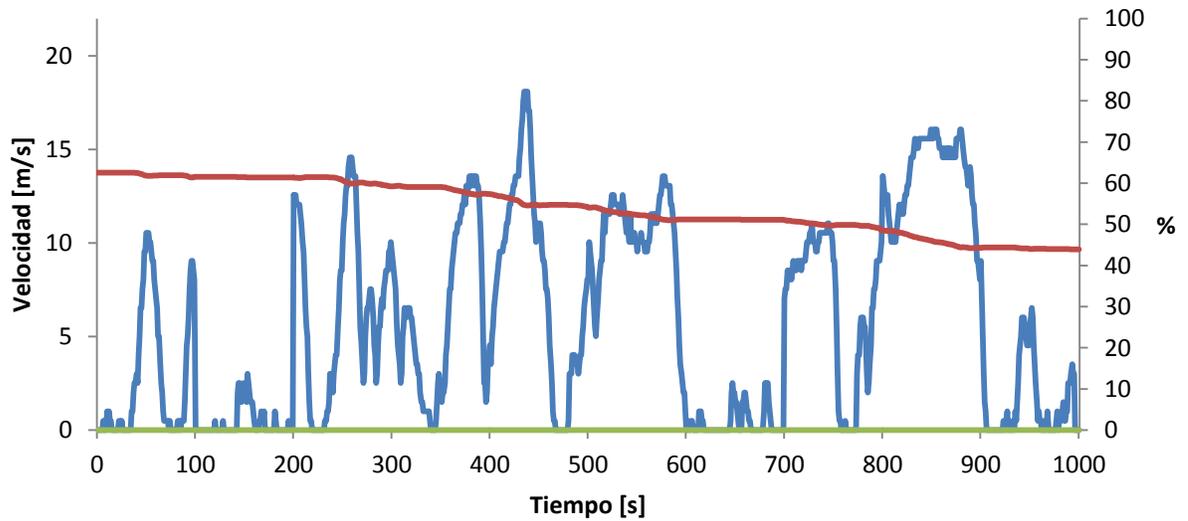


Figura A.3.198. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

3.2.3.2.3.-Ciclo II partiendo de un estado de carga inicial de 20%

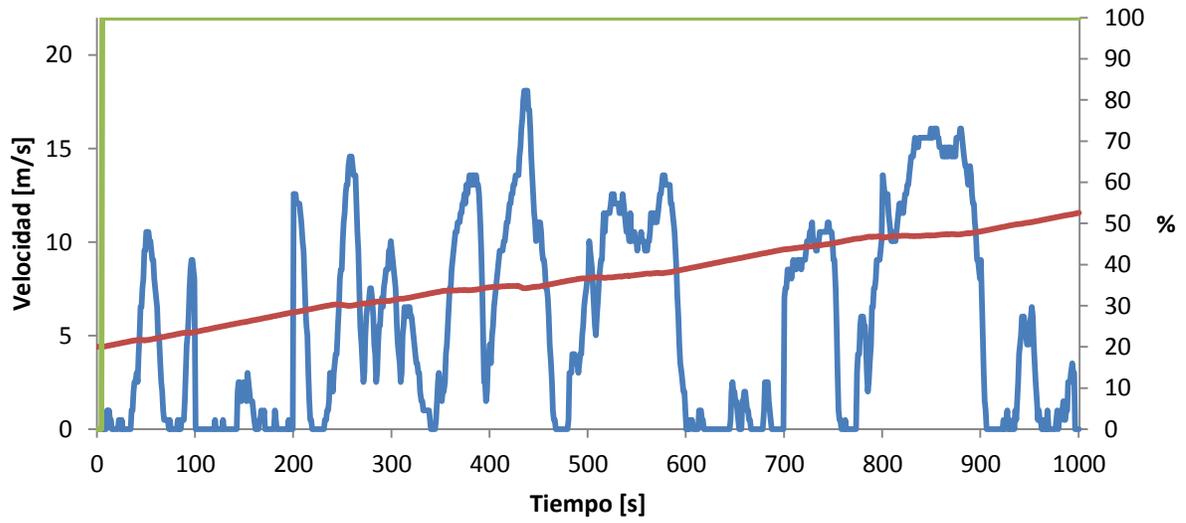


Figura A.3.199. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

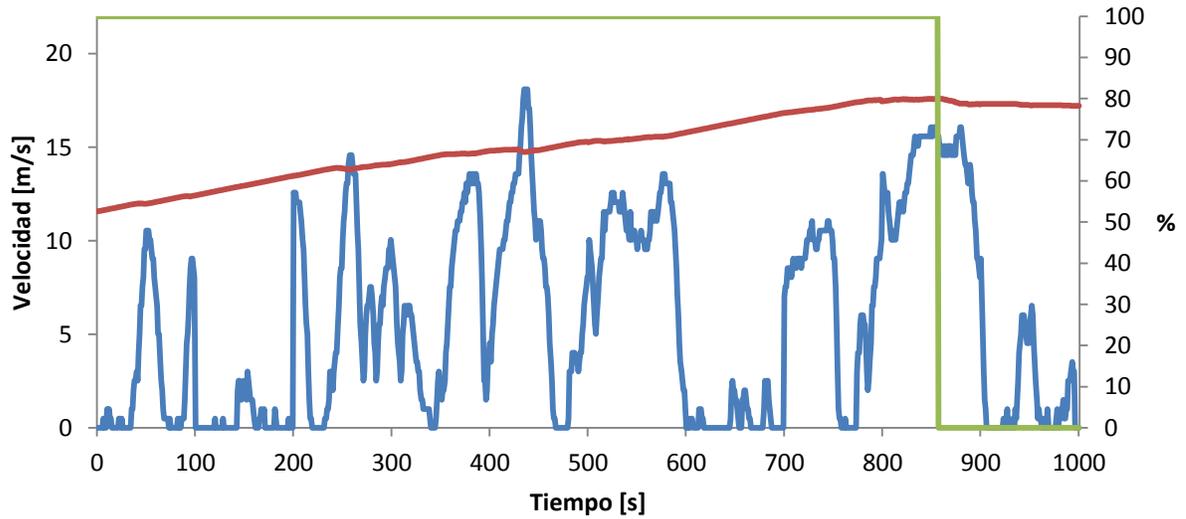


Figura A.3.200. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

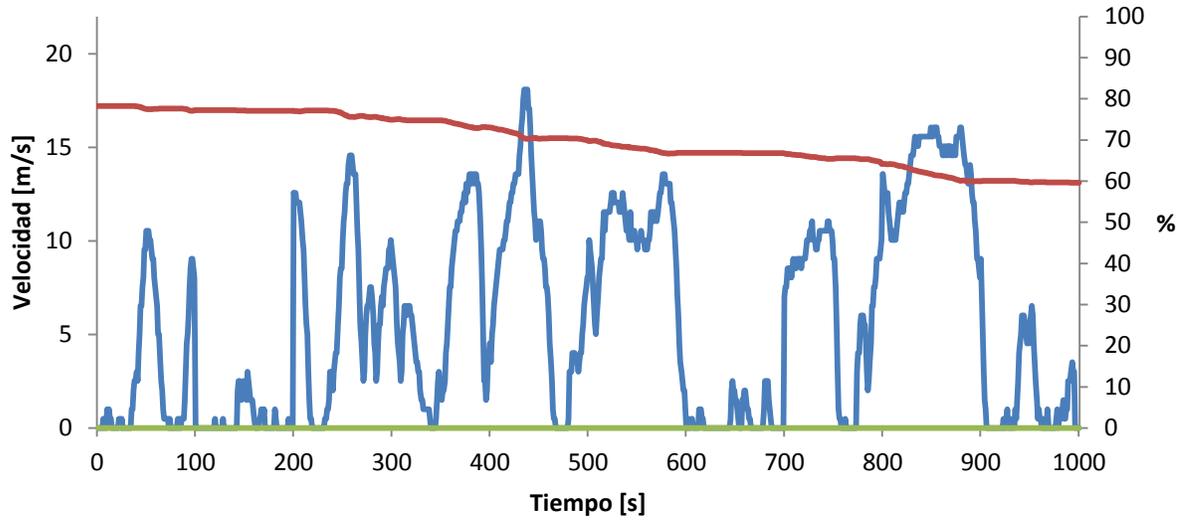


Figura A.3.201. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

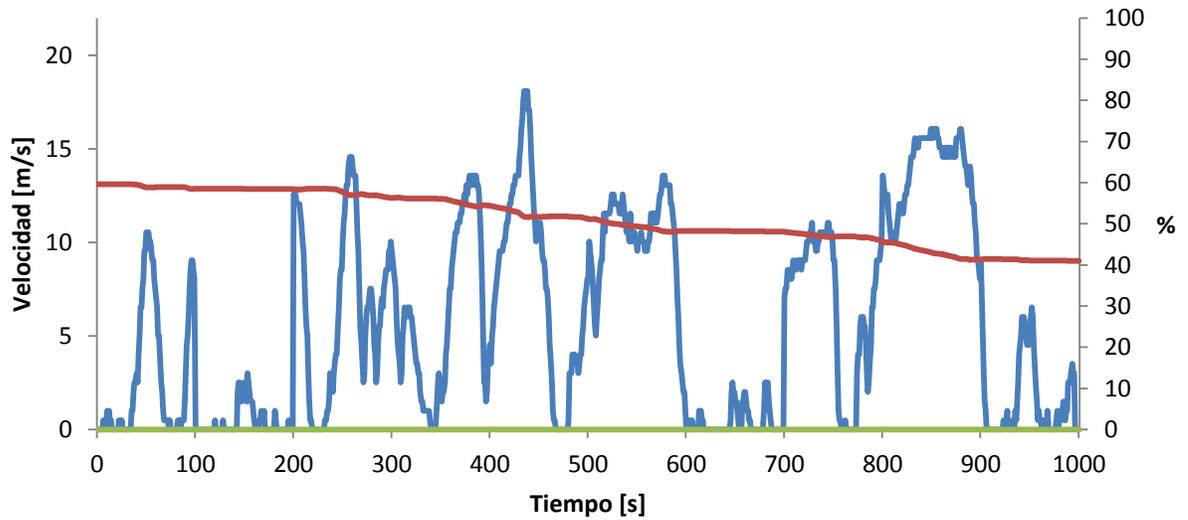


Figura A.3.202. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

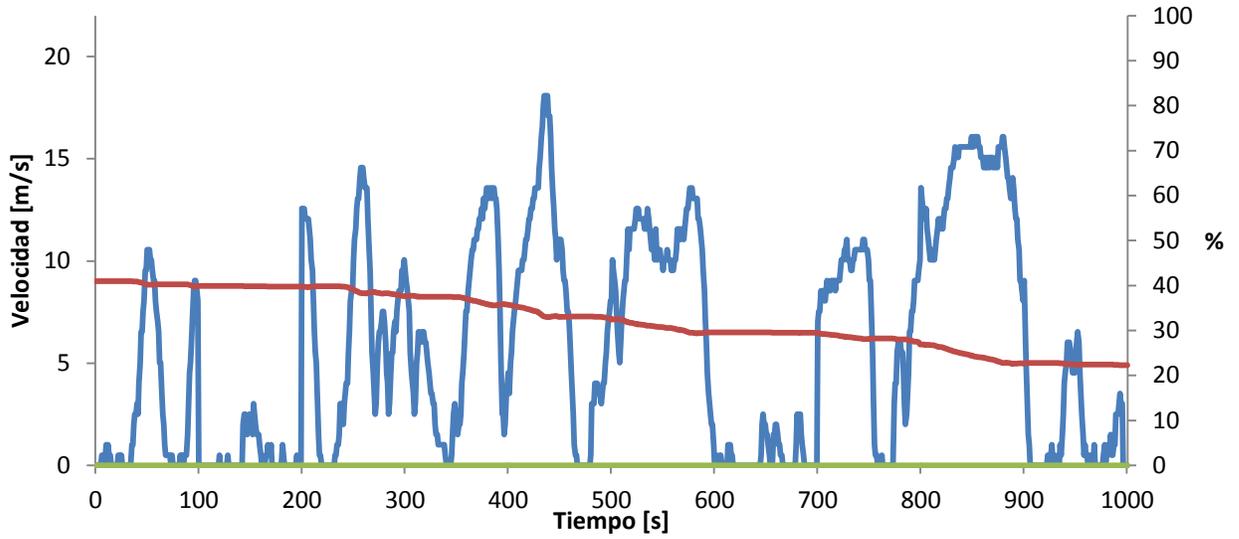


Figura A.3.203. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

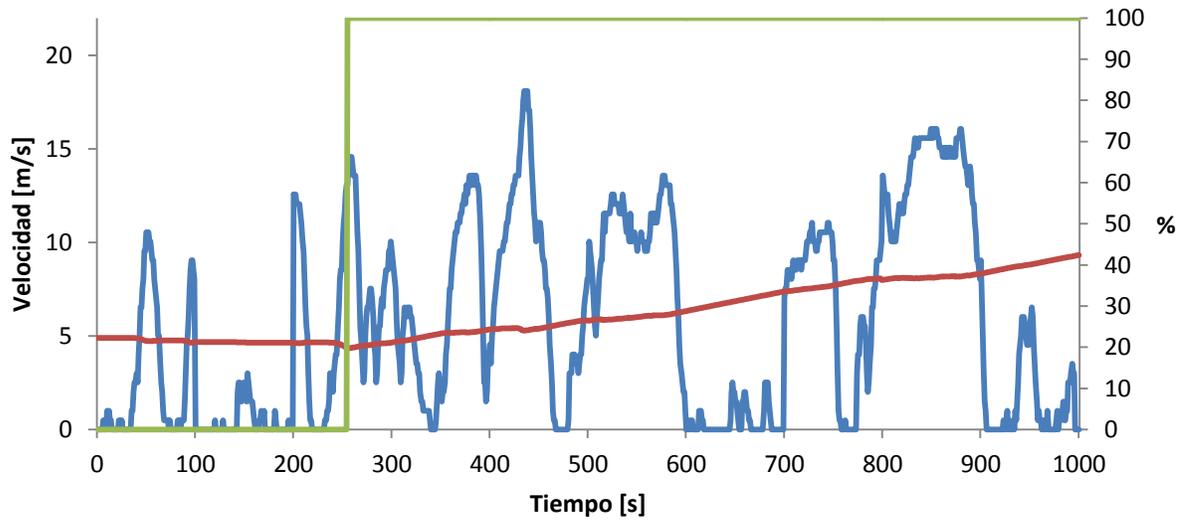


Figura A.3.204. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

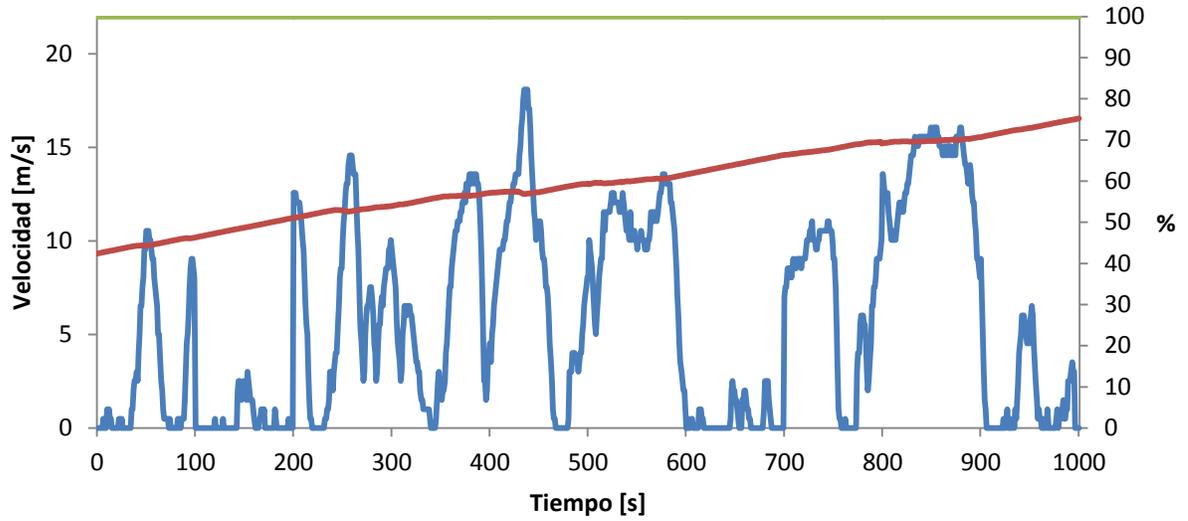


Figura A.3.205. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

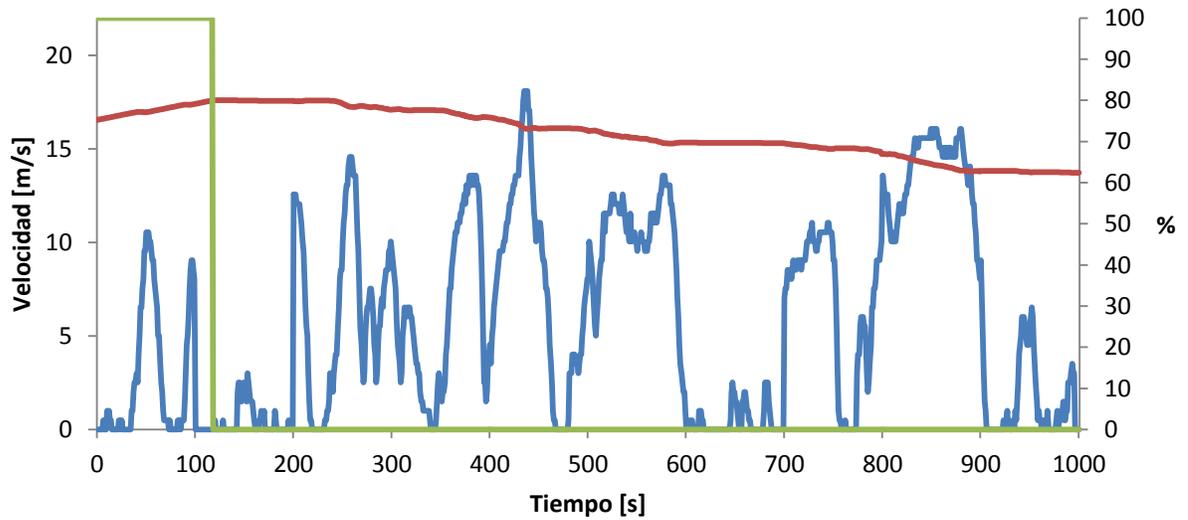


Figura A.3.206. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

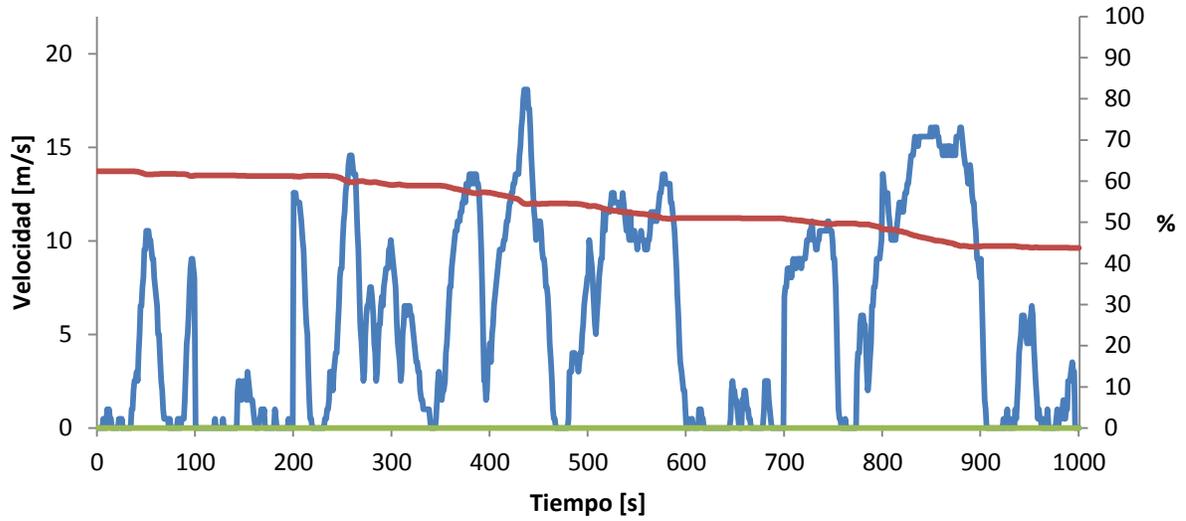


Figura A.3.207. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

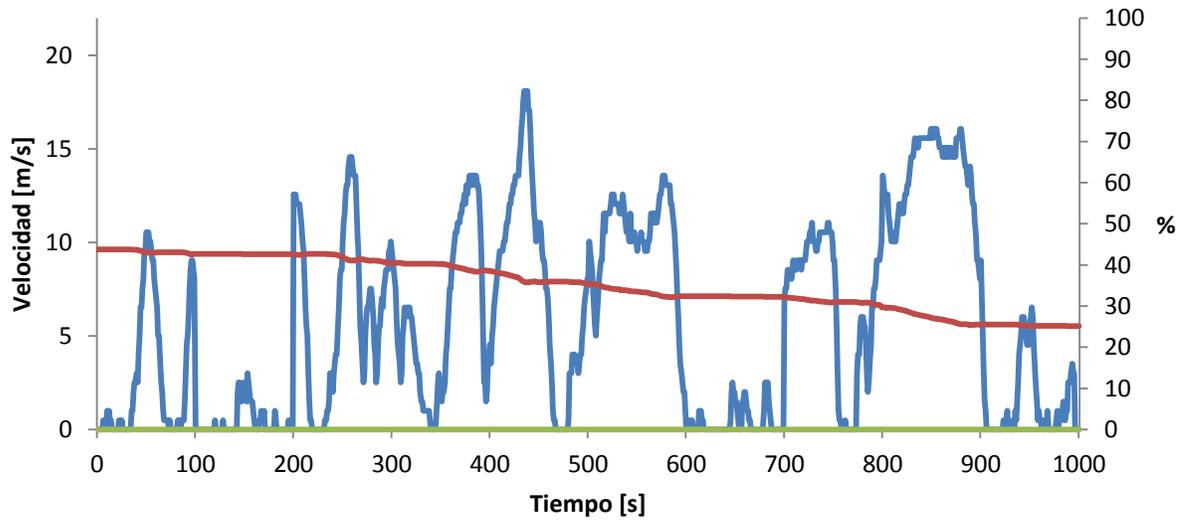


Figura A.3.208. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

3.2.3.3.- Ciclo III

3.2.3.3.1.-Ciclo III partiendo de un estado de carga inicial de 80%

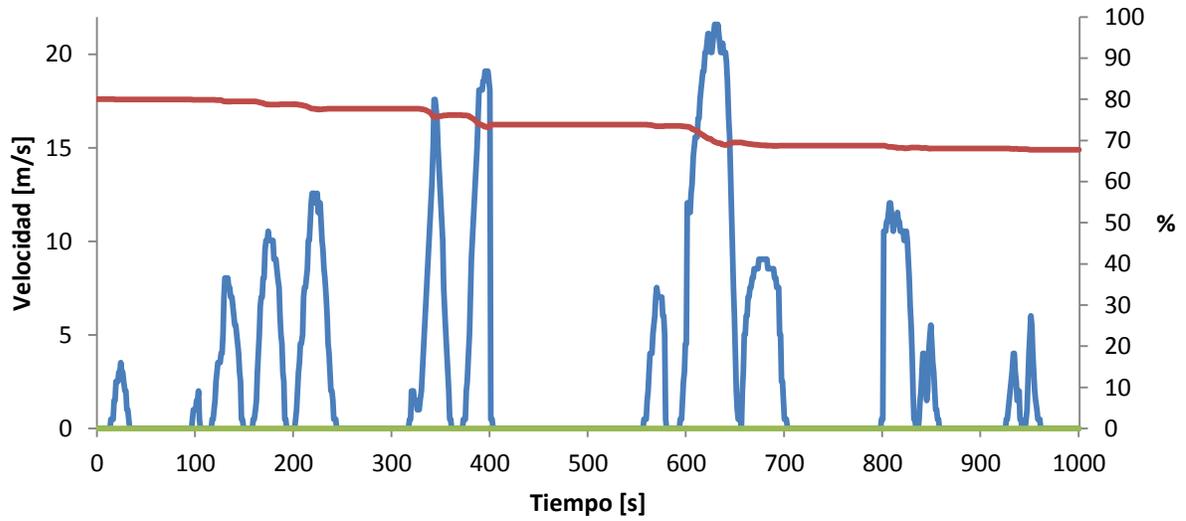


Figura A.3.209. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

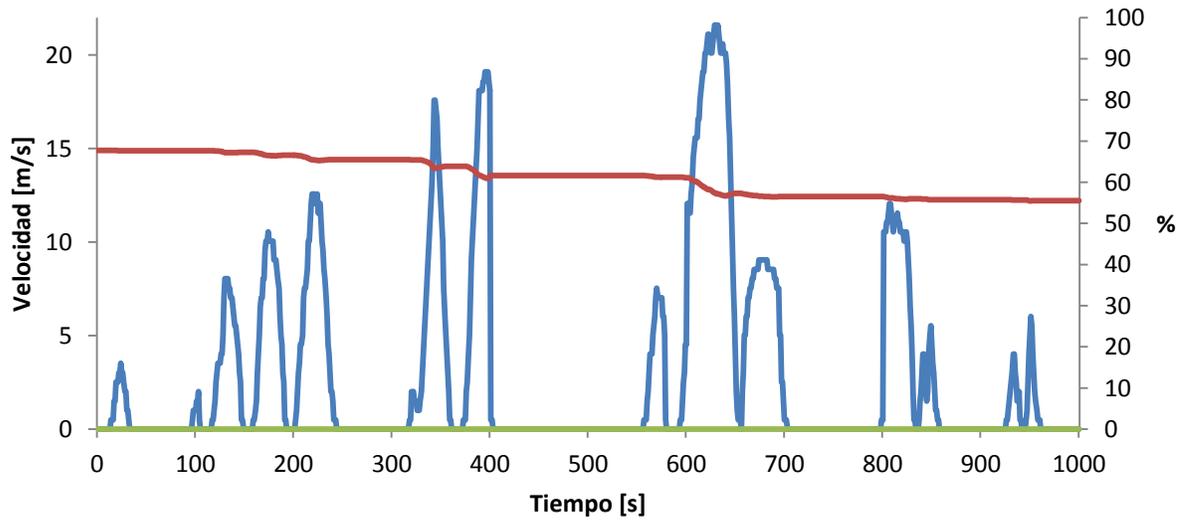


Figura A.3.210. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

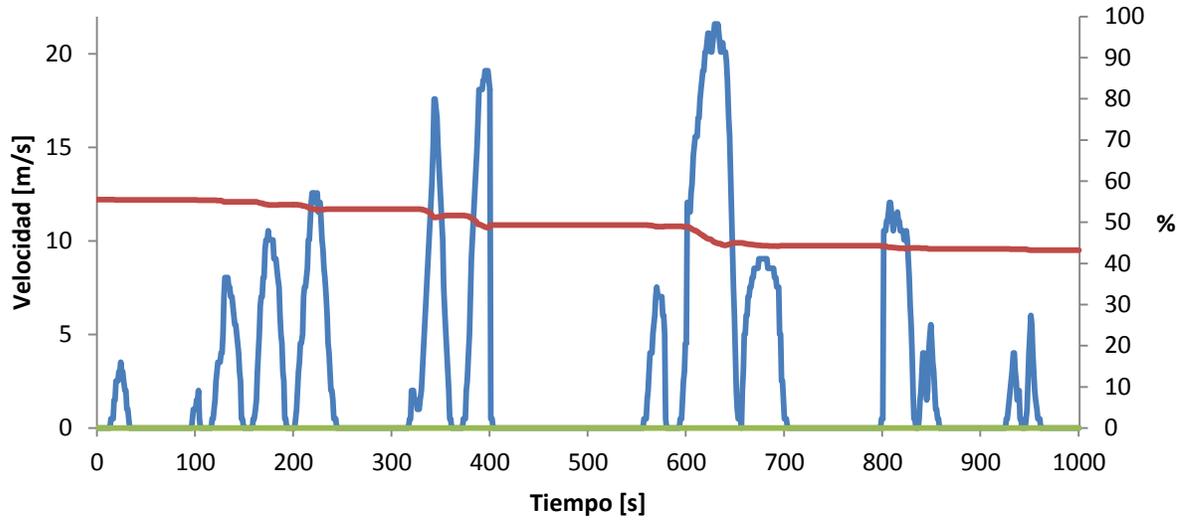


Figura A.3.211. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

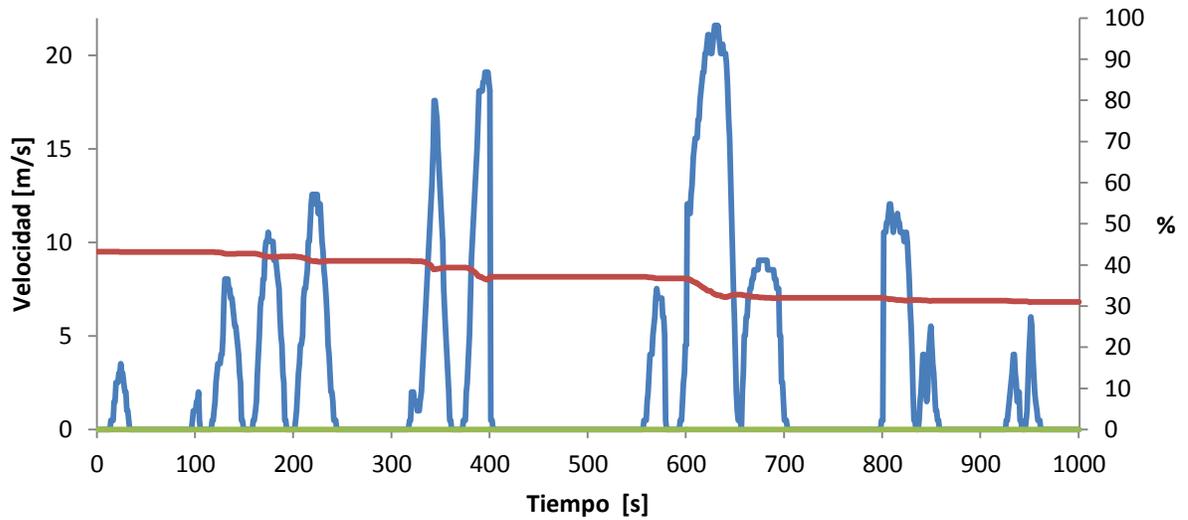


Figura A.3.212. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

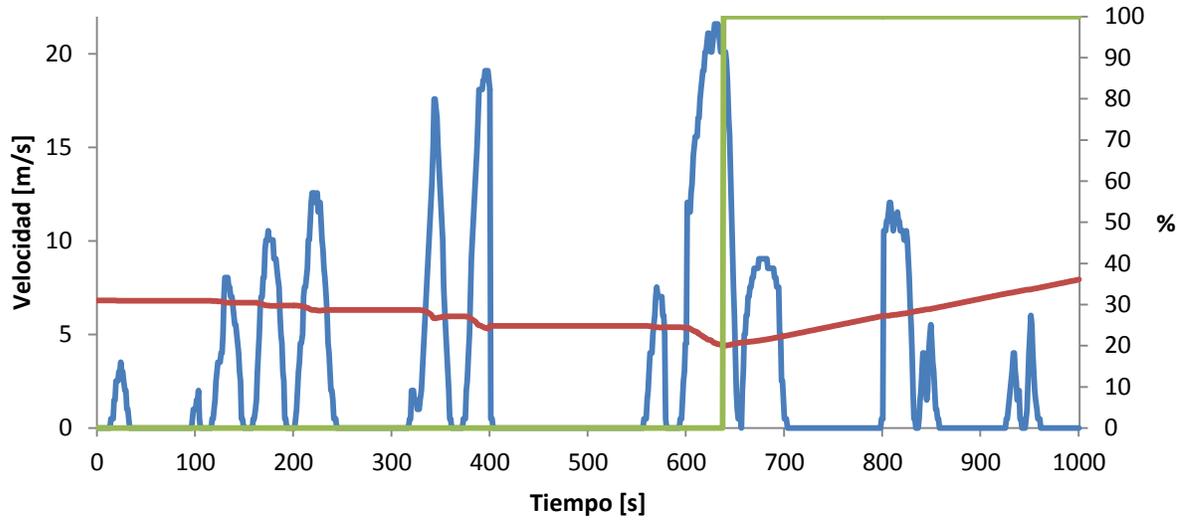


Figura A.3.213. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

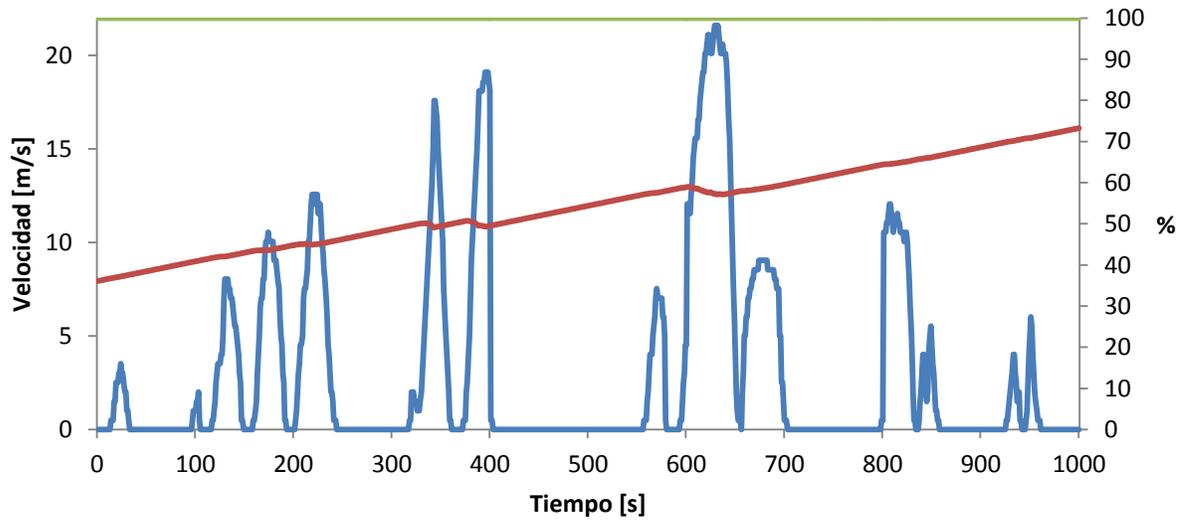


Figura A.3.214. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

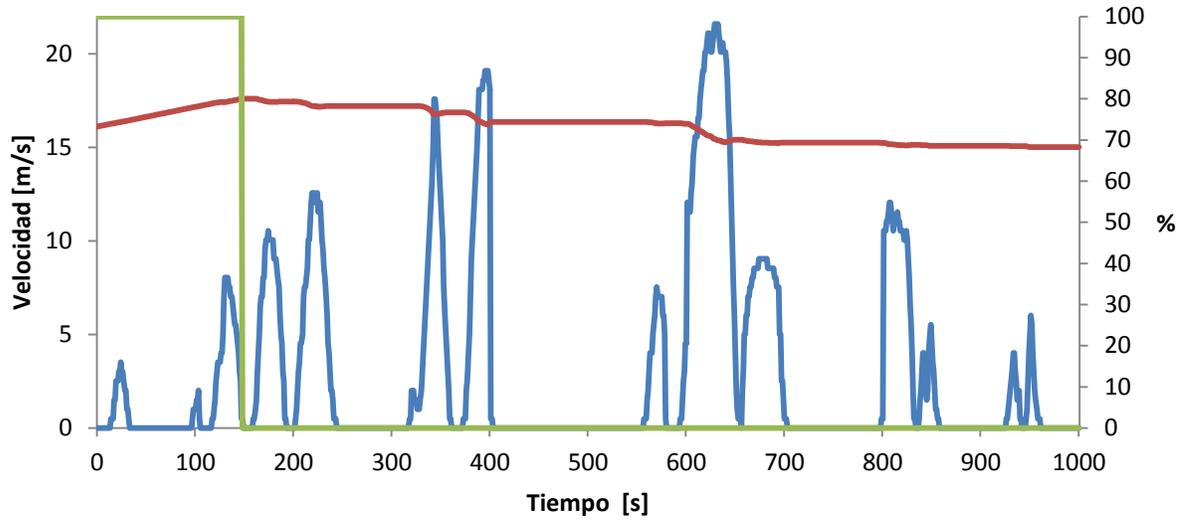


Figura A.3.215. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

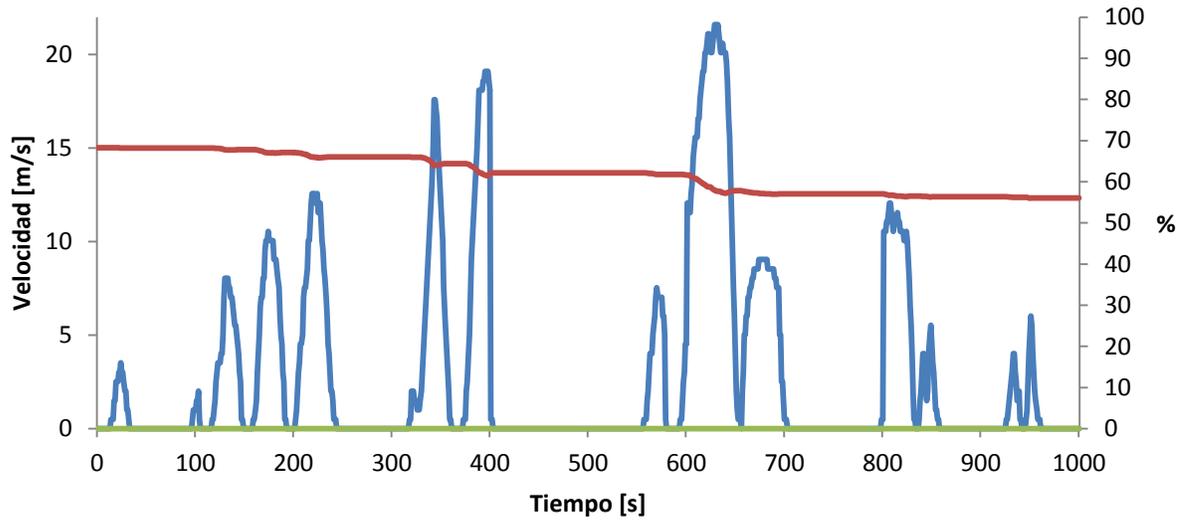


Figura A.3.216. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

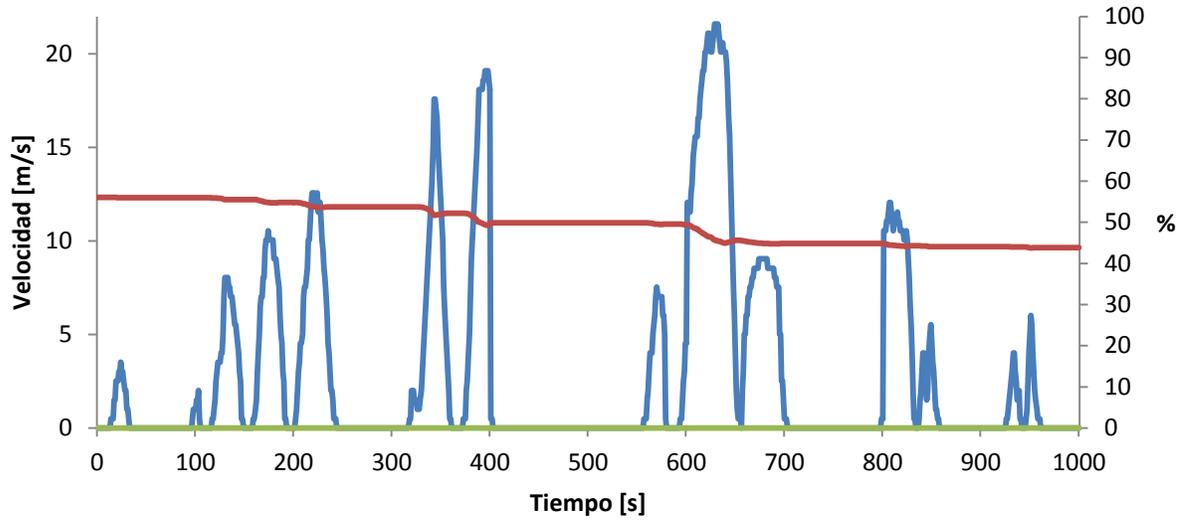


Figura A.3.217. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

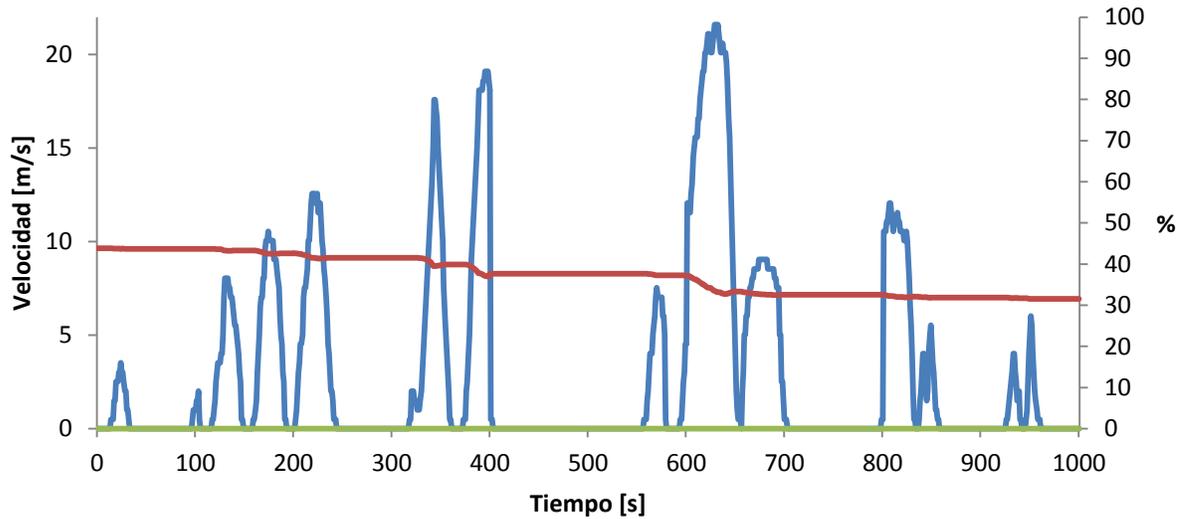


Figura A.3.218. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

3.2.3.3.2.-Ciclo III partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

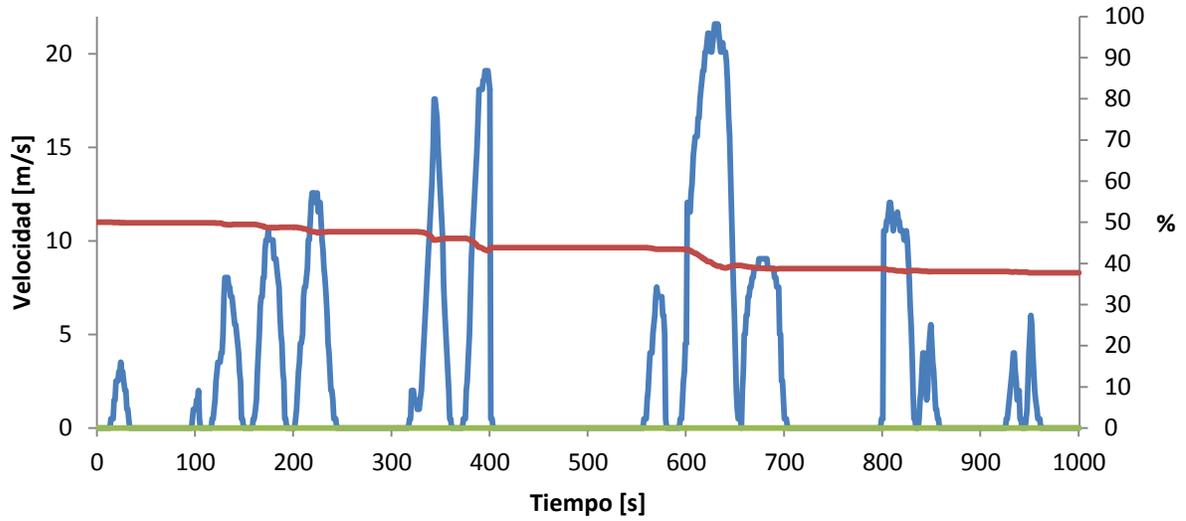


Figura A.3.219. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

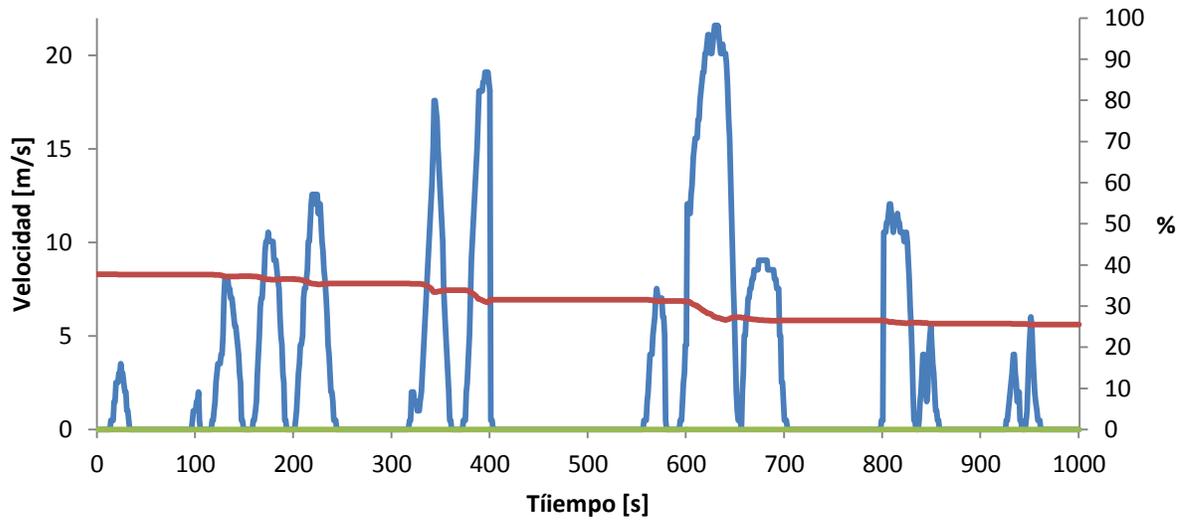


Figura A.3.220. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

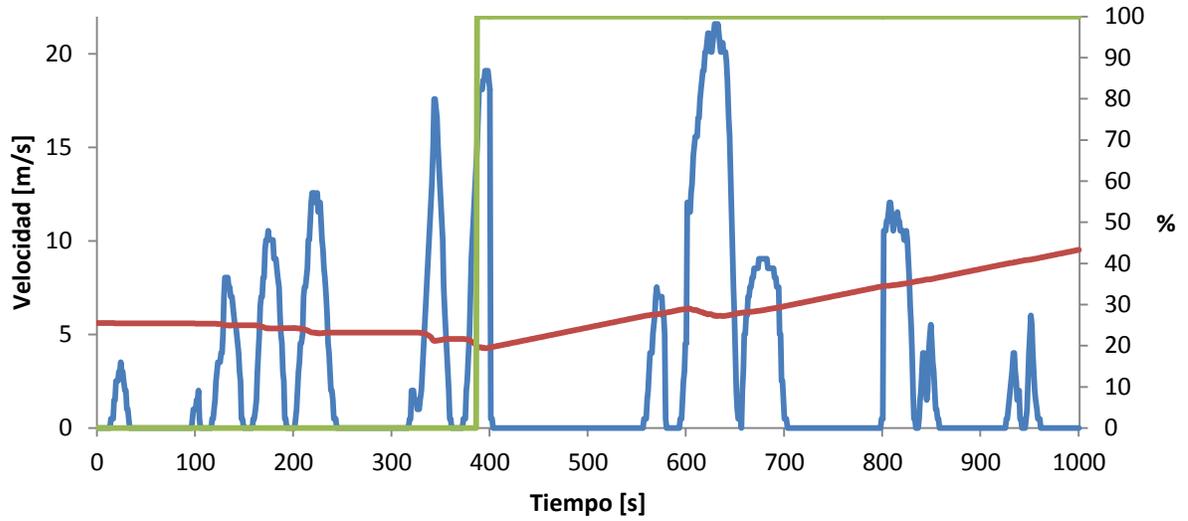


Figura A.3.221. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

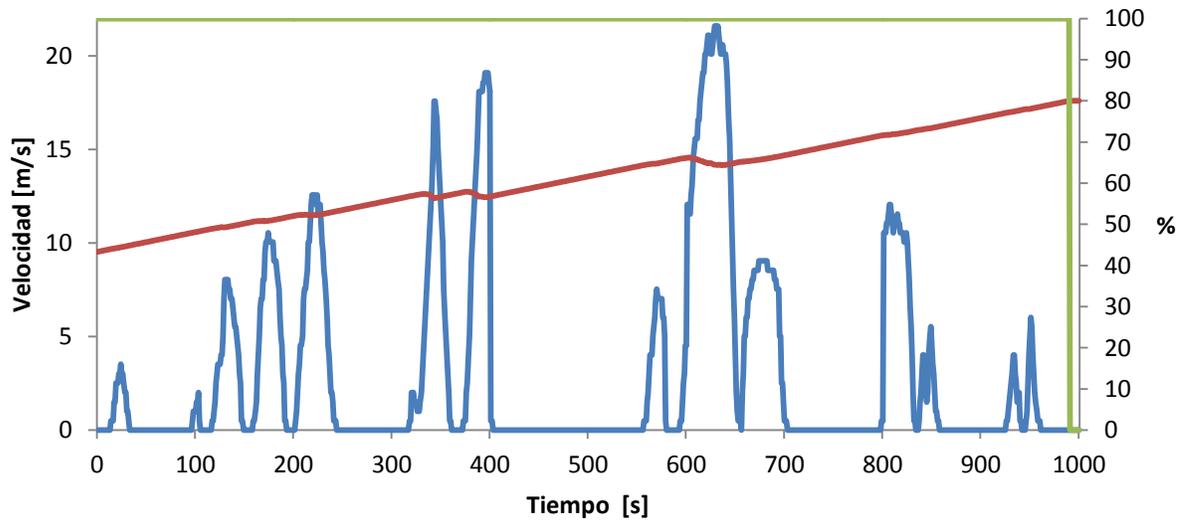


Figura A.3.222. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

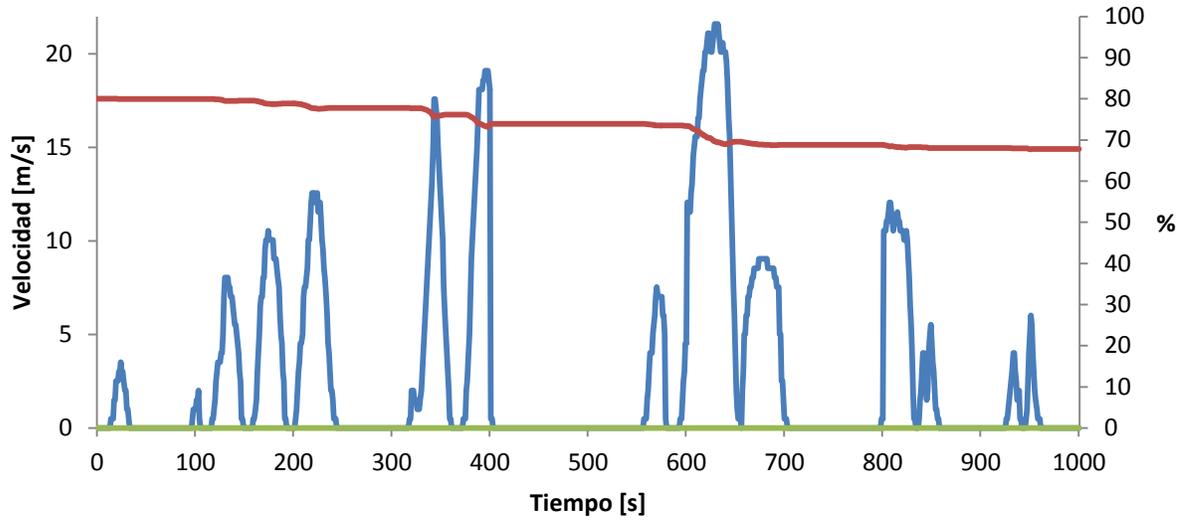


Figura A.3.223. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

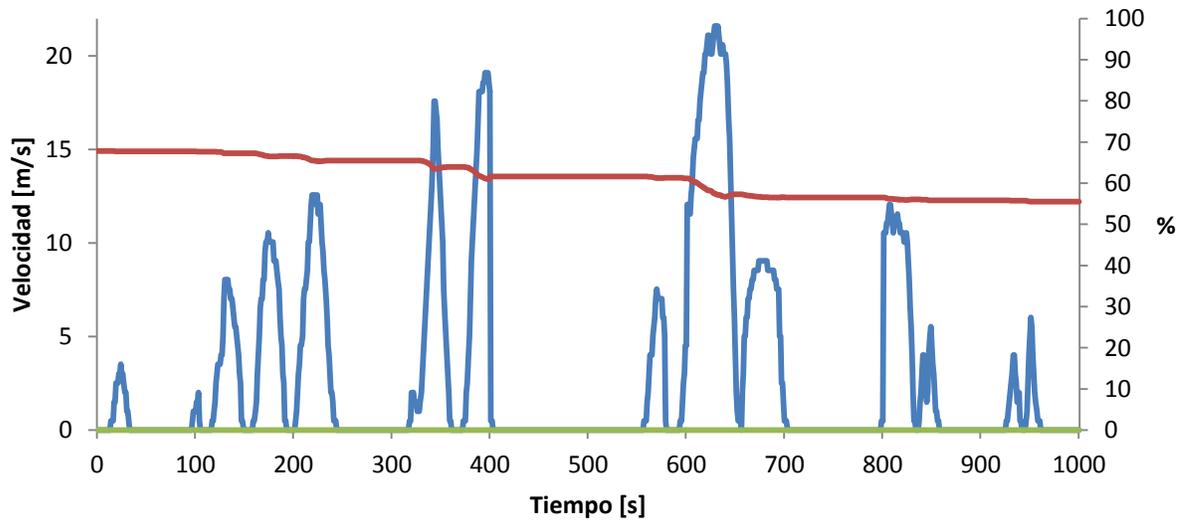


Figura A.3.224. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

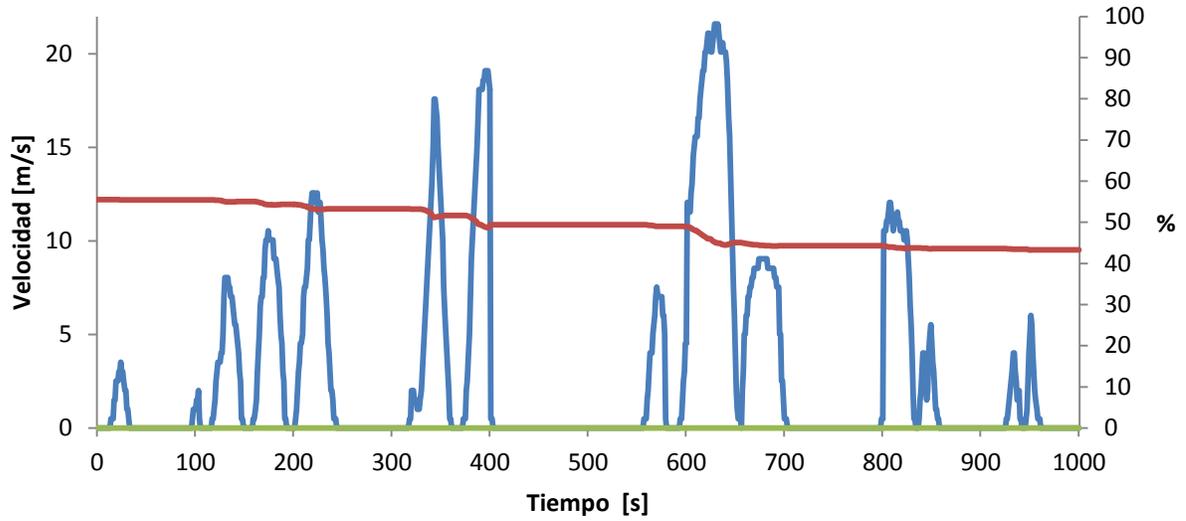


Figura A.3.225. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

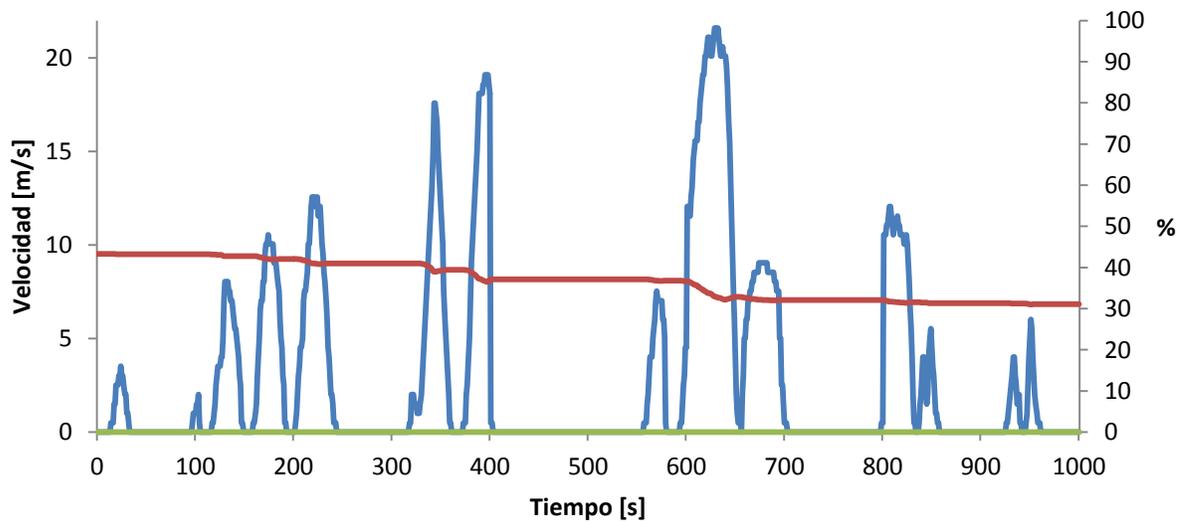


Figura A.3.226. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

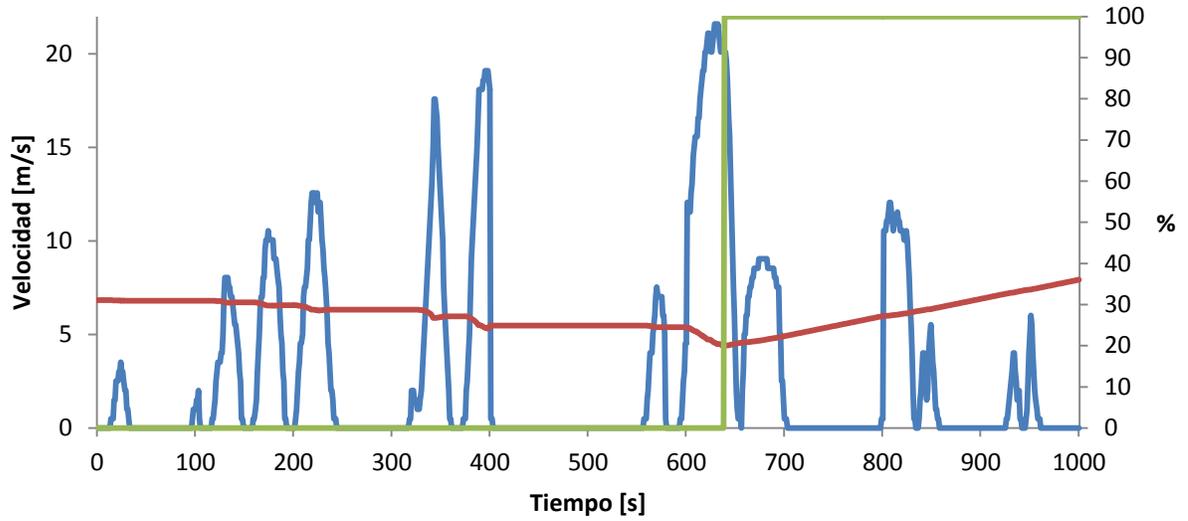


Figura A.3.227. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

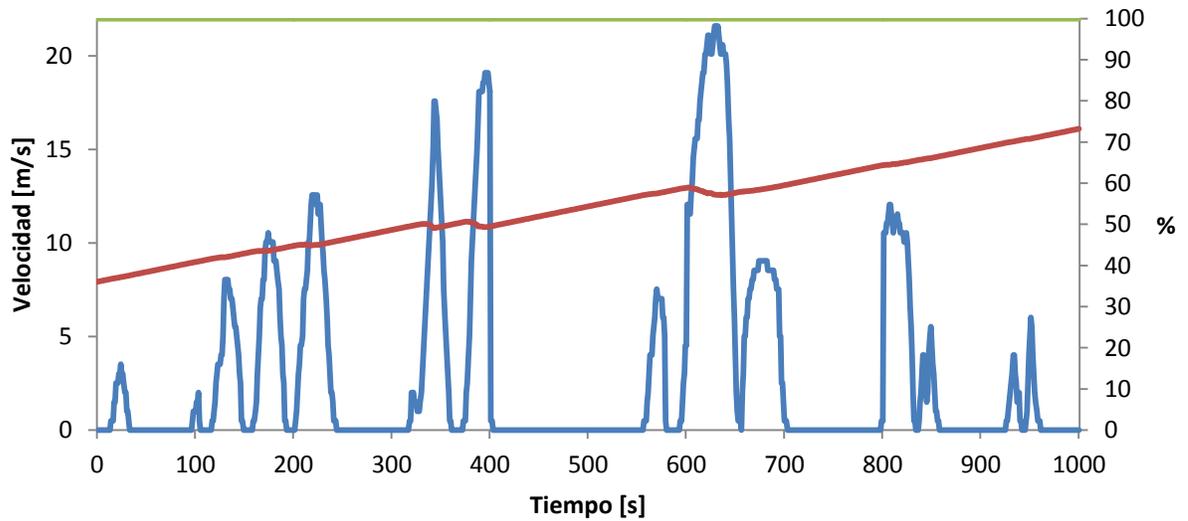


Figura A.3.228. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

3.2.3.3.3.- Ciclo III partiendo de un estado de carga inicial de 20%

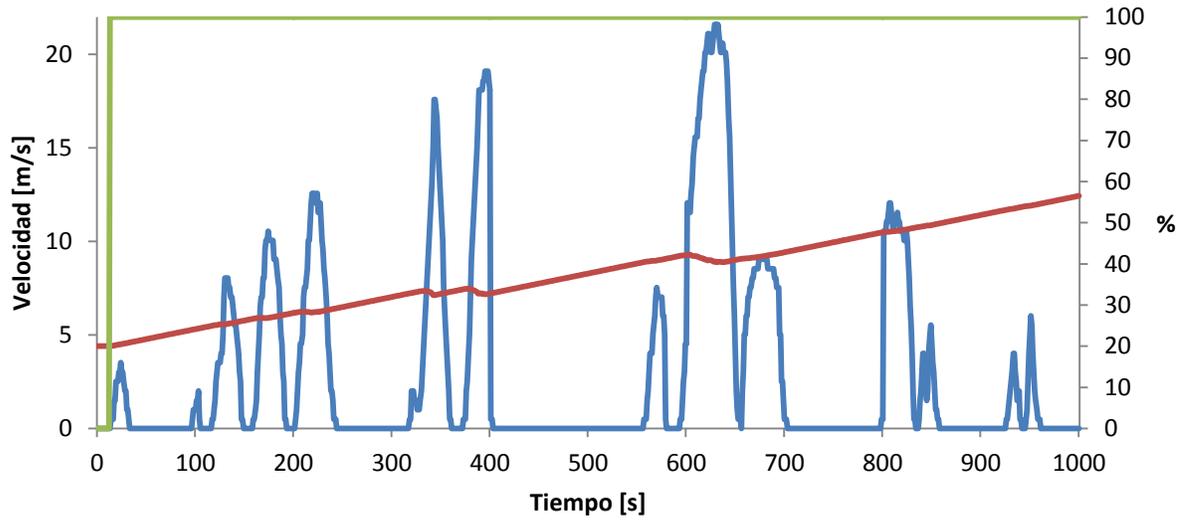


Figura A.3.229. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

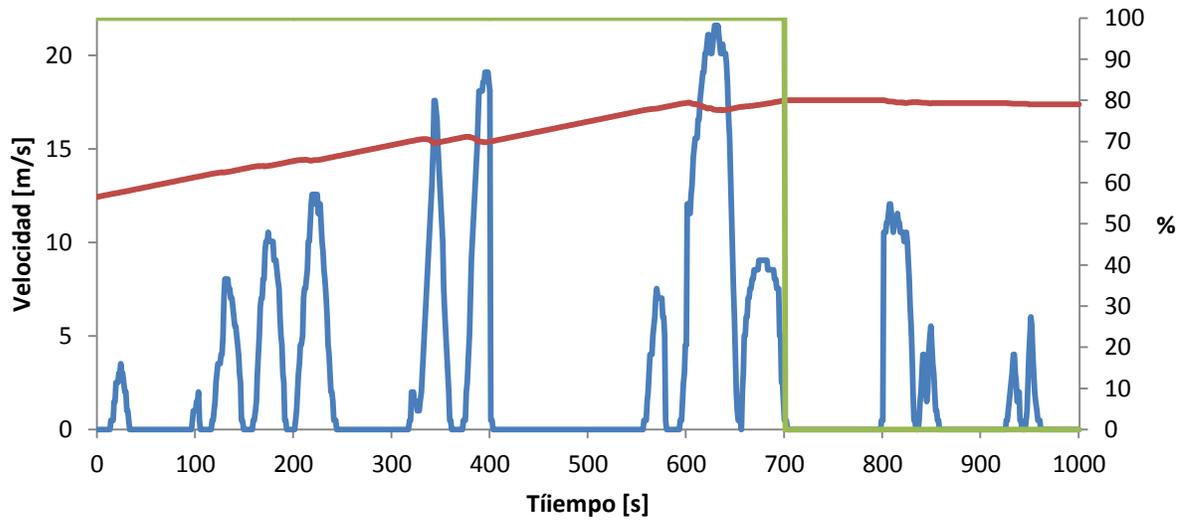


Figura A.3.230. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

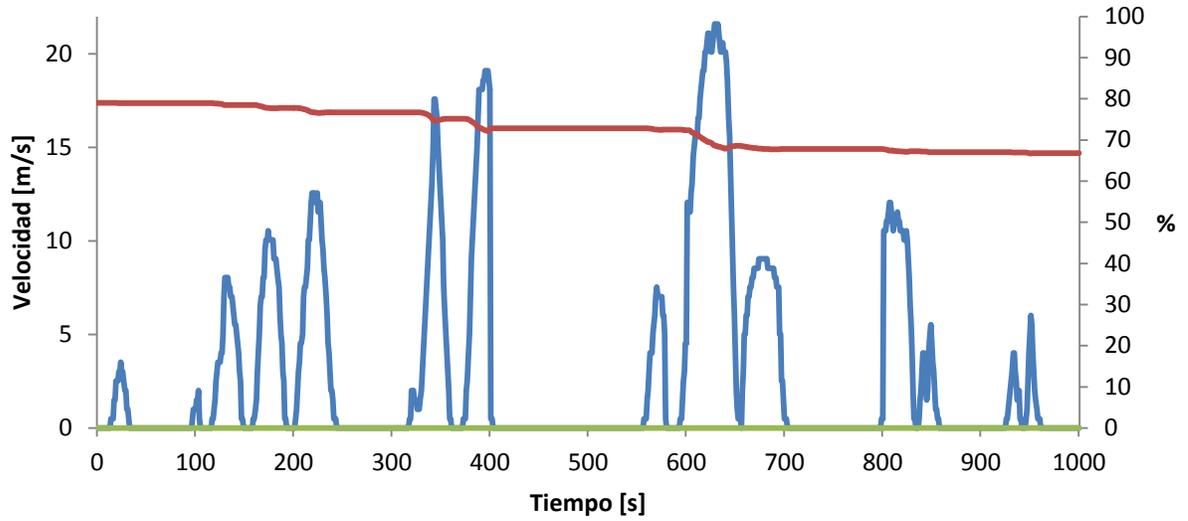


Figura A.3.231. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

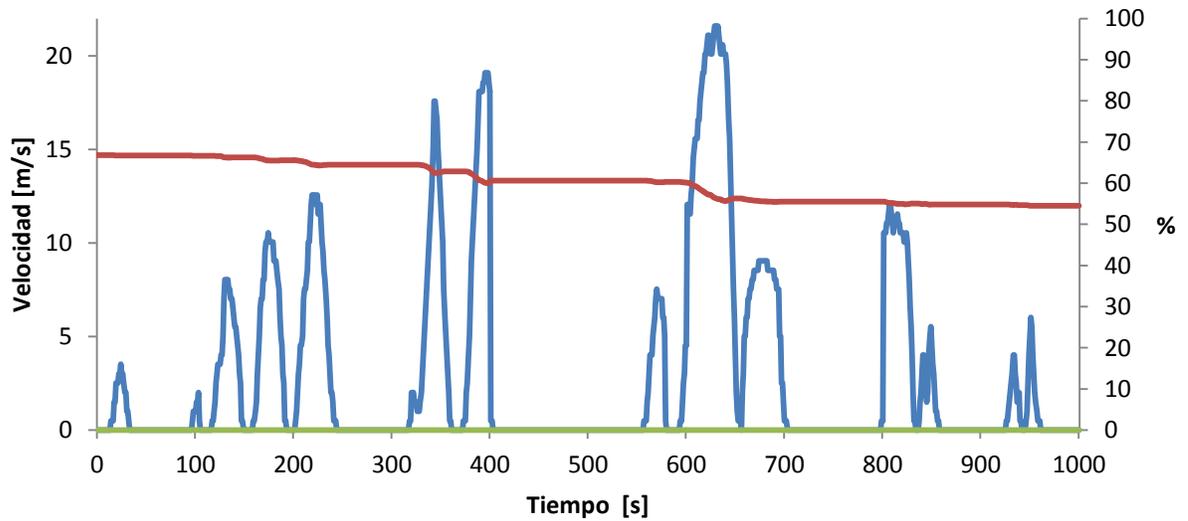


Figura A.3.232. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

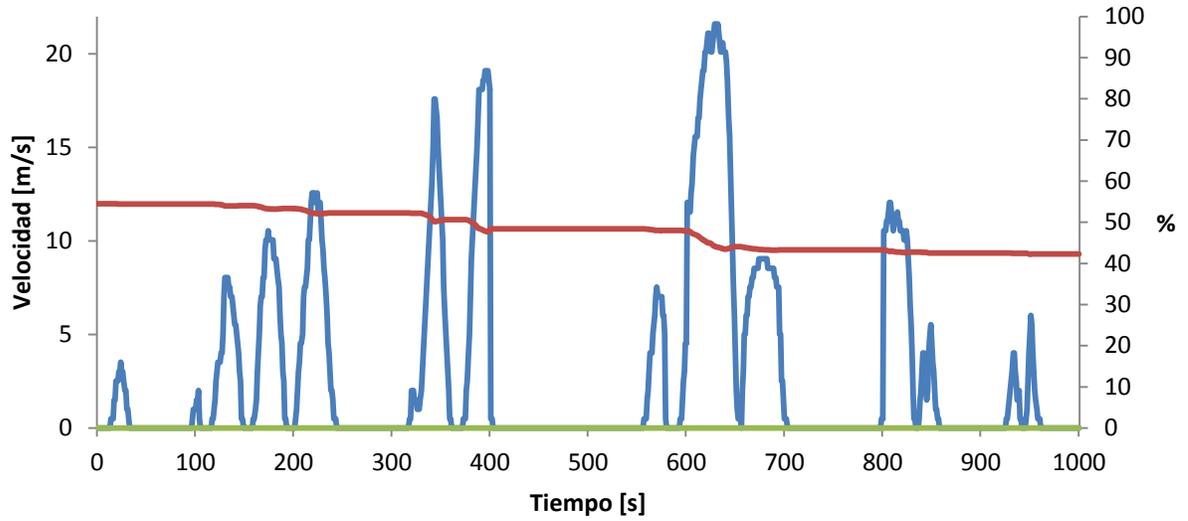


Figura A.3.233. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

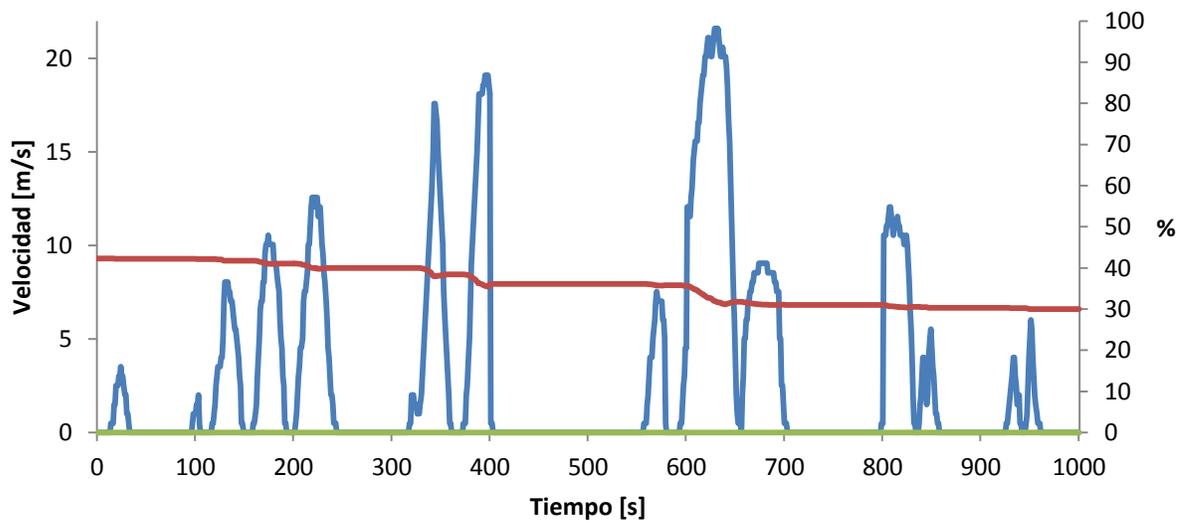


Figura A.3.234. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

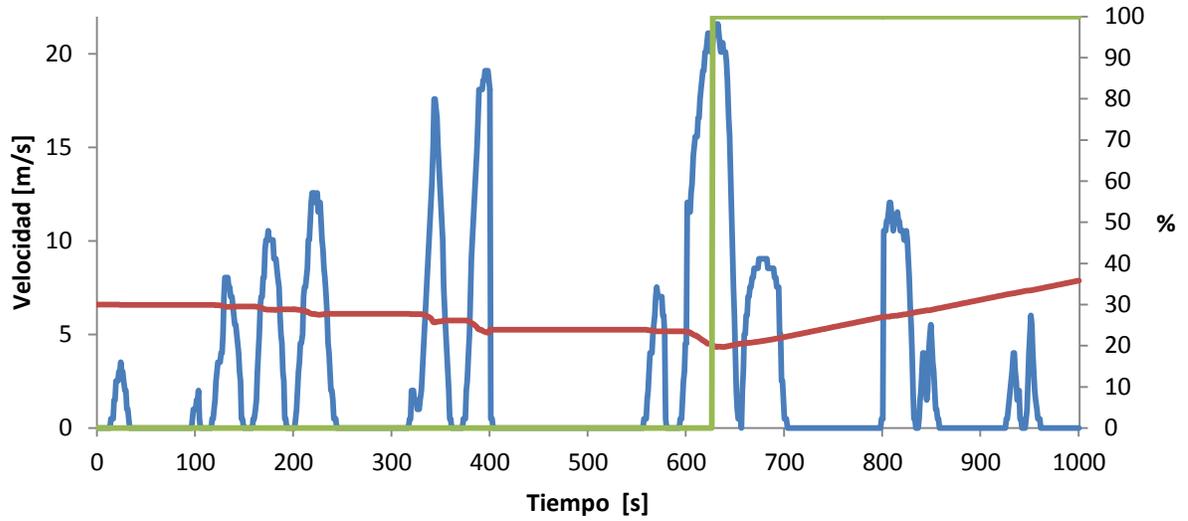


Figura A.3.235. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

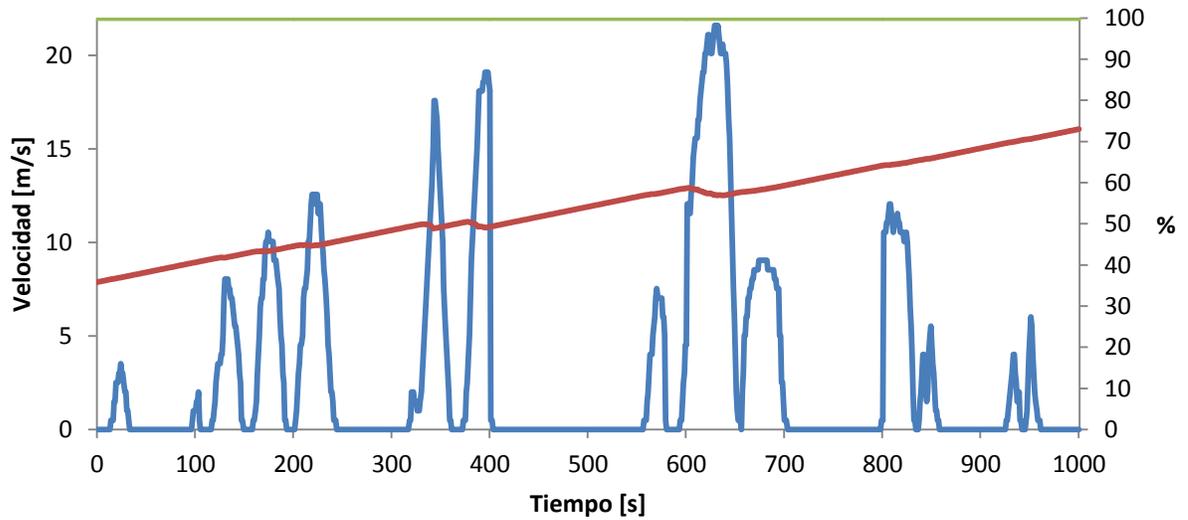


Figura A.3.236. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

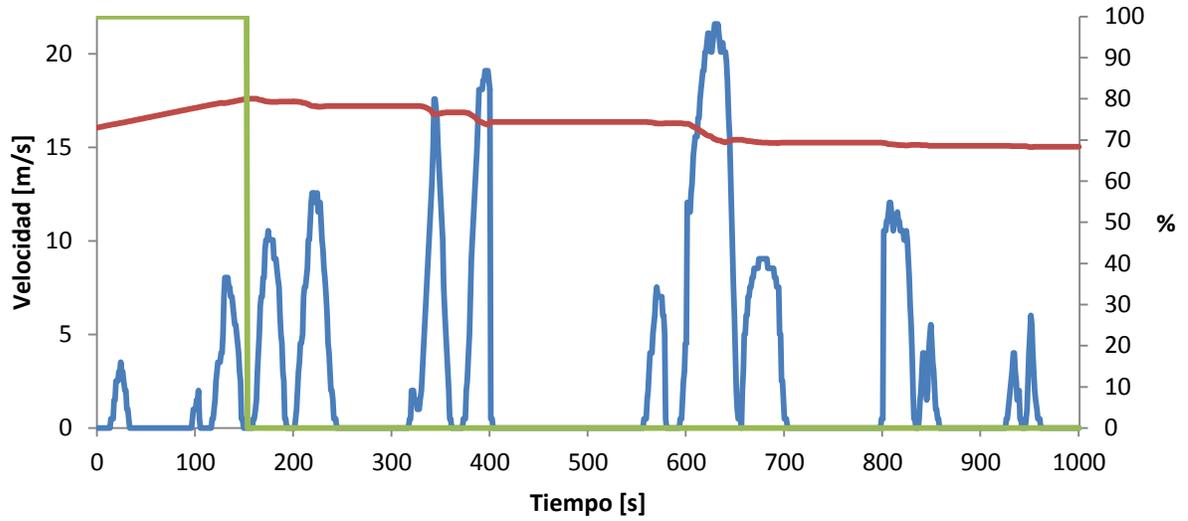


Figura A.3.237. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

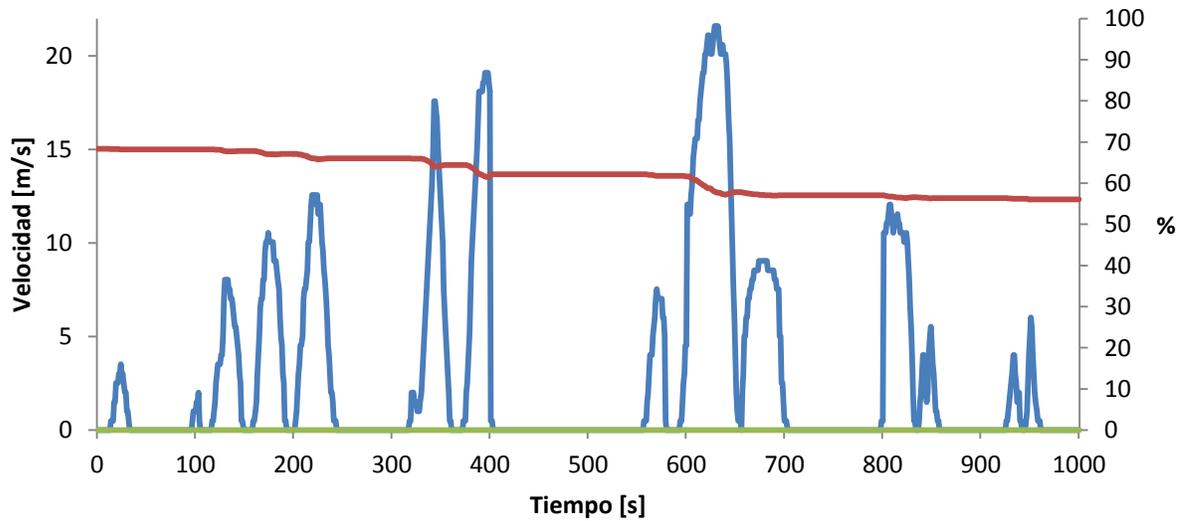


Figura A.3.238. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

3.2.3.4.- Ciclo IV

3.2.3.4.1.-Ciclo IV partiendo de un estado de carga inicial de 80%

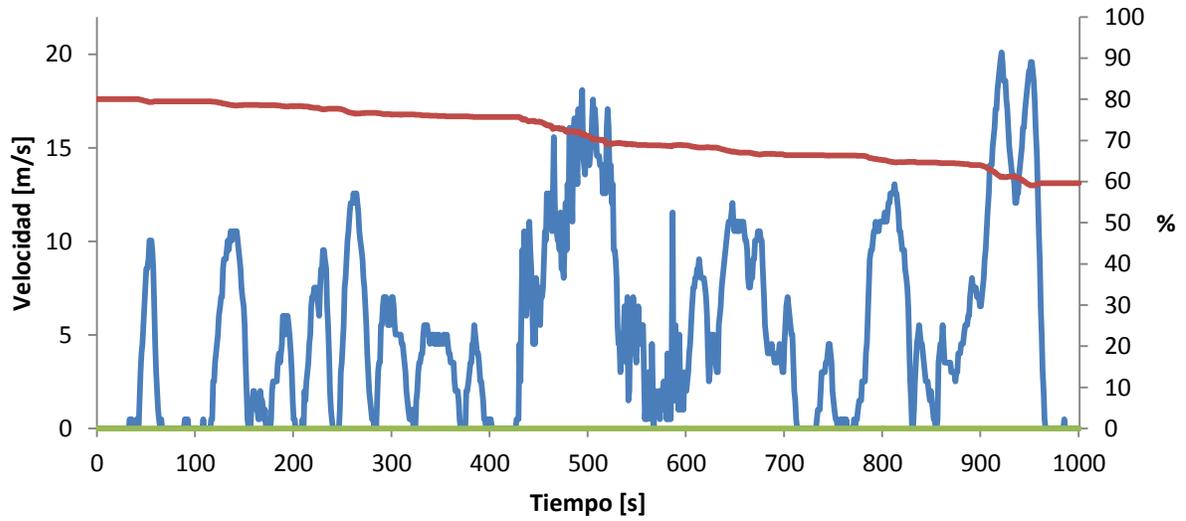


Figura A.3.239. - Ciclo IV, estados de carga y del MCR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

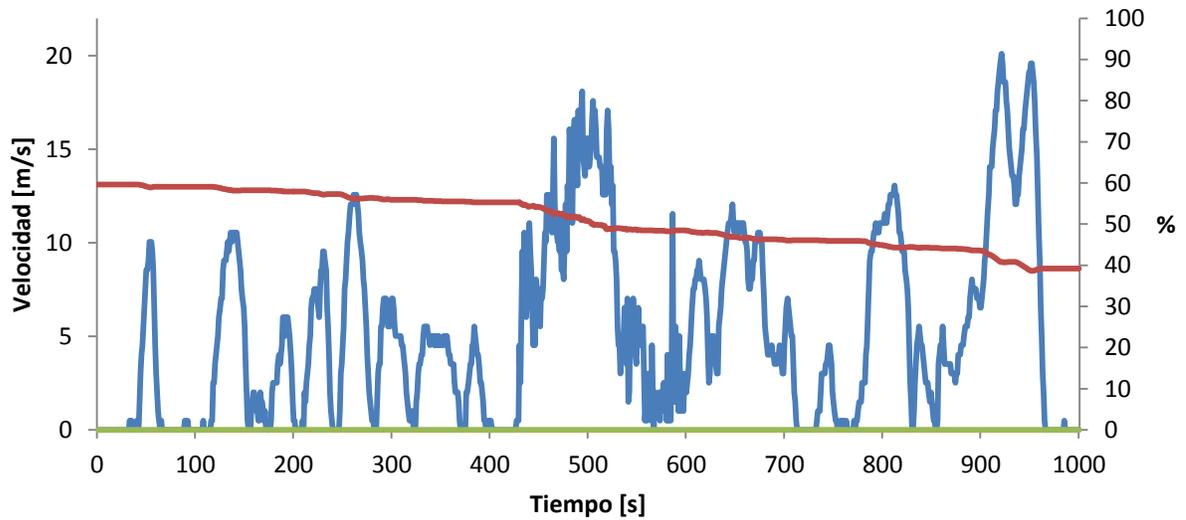


Figura A.3.240. - Ciclo IV, estados de carga y del MCR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

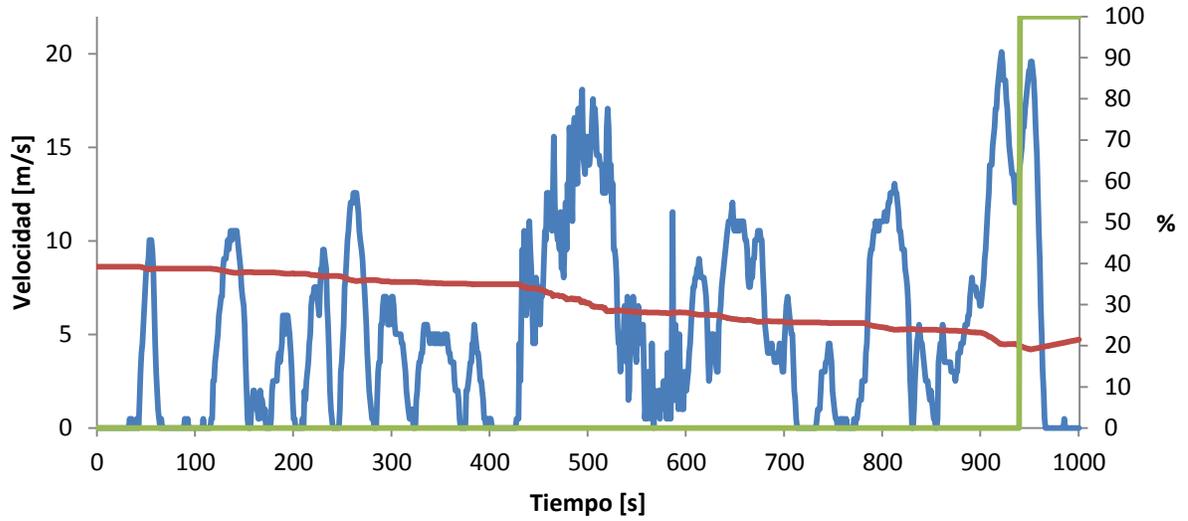


Figura A.3.241. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

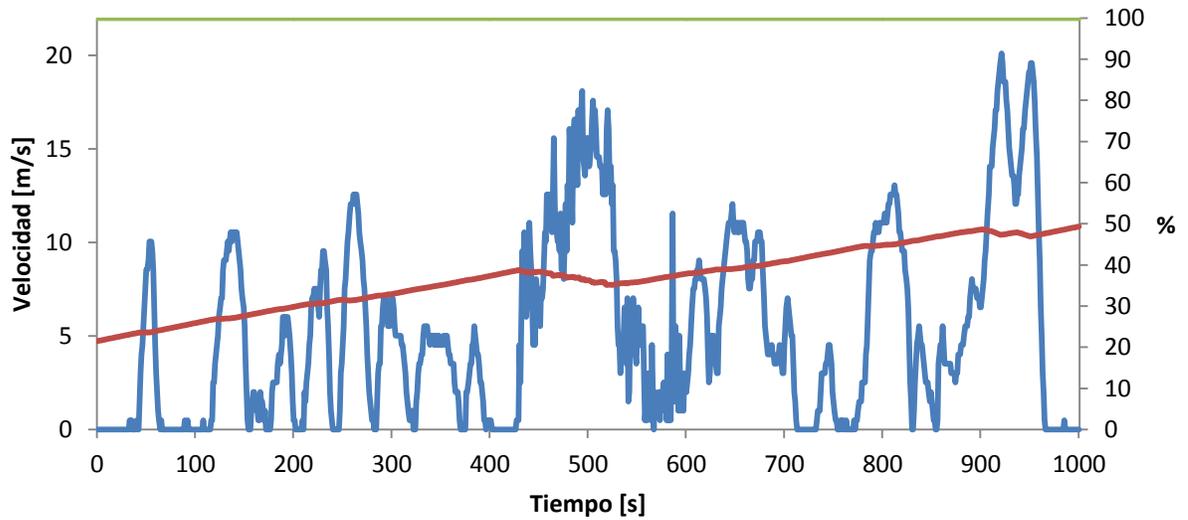


Figura A.3.242. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

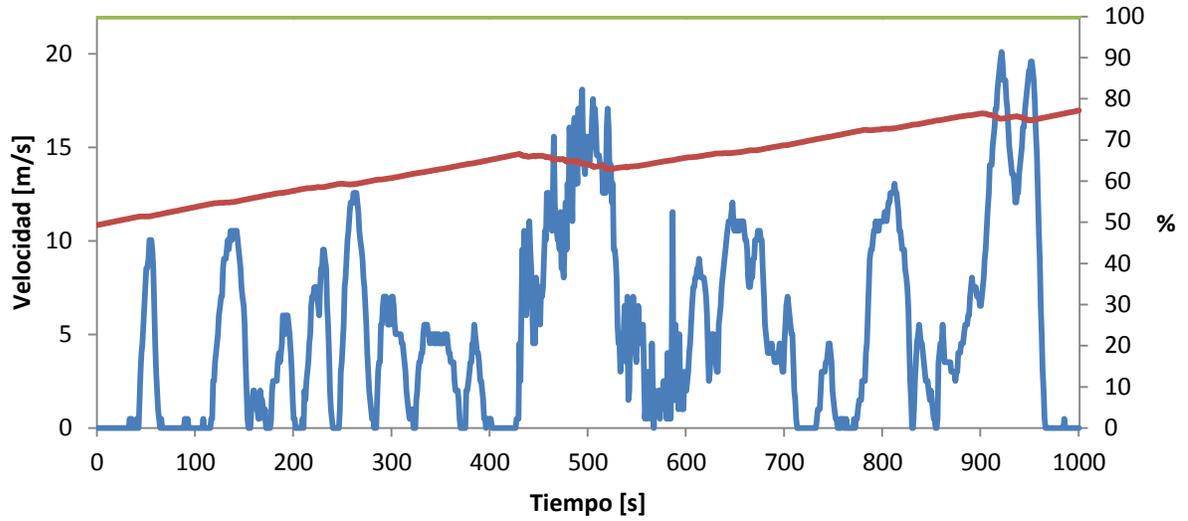


Figura A.3.243. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

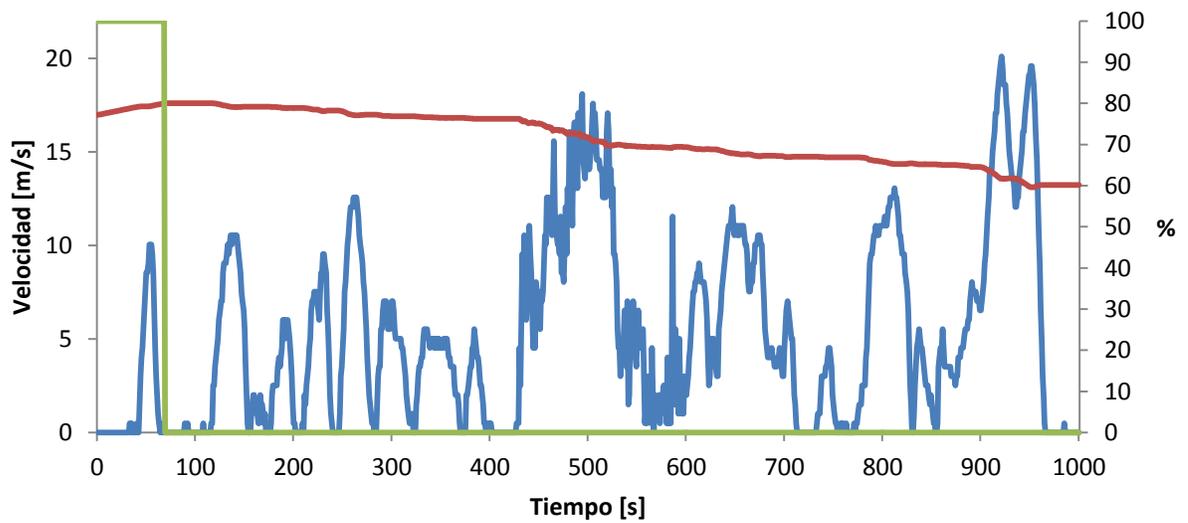


Figura A.3.244. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

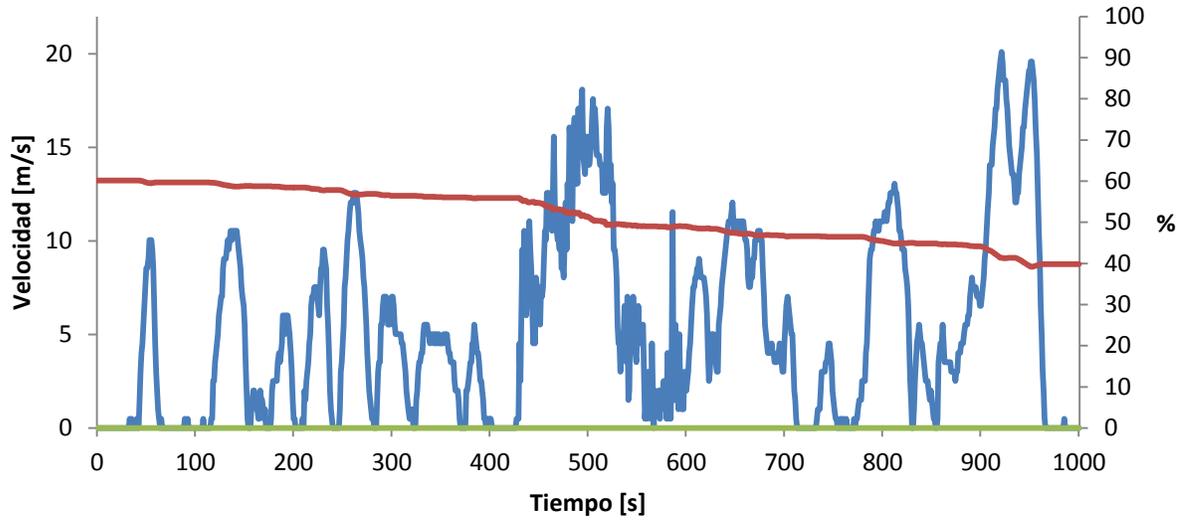


Figura A.3.245. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

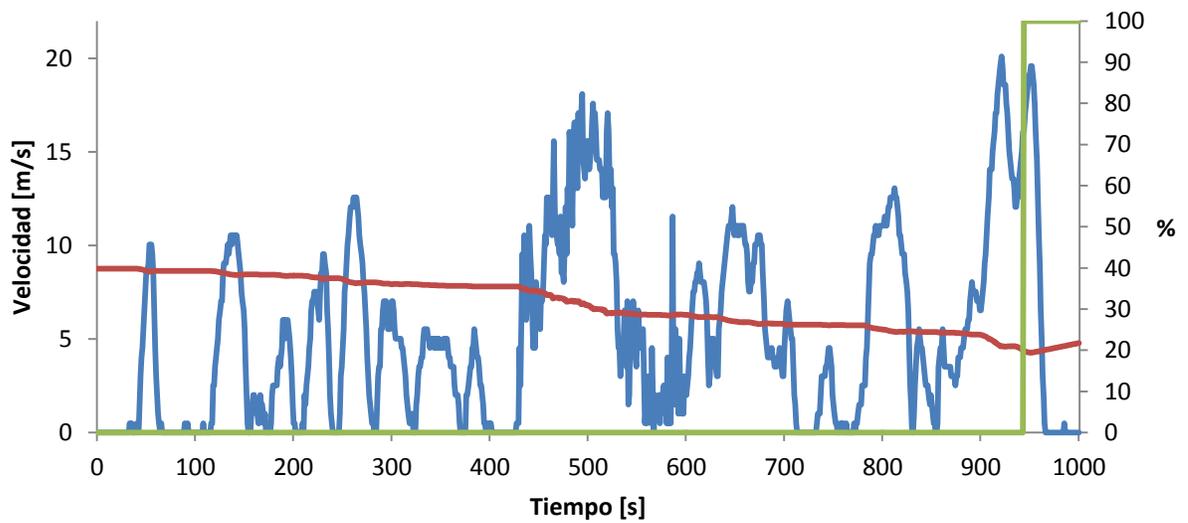


Figura A.3.246. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

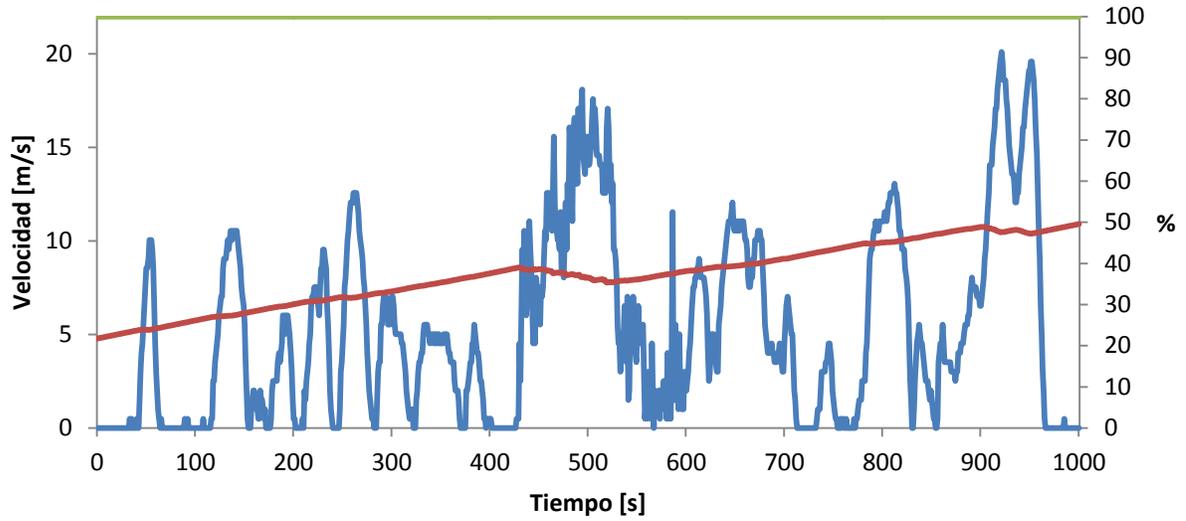


Figura A.3.247. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

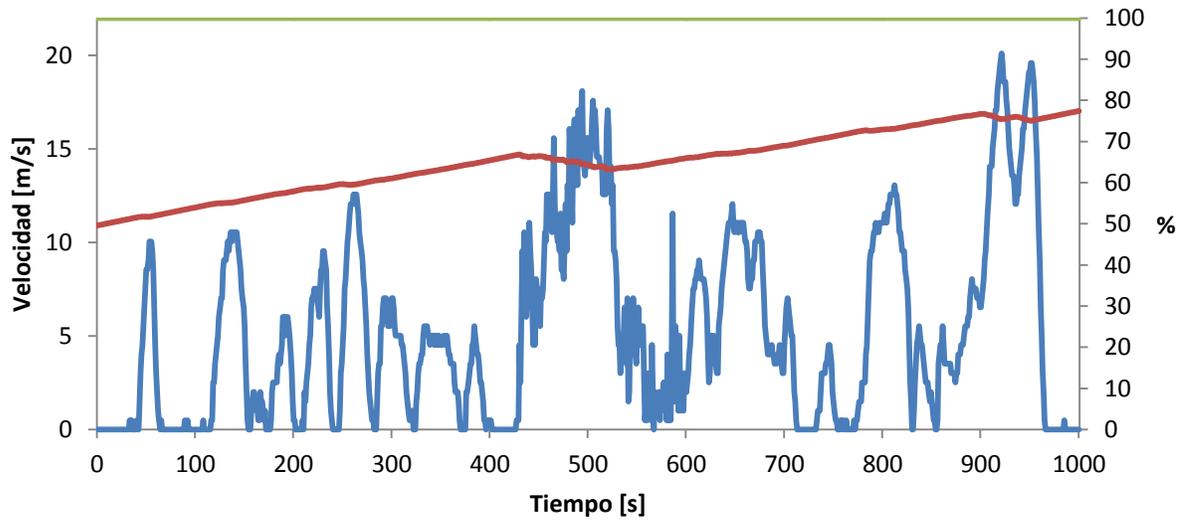


Figura A.3.248. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

3.2.3.4.2.-Ciclo IV partiendo de un estado de carga inicial de 50%

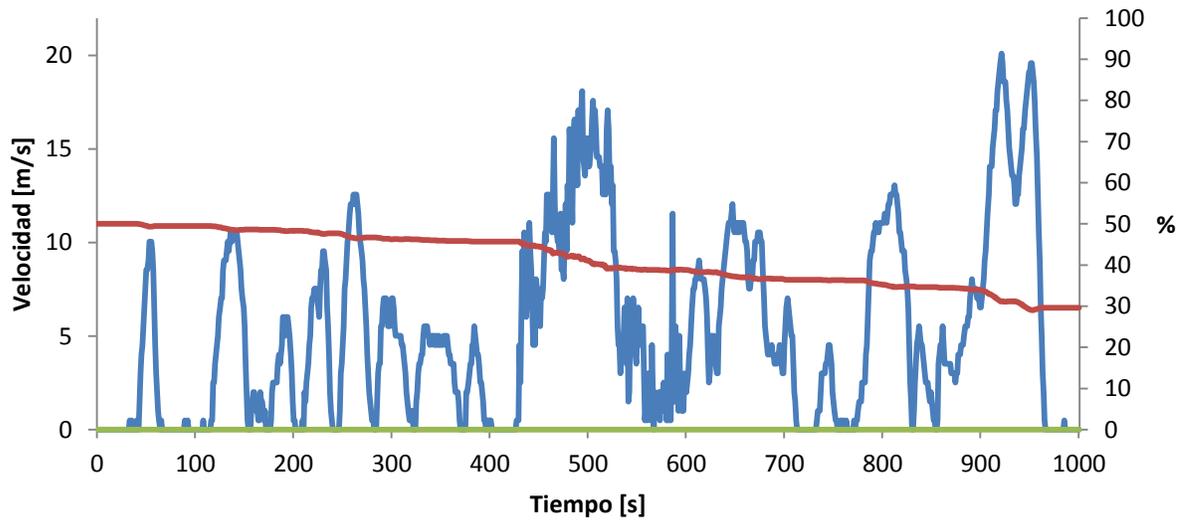


Figura A.3.249. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

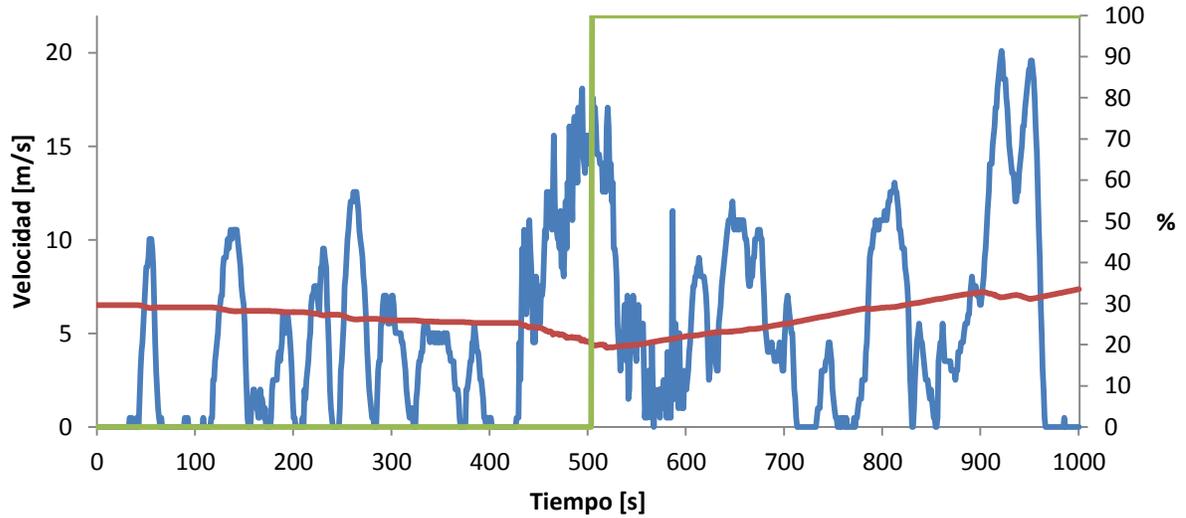


Figura A.3.250. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

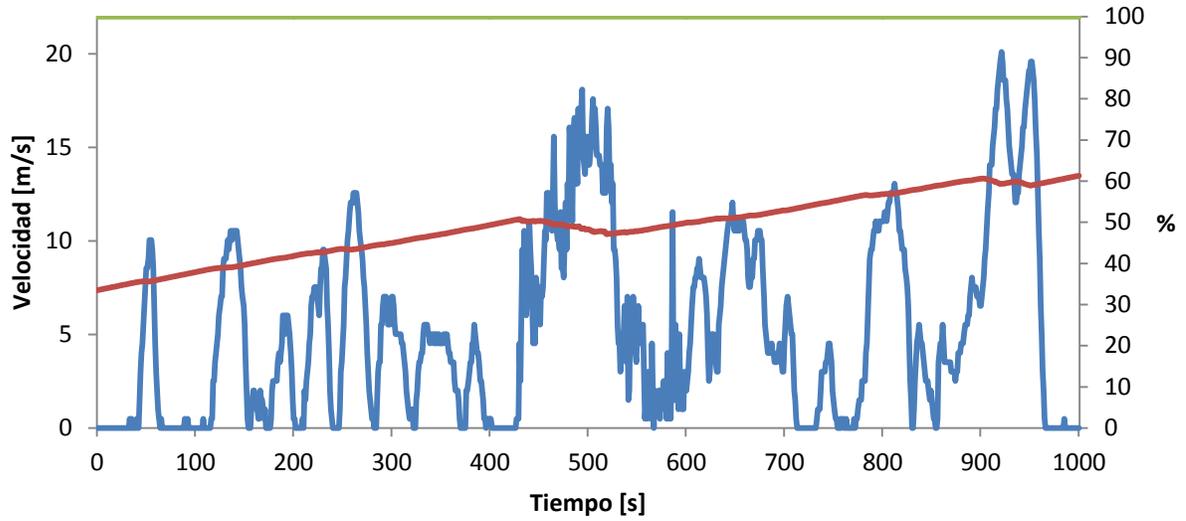


Figura A.3.251. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

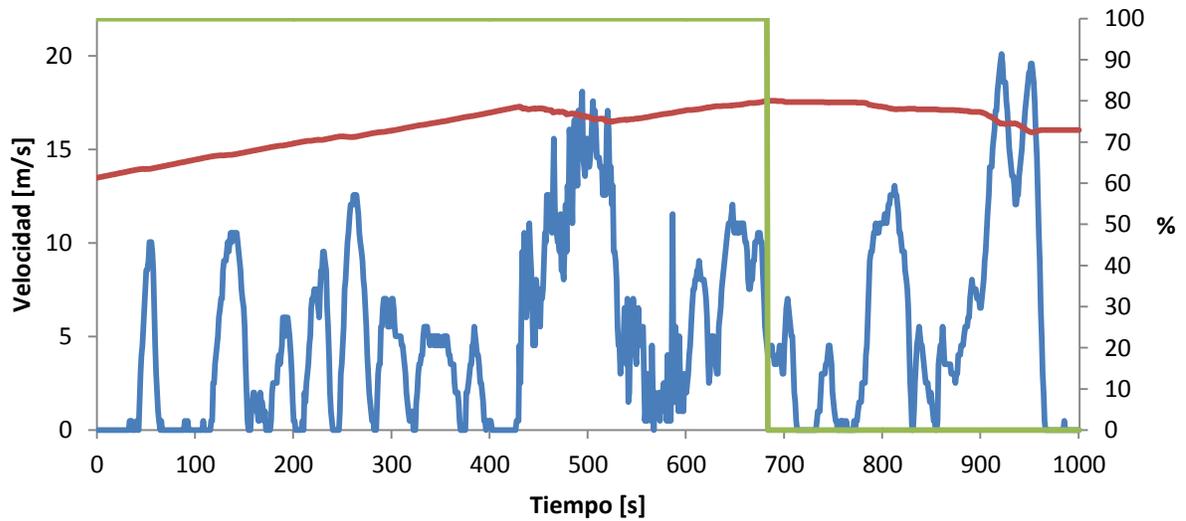


Figura A.3.252. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

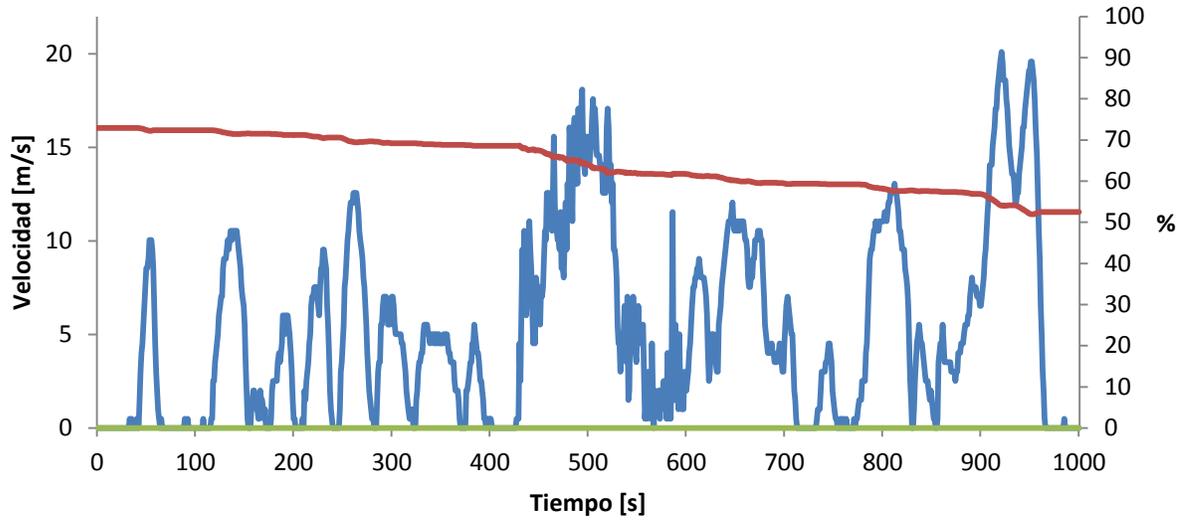


Figura A.3.253. - Ciclo IV, estados de carga y del MCR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

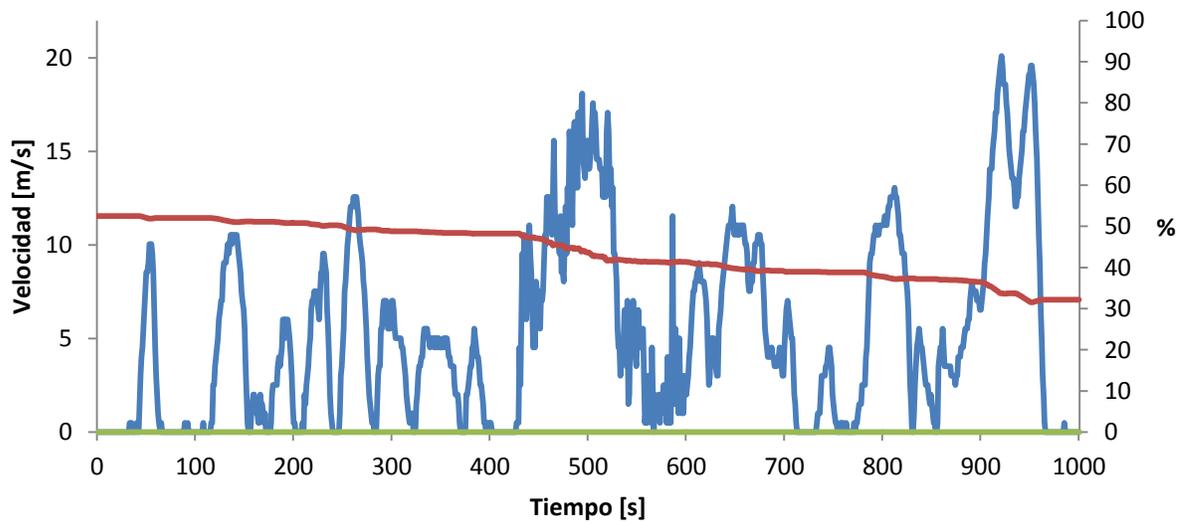


Figura A.3.254. - Ciclo IV, estados de carga y del MCR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

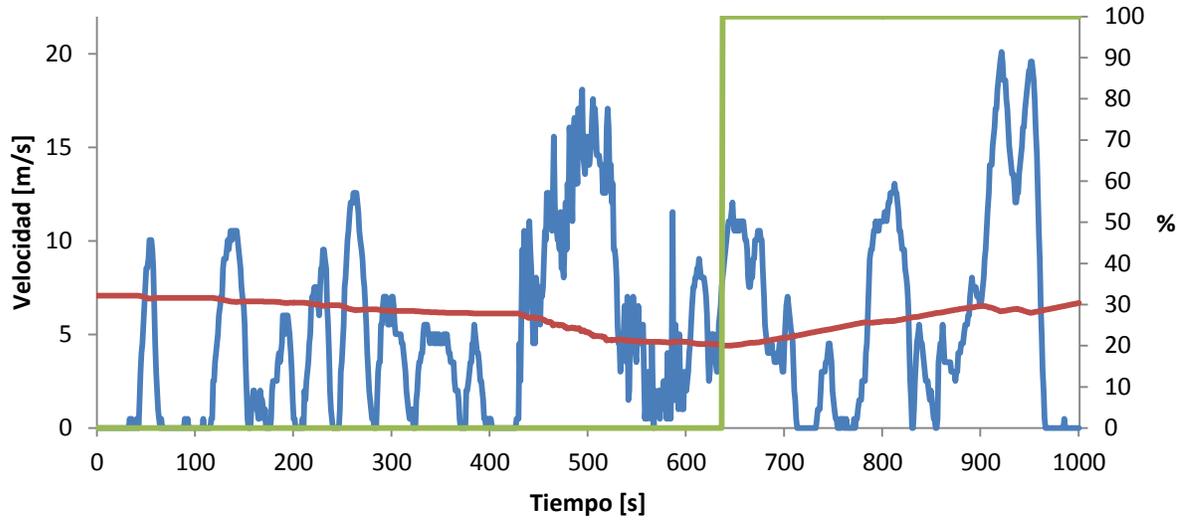


Figura A.3.255. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

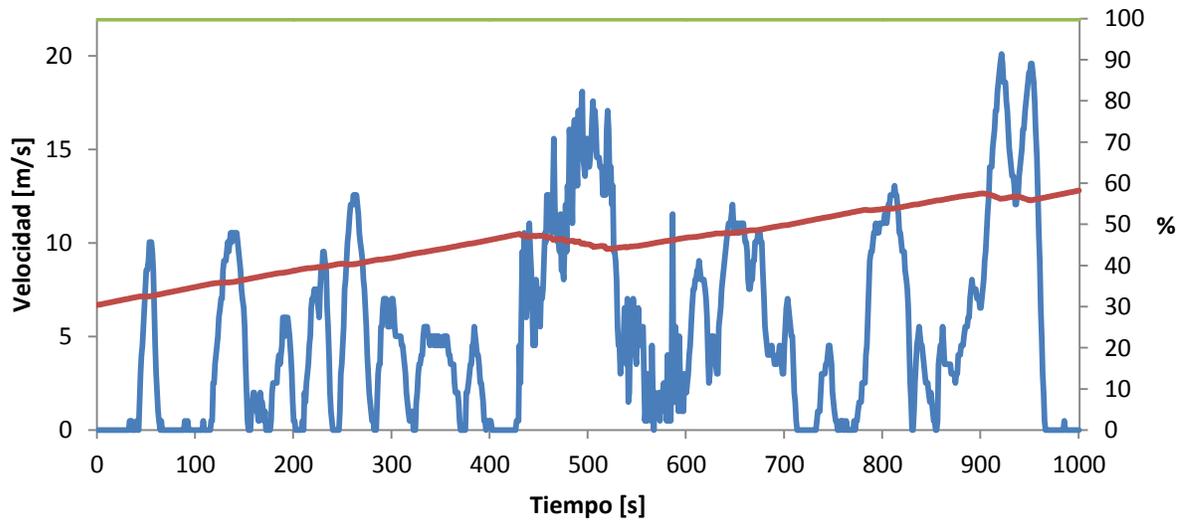


Figura A.3.256. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

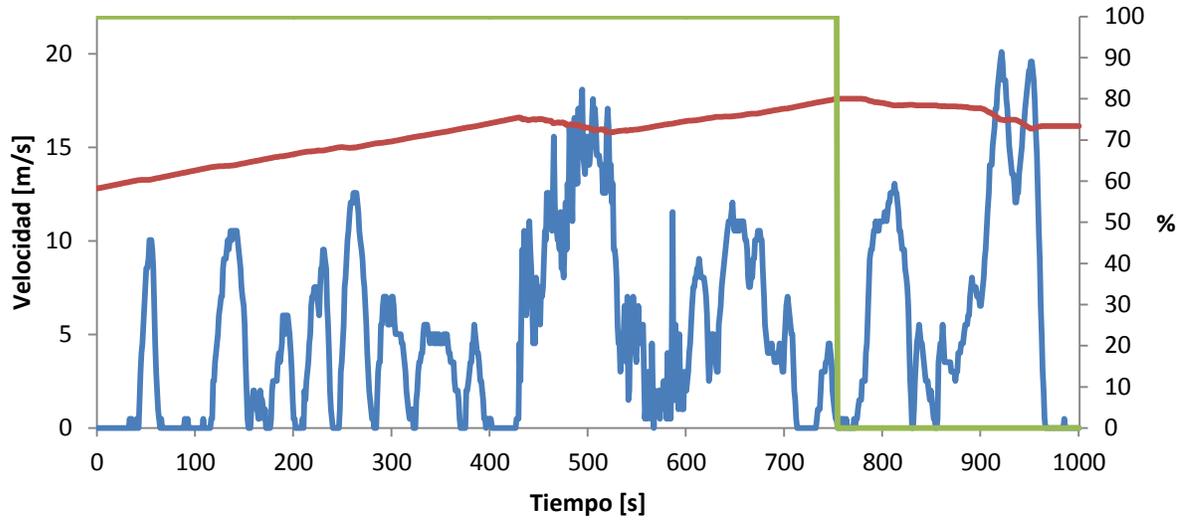


Figura A.3.257. - Ciclo IV, estados de carga y del MCR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

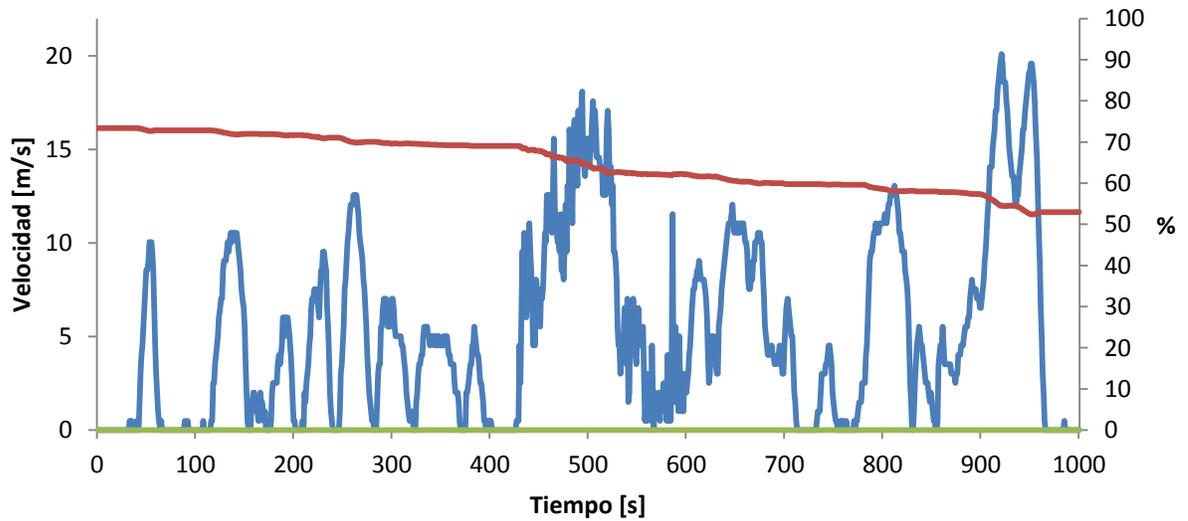


Figura A.3.258. - Ciclo IV, estados de carga y del MCR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

3.2.3.4.3.-Ciclo IV partiendo de un estado de carga inicial de 20%

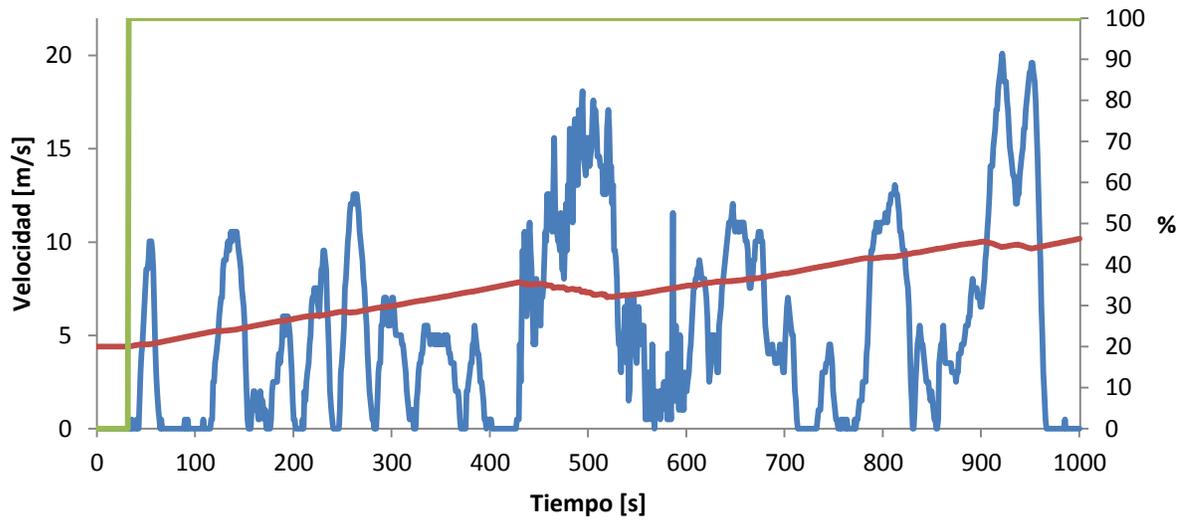


Figura A.3.259. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

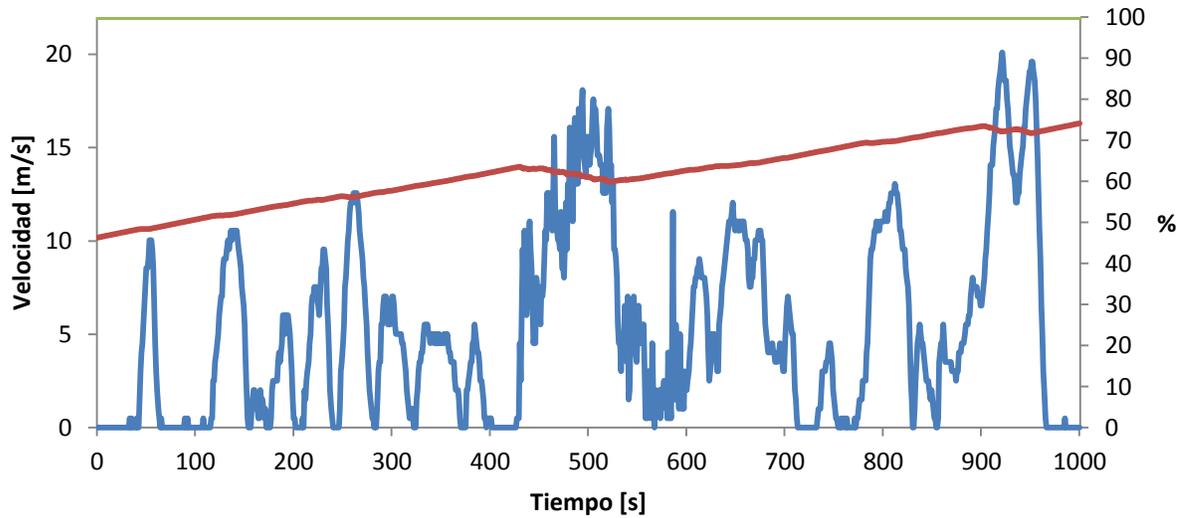


Figura A.3.260. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

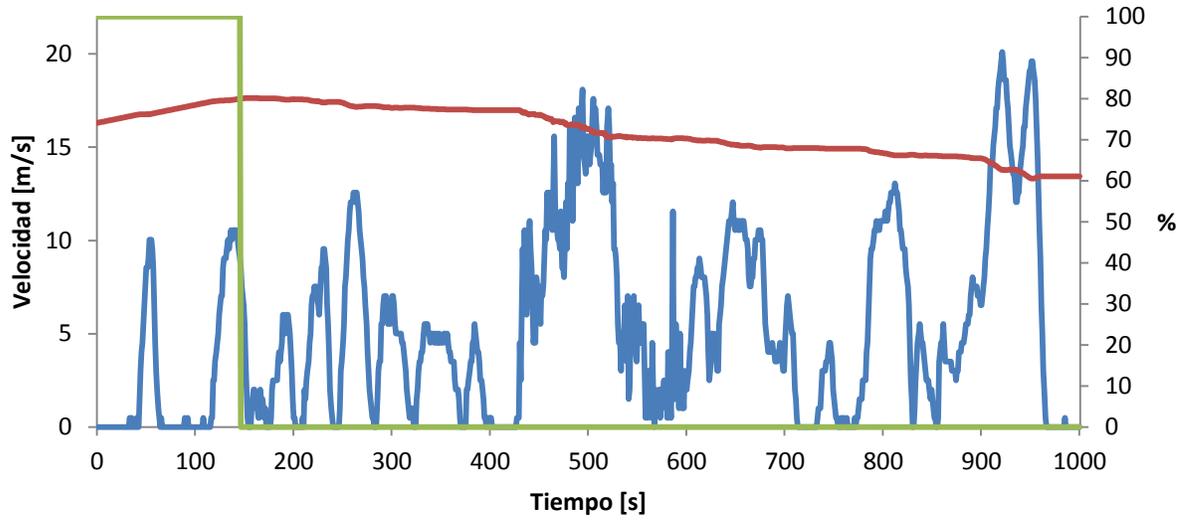


Figura A.3.261. - Ciclo IV, estados de carga y del MCR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

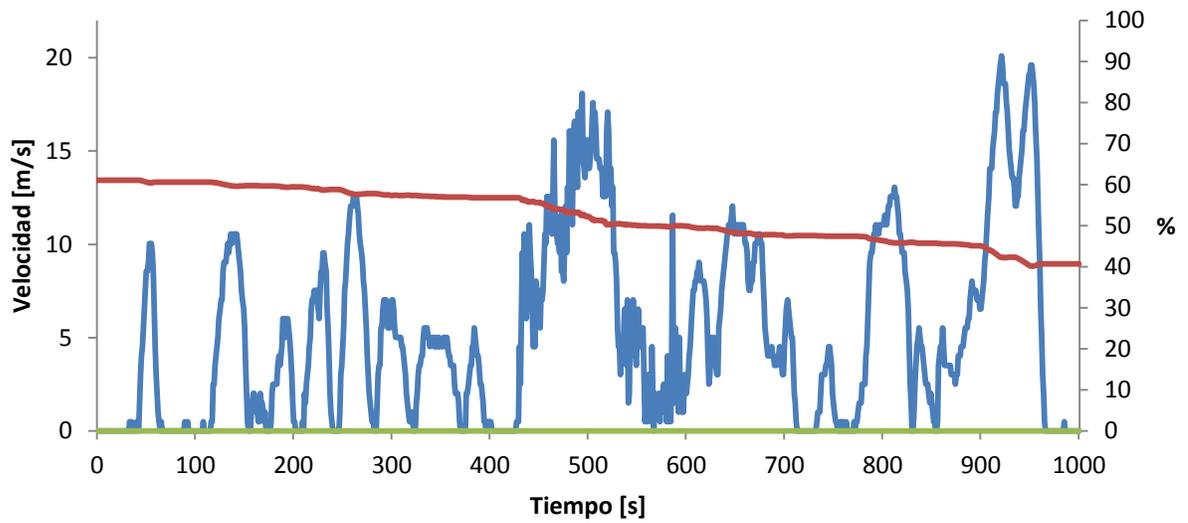


Figura A.3.262. - Ciclo IV, estados de carga y del MCR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

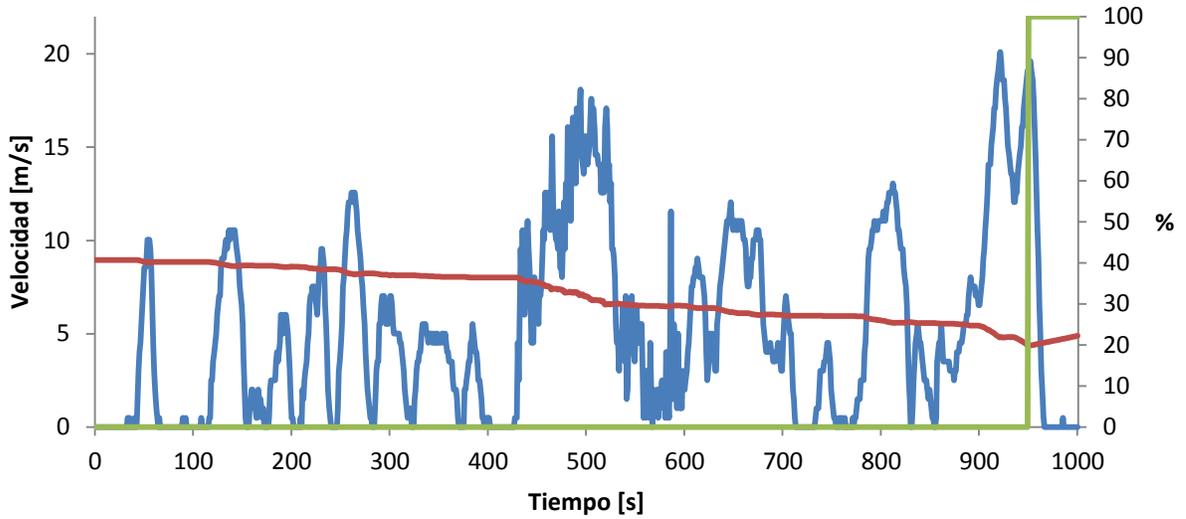


Figura A.3.263. - Ciclo IV, estados de carga y del MCR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

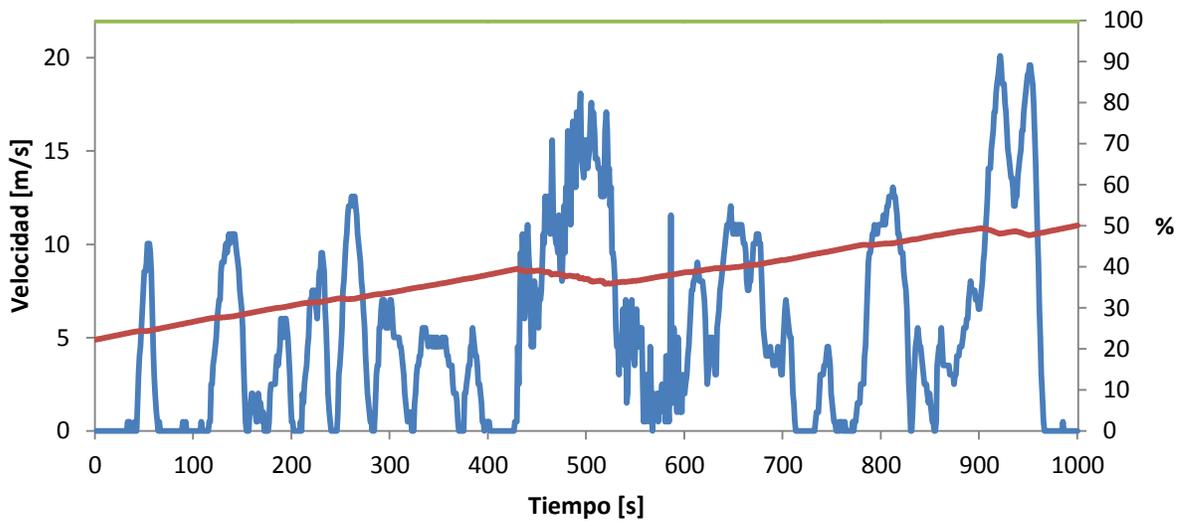


Figura A.3.264. - Ciclo IV, estados de carga y del MCR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

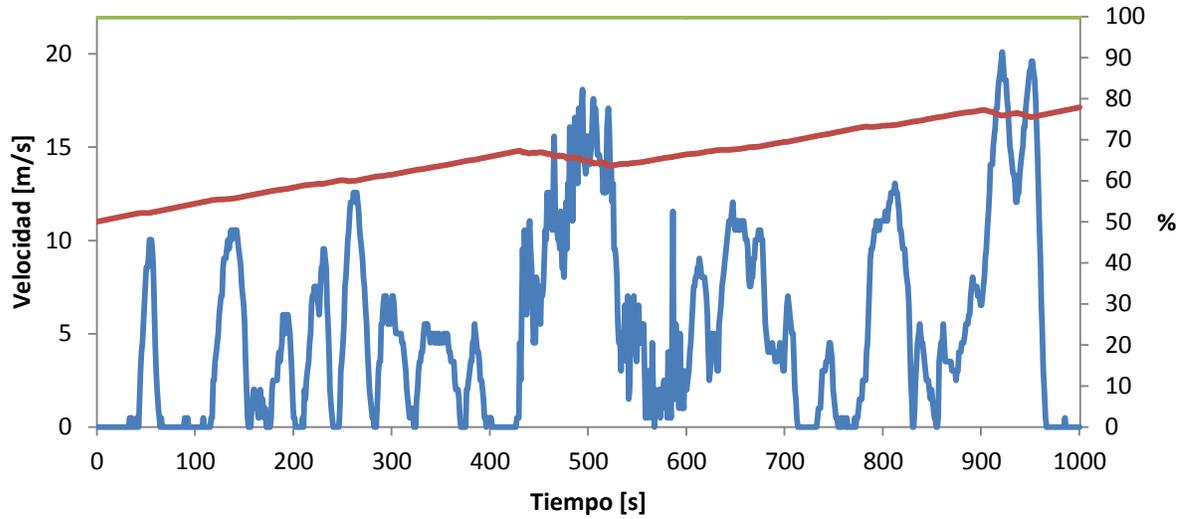


Figura A.3.265. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

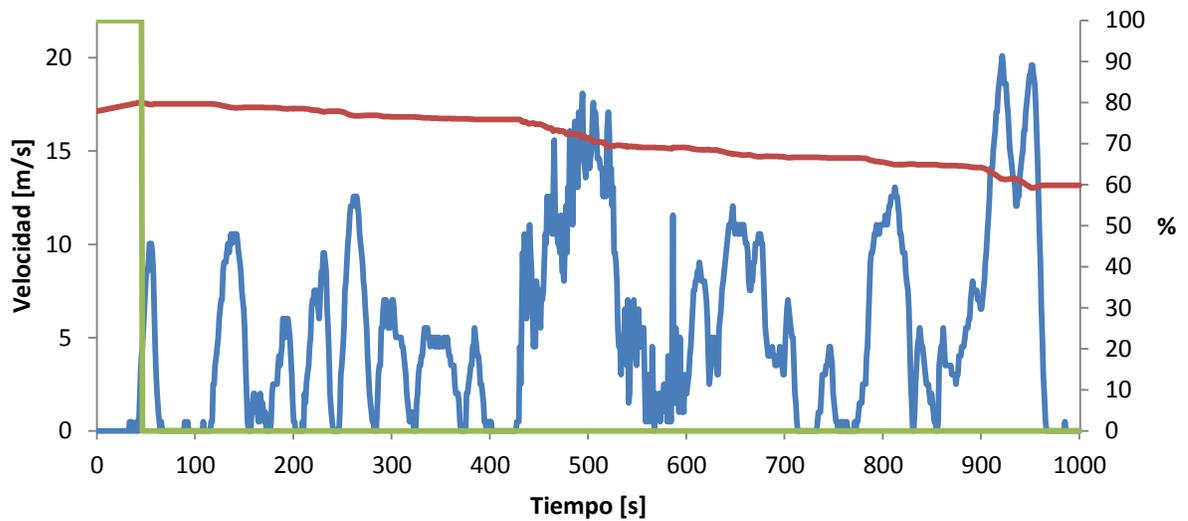


Figura A.3.266. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

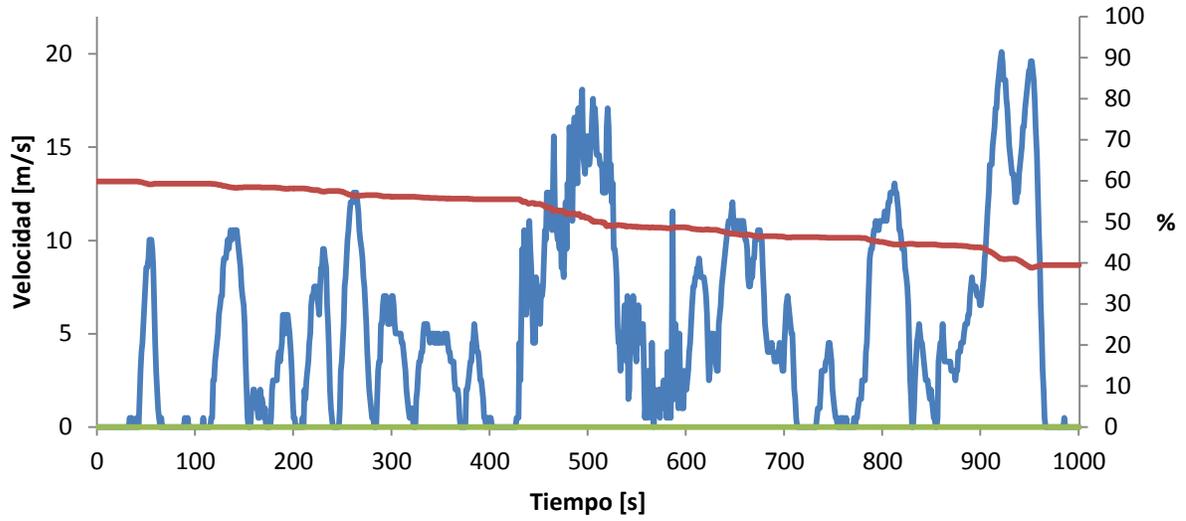


Figura A.3.267. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

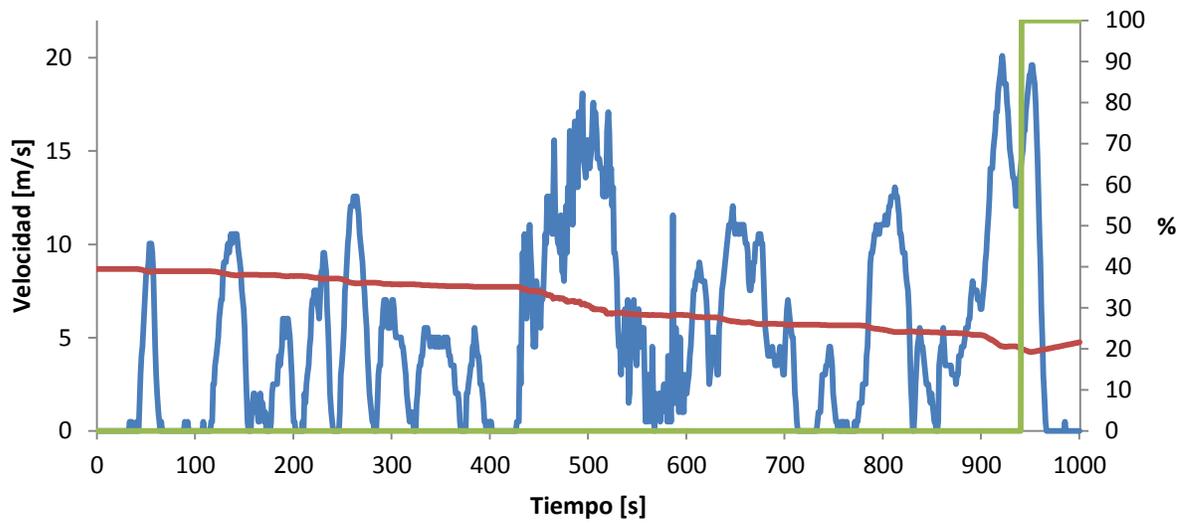


Figura A.3.268. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

3.2.4.2 Ciclo UDDS

3.2.3.5.1.-Ciclo UDDS partiendo de un estado de carga inicial de 80%

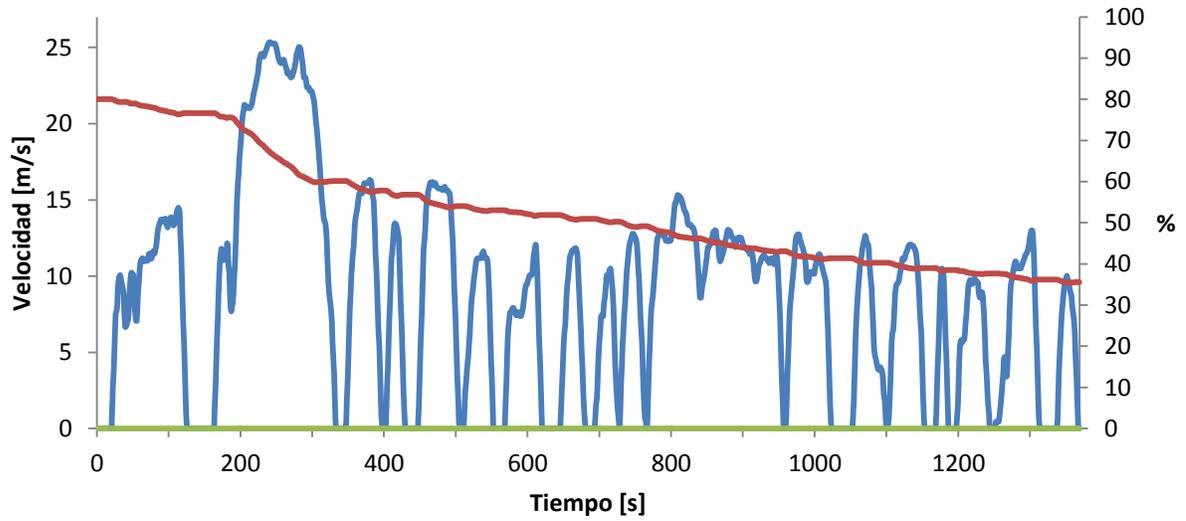


Figura A.3.269. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

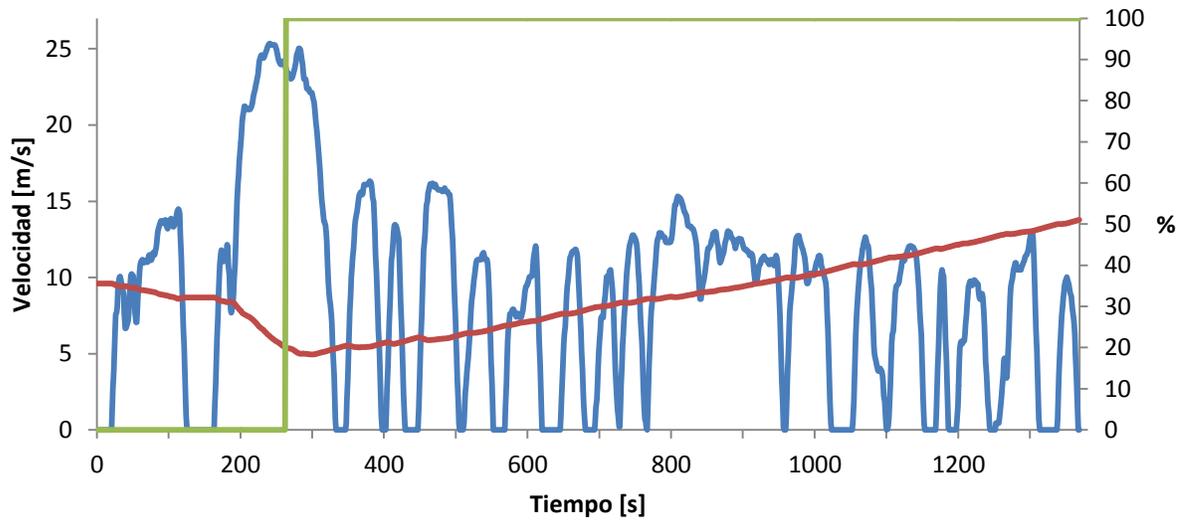


Figura A.3.270. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

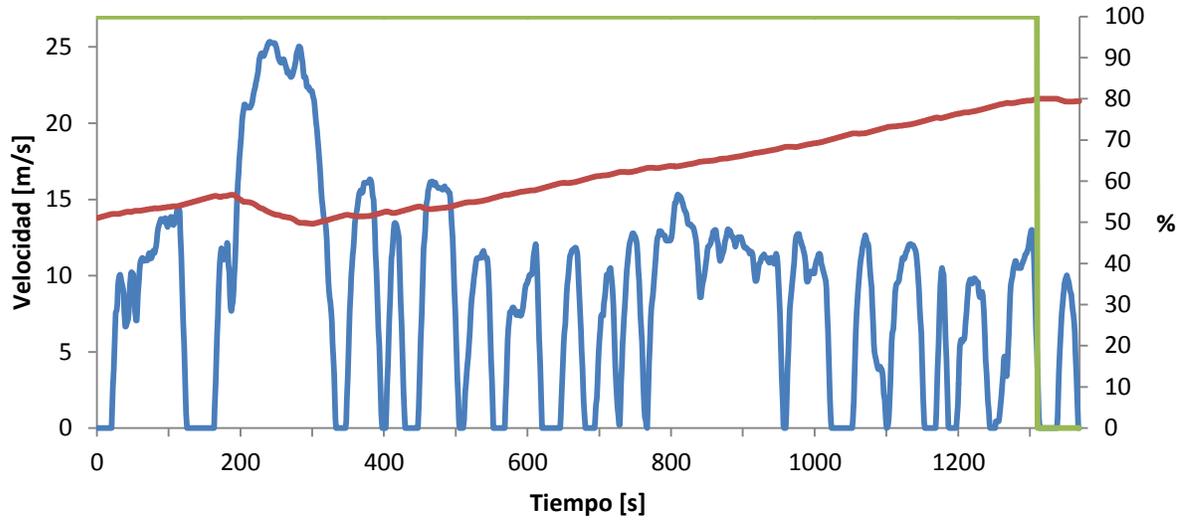


Figura A.3.271. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

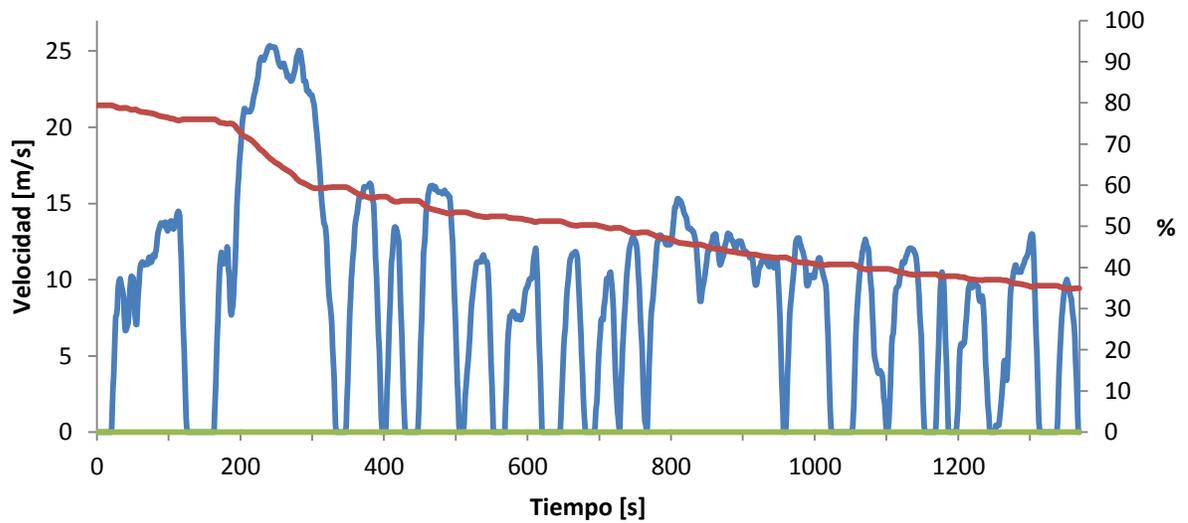


Figura A.3.272. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

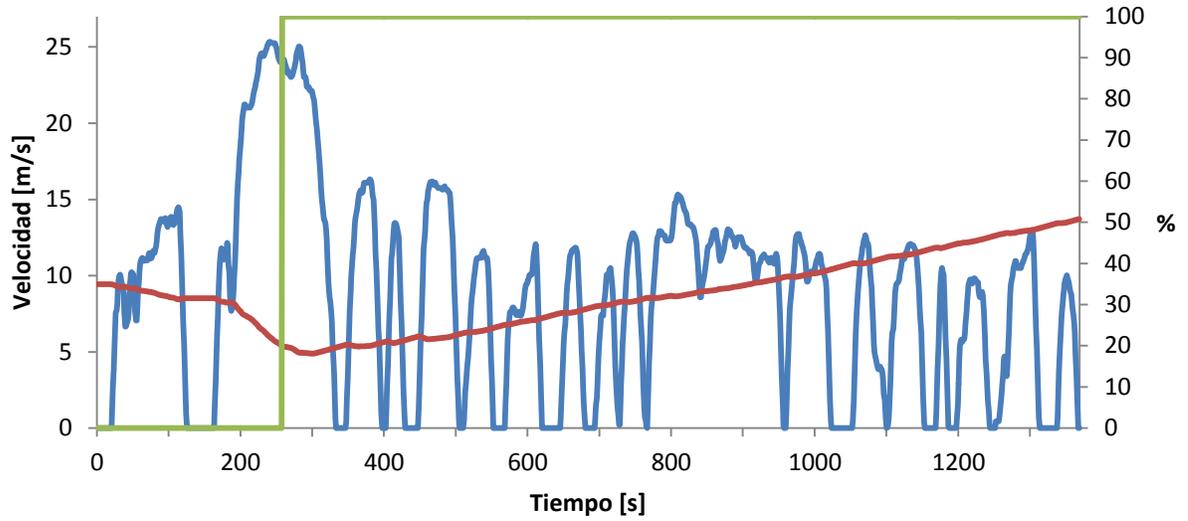


Figura A.3.273. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

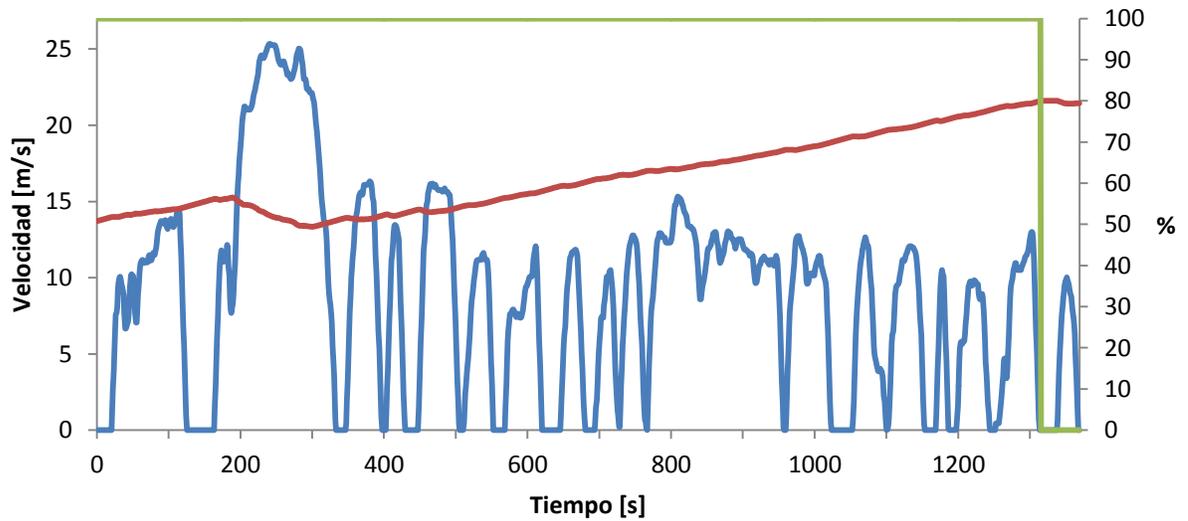


Figura A.3.274. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

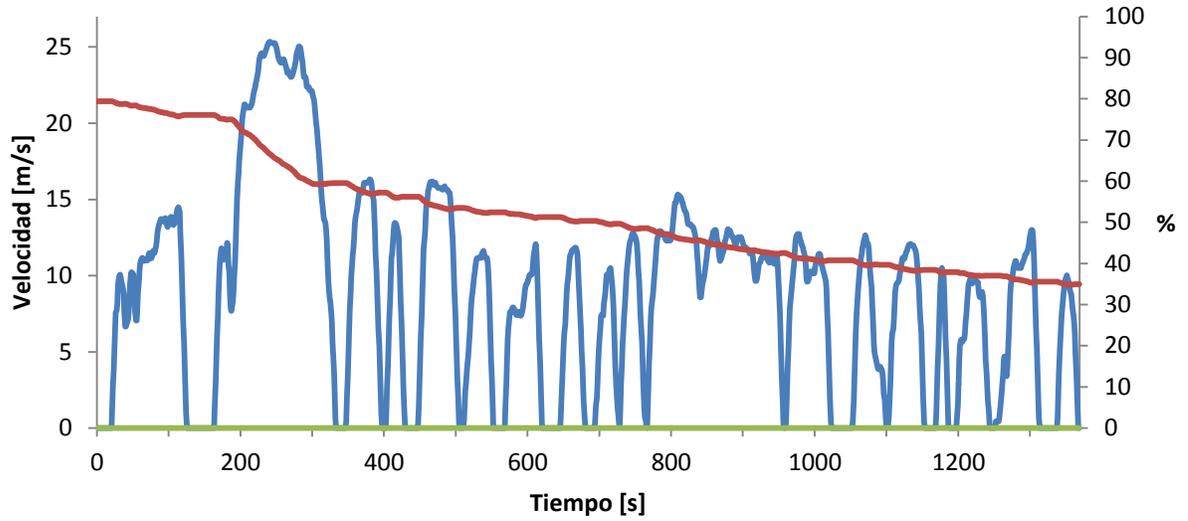


Figura A.3.275. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

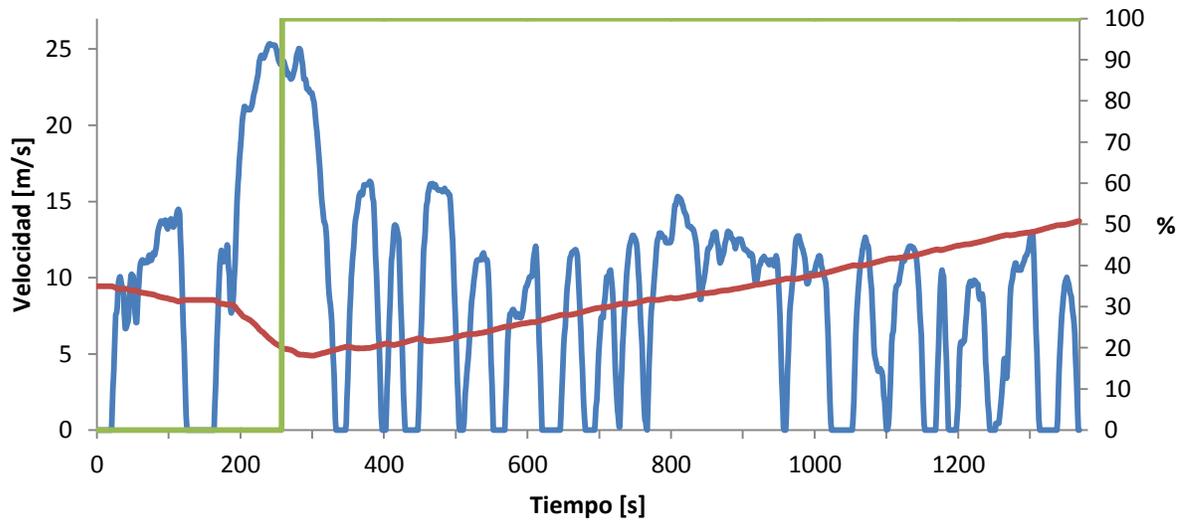


Figura A.3.276. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

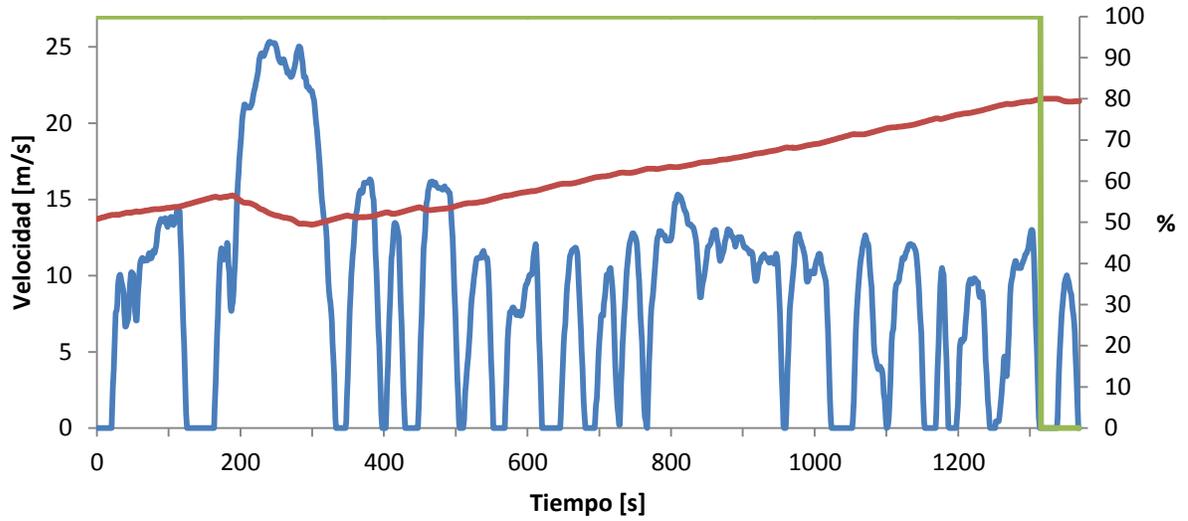


Figura A.3.277. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

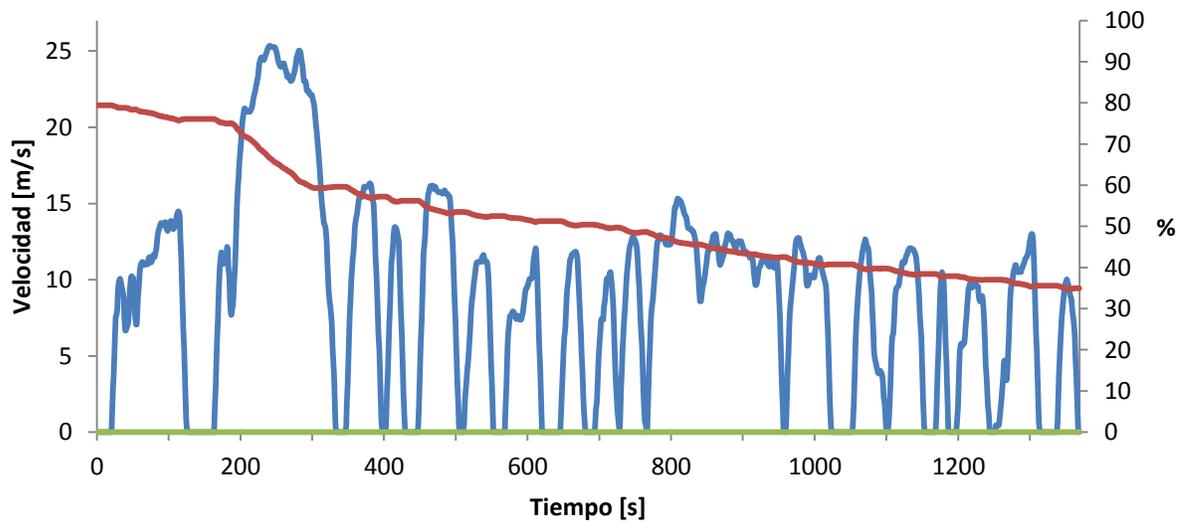


Figura A.3.278. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

3.2.3.5.2.-Ciclo UDDS partiendo de un estado de carga inicial de 50%

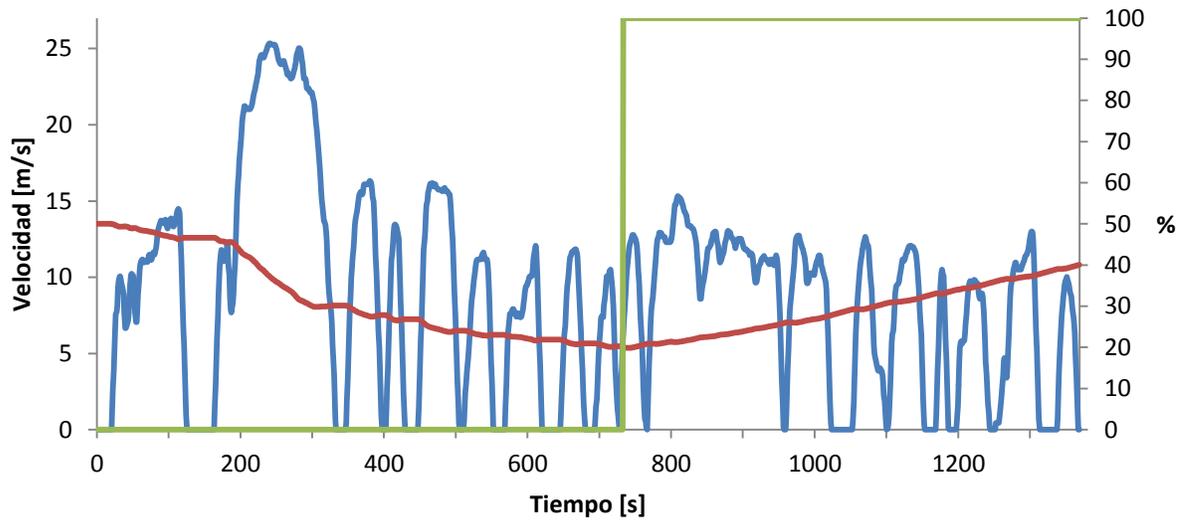


Figura A.3.279. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

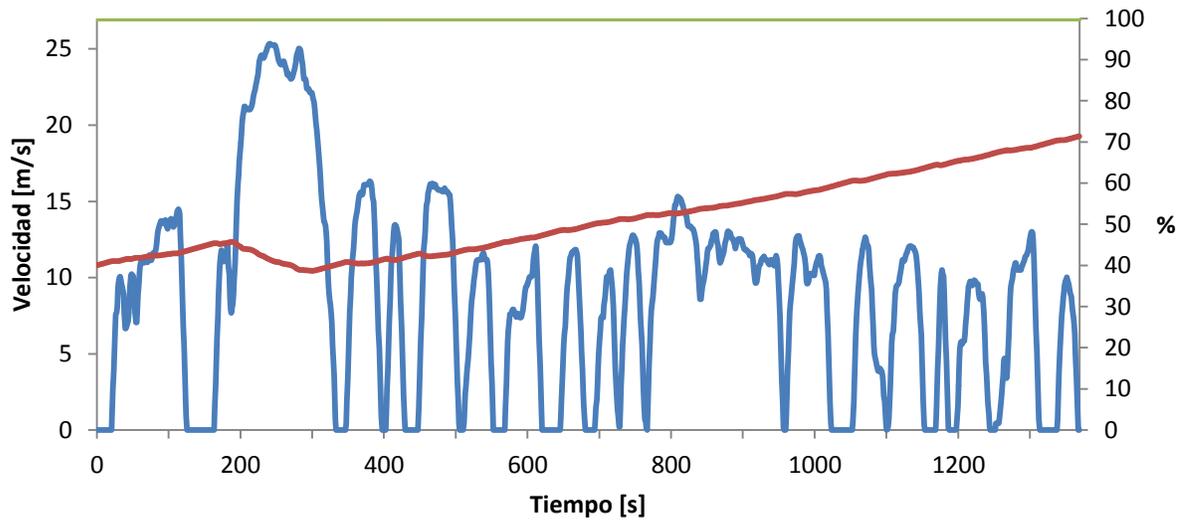


Figura A.3.280. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

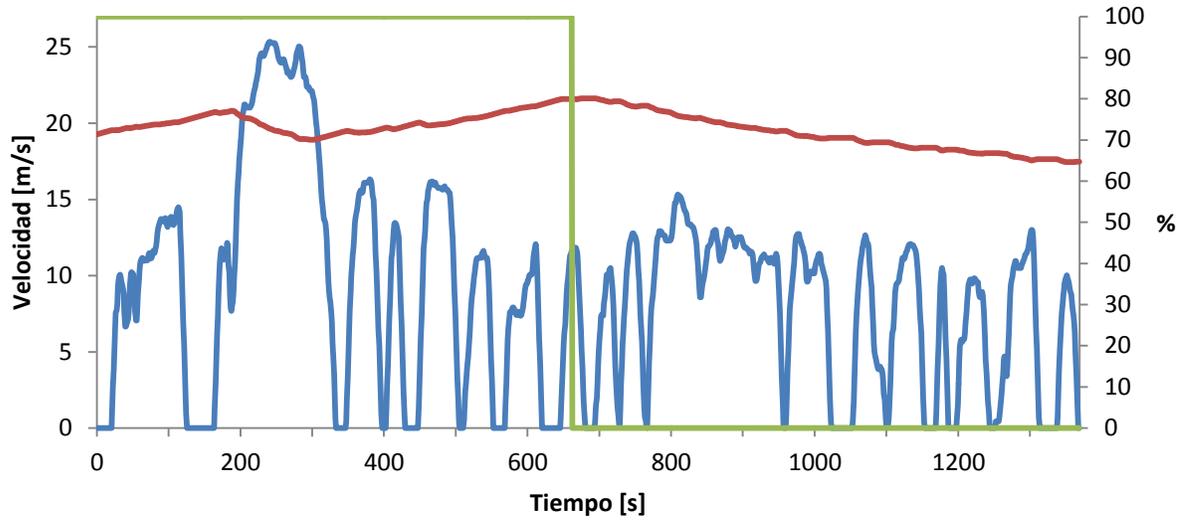


Figura A.3.281. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

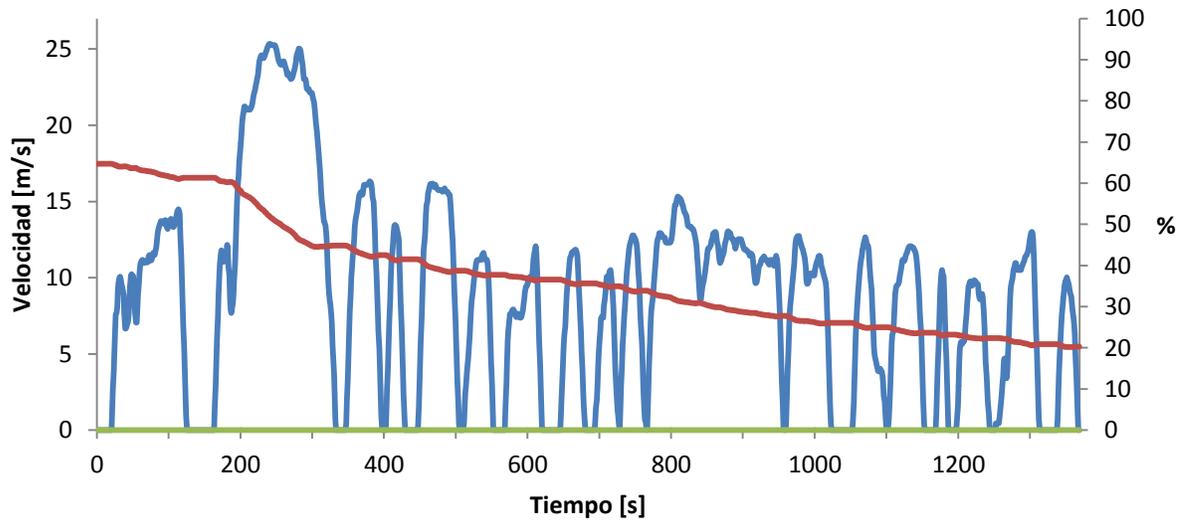


Figura A.3.282. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

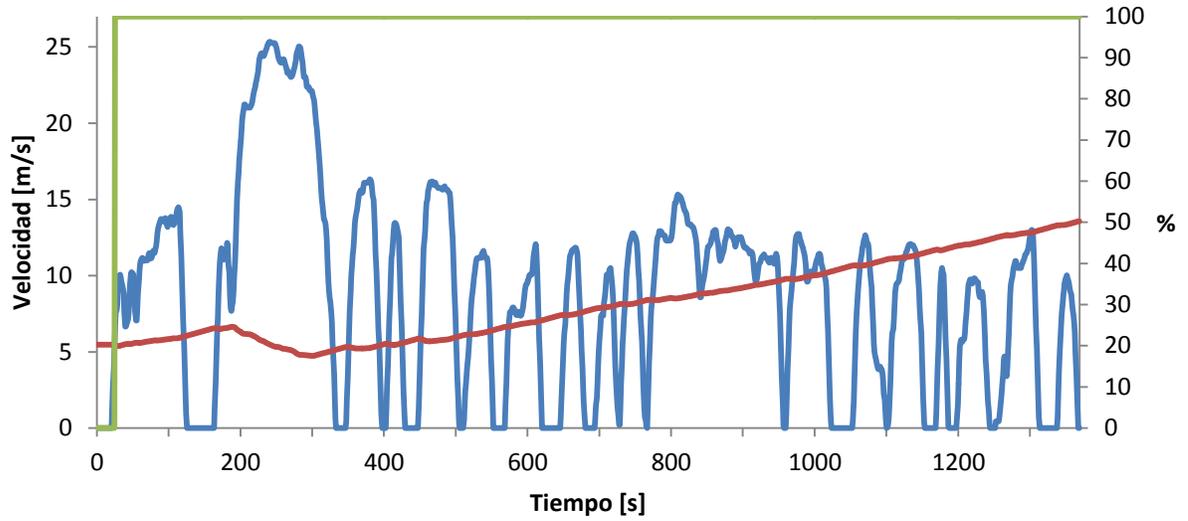


Figura A.3.283. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

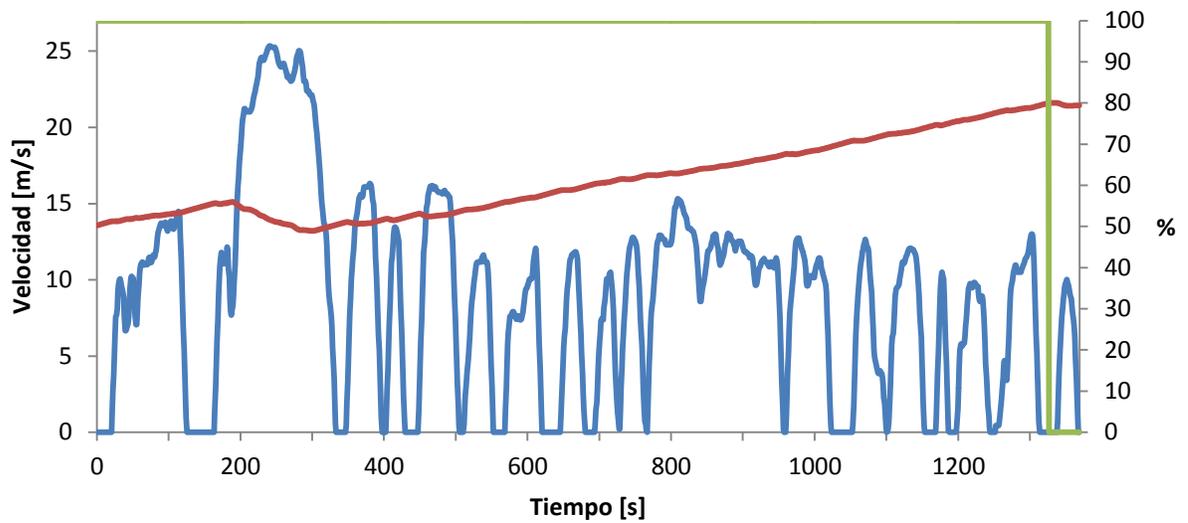


Figura A.3.284. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

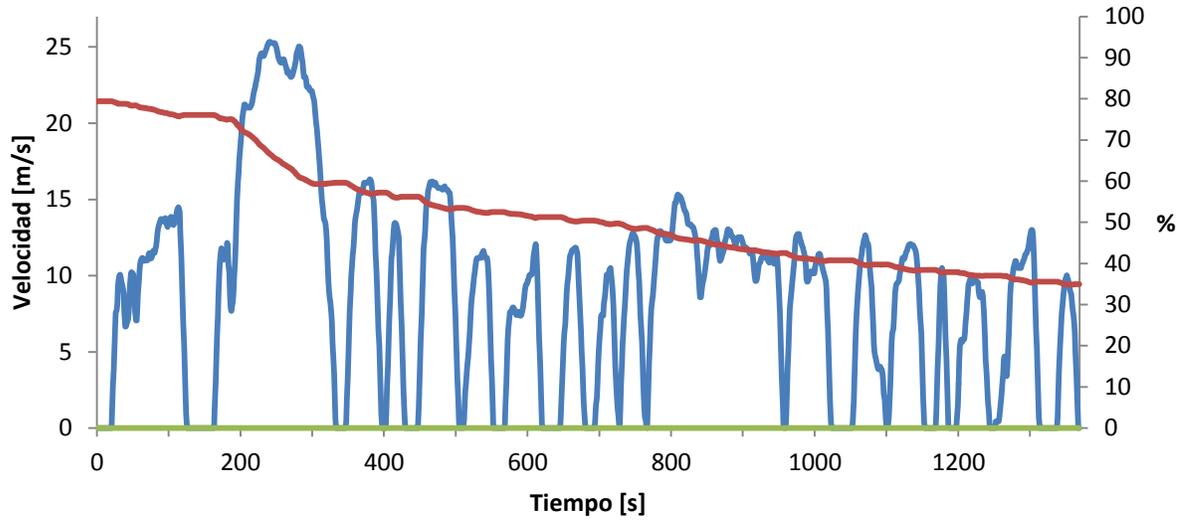


Figura A.3.285. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

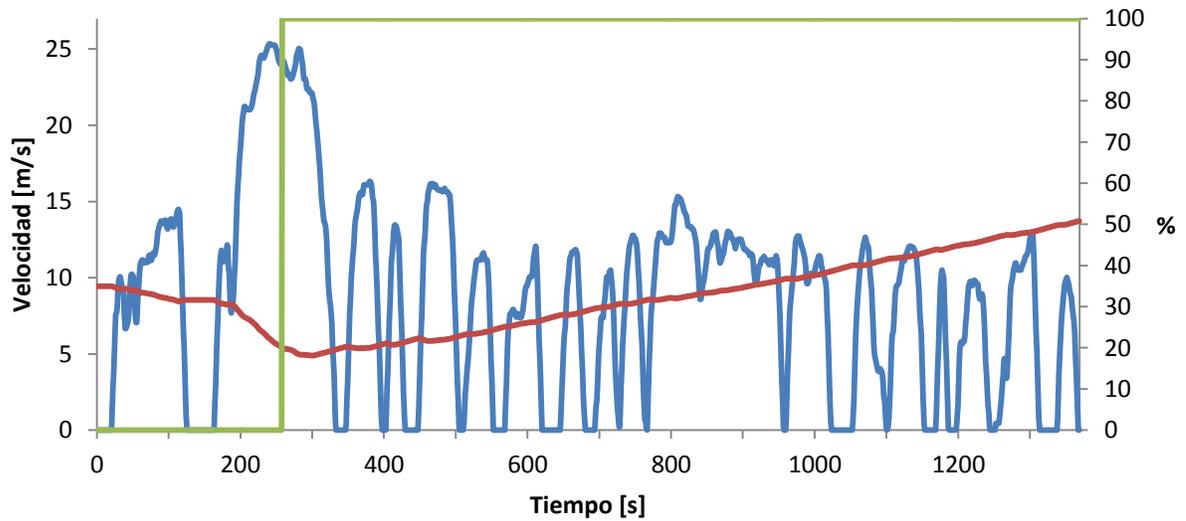


Figura A.3.286. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

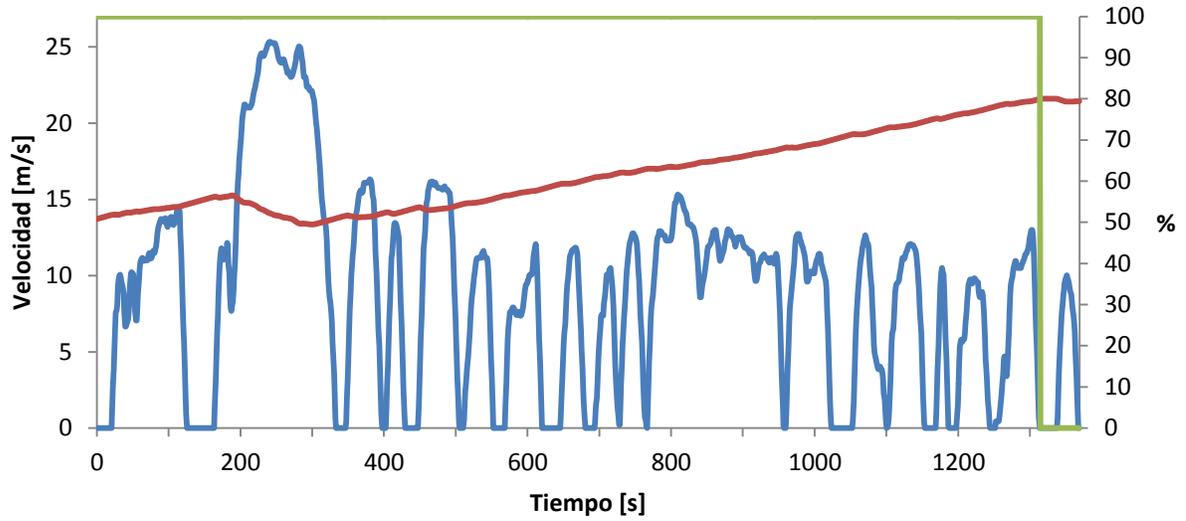


Figura A.3.287. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

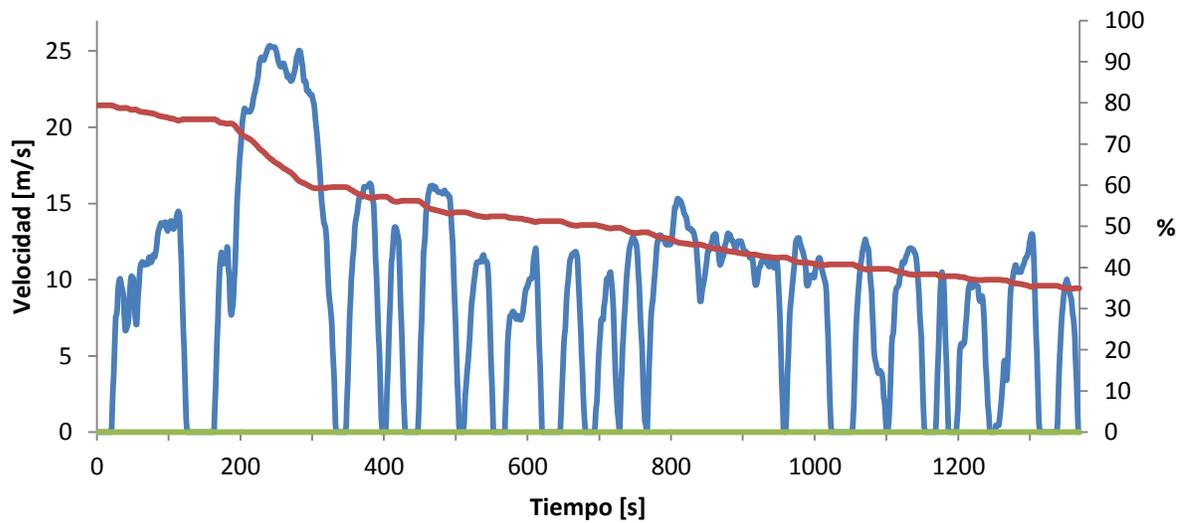


Figura A.3.288. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

3.2.3.5.3.-Ciclo UDDS partiendo de un estado de carga inicial de 20%

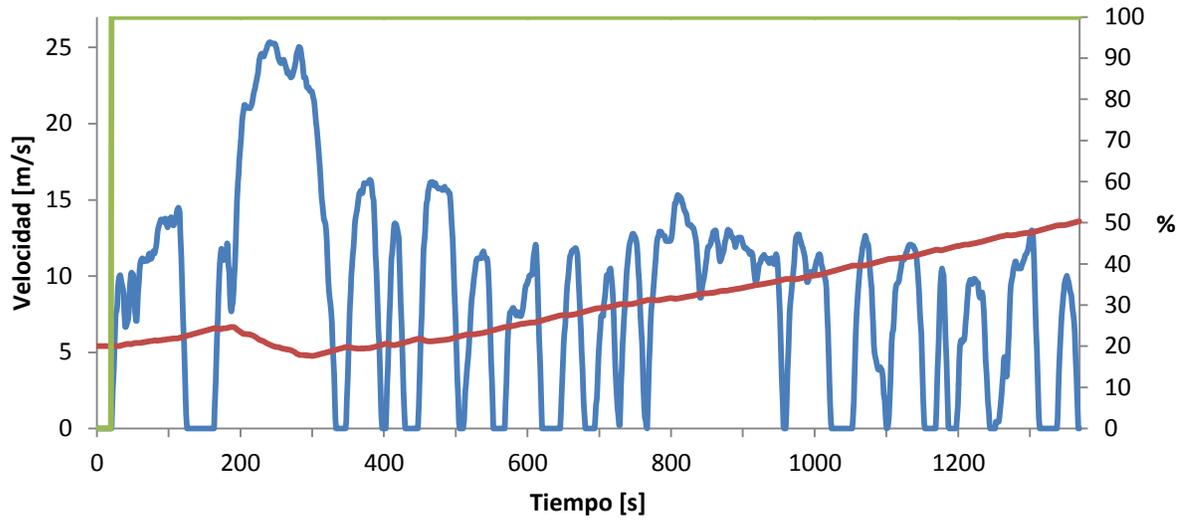


Figura A.3.289. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

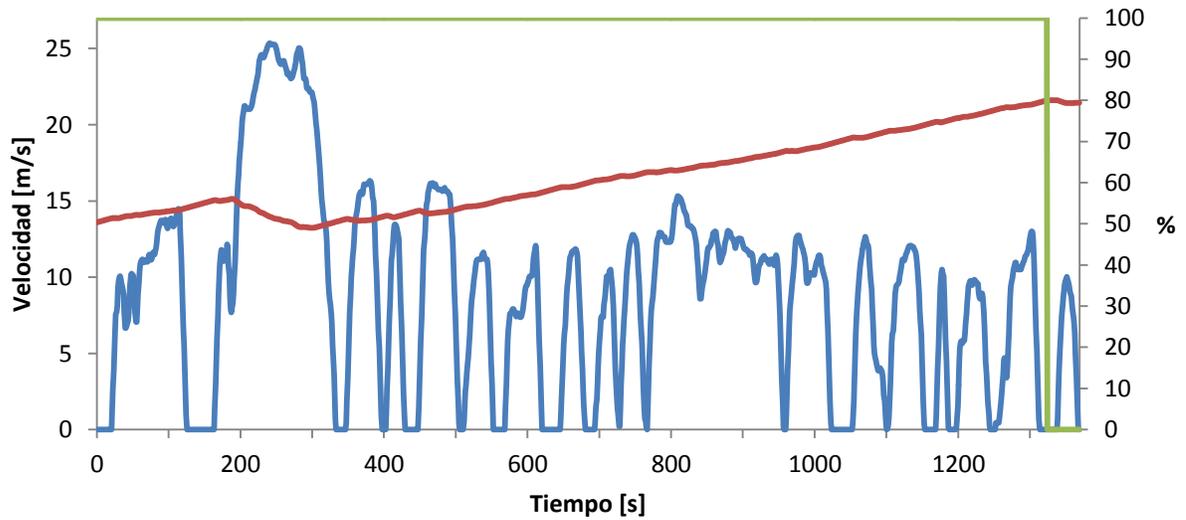


Figura A.3.290. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

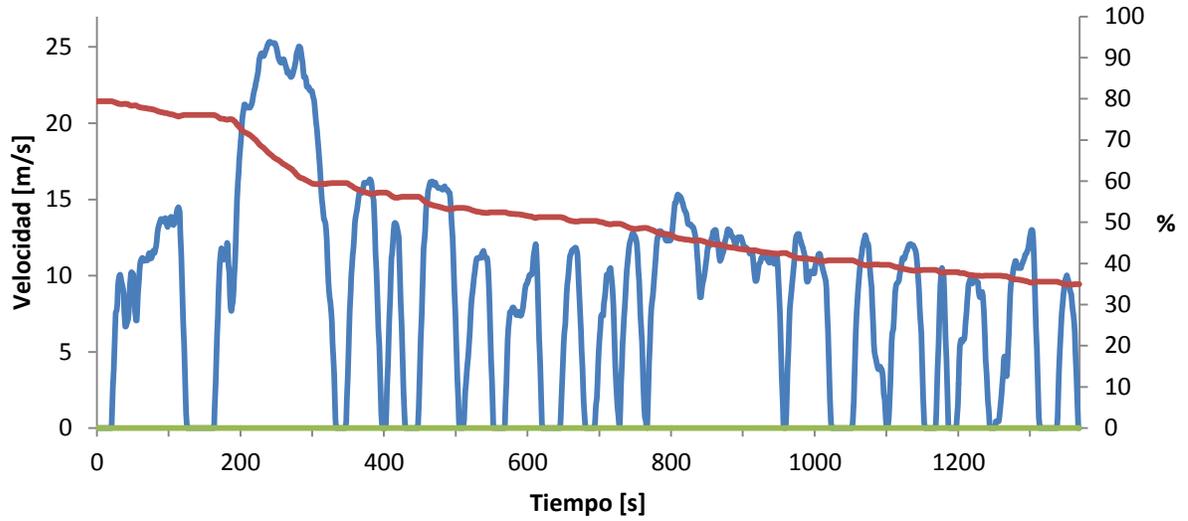


Figura A.3.291. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

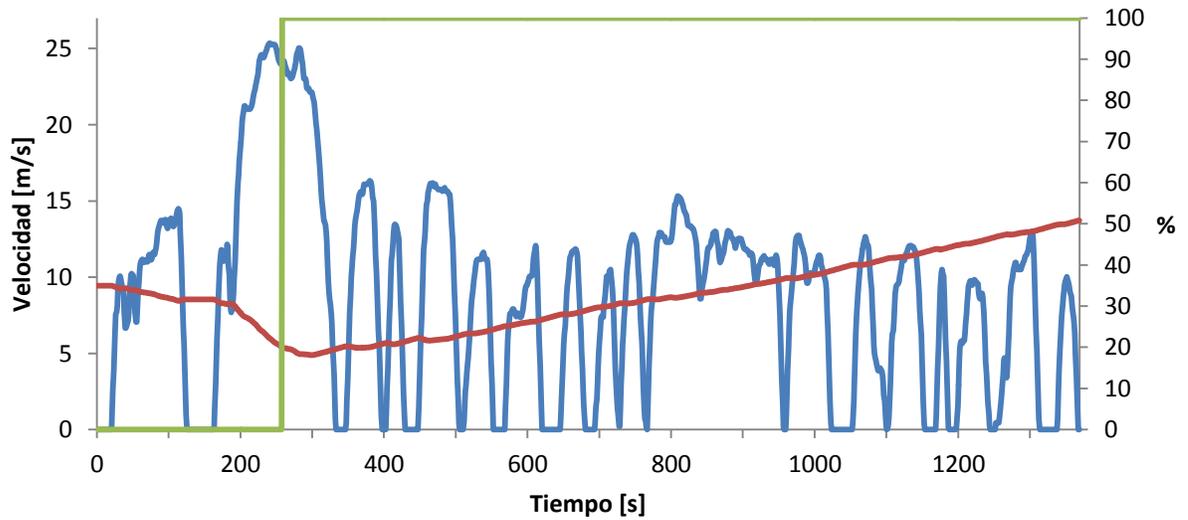


Figura A.3.292. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

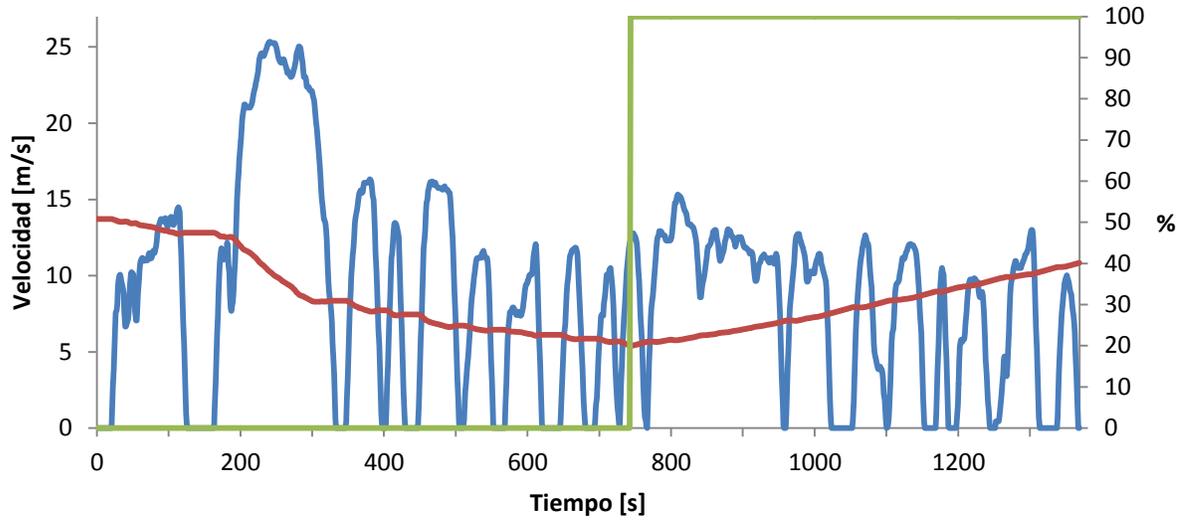


Figura A.3.293. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

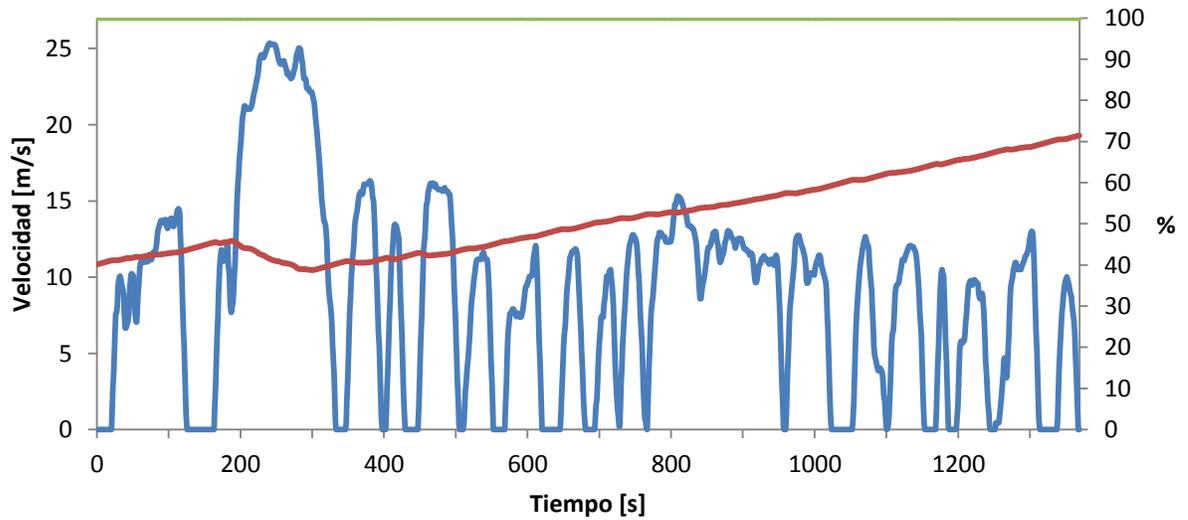


Figura A.3.294. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

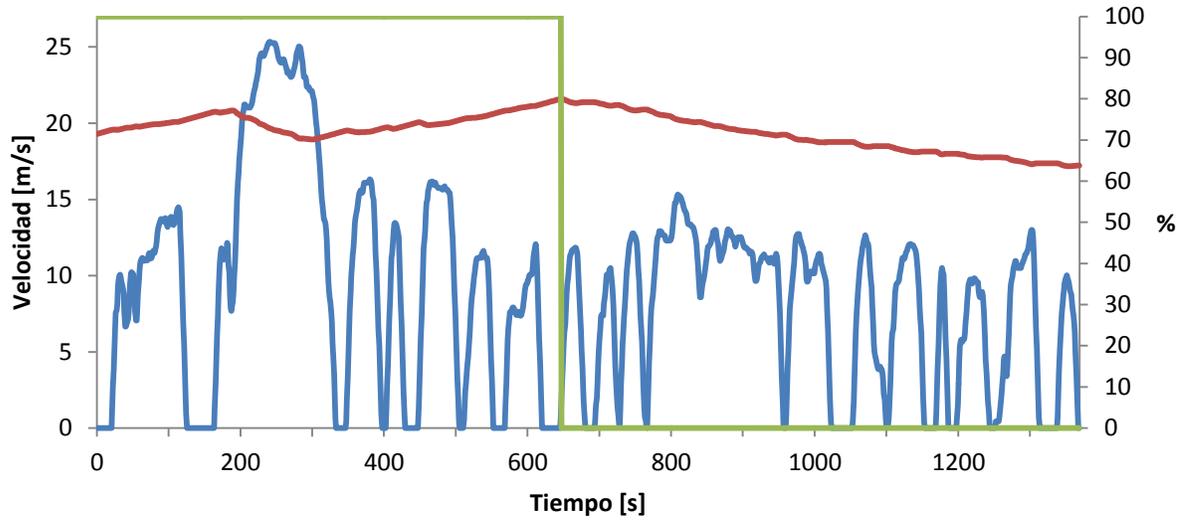


Figura A.3.295. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

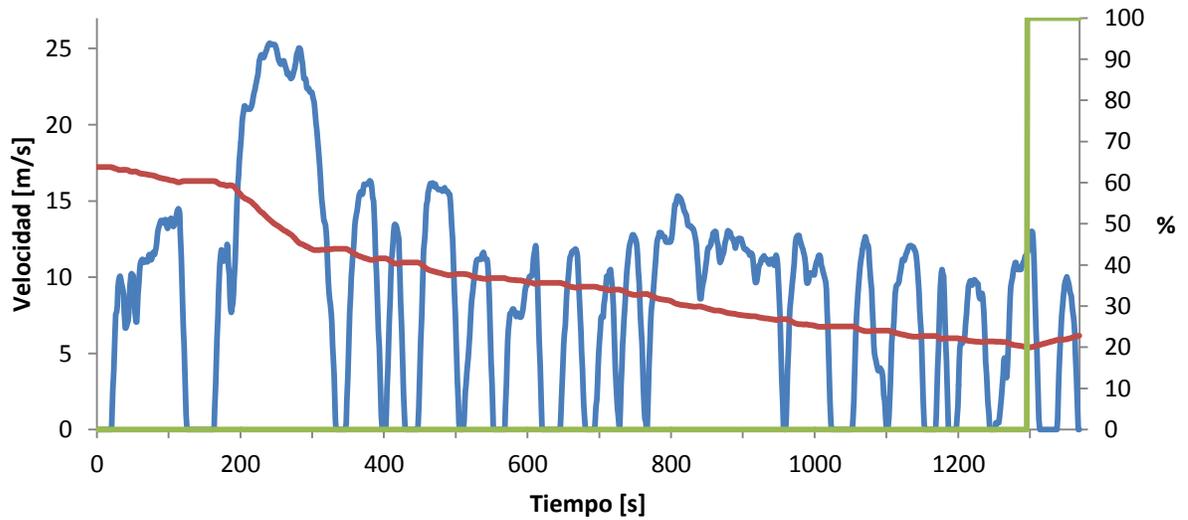


Figura A.3.296. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

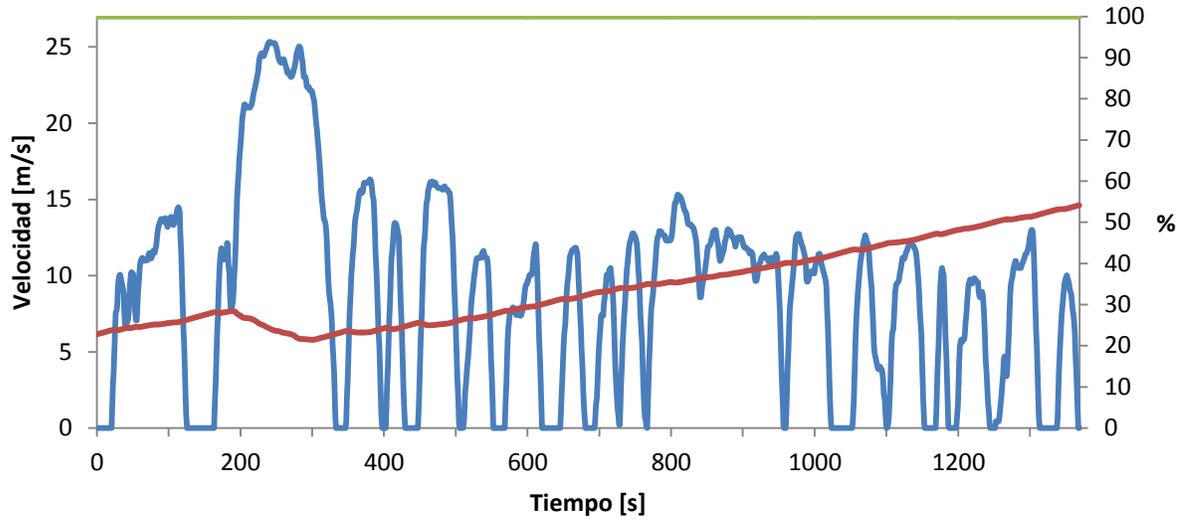


Figura A.3.297. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

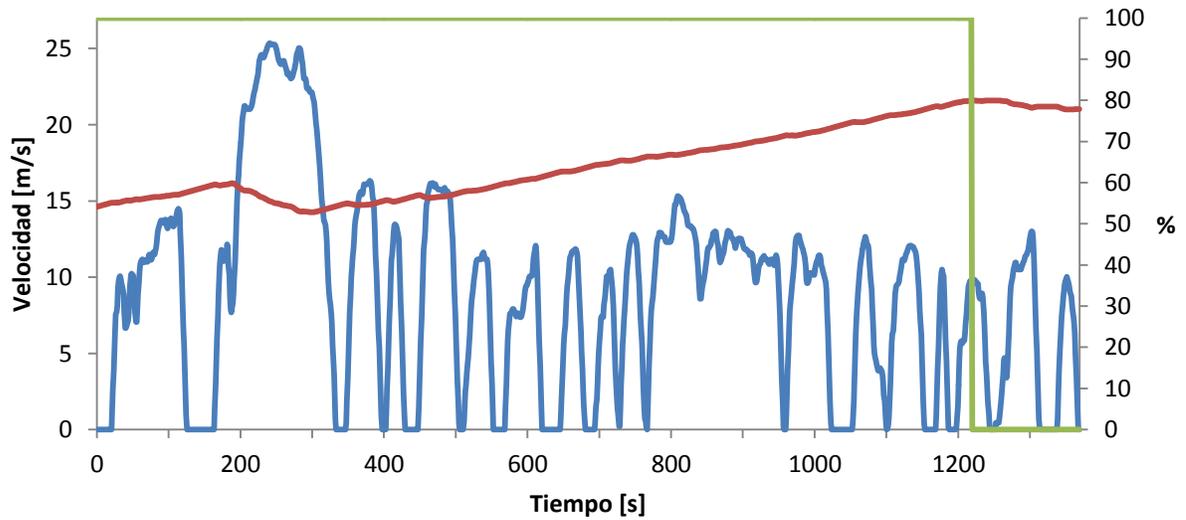


Figura A.3.298. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

3.2.3.6.-Ciclo NYCC

3.2.3.6.1.-Ciclo NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 80%

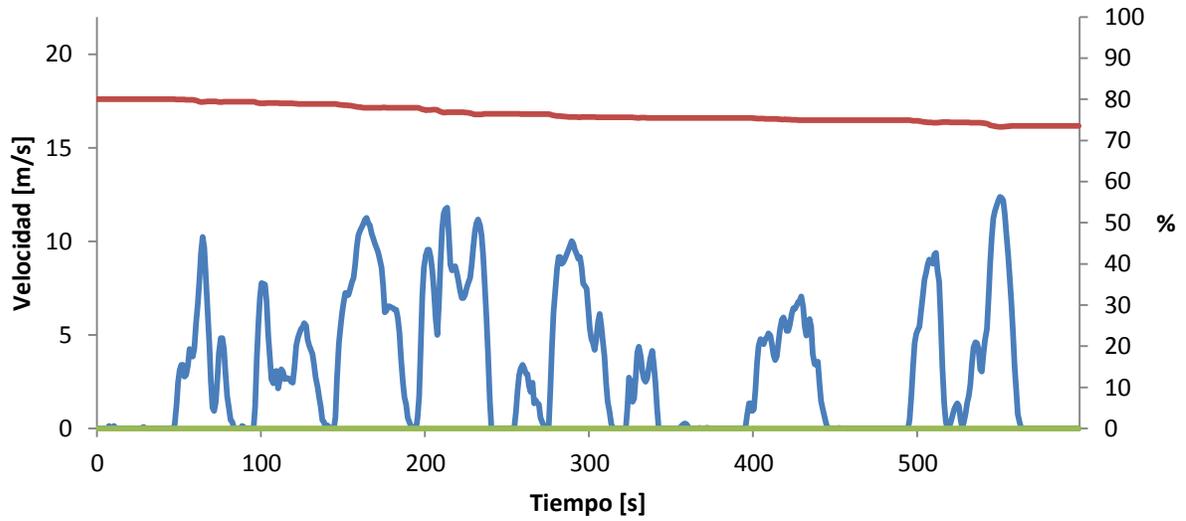


Figura A.3.299. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

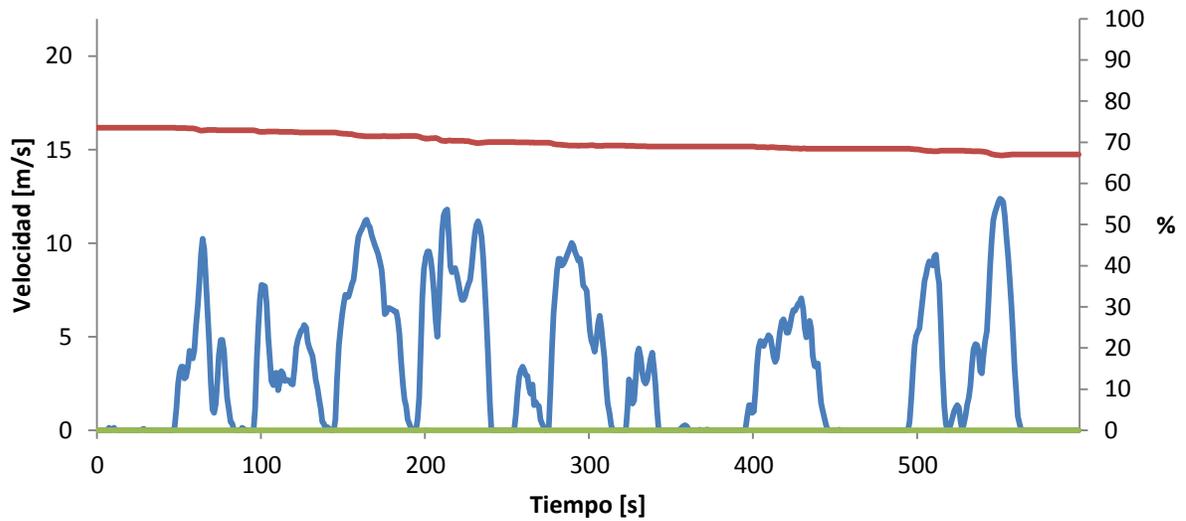


Figura A.3.300. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

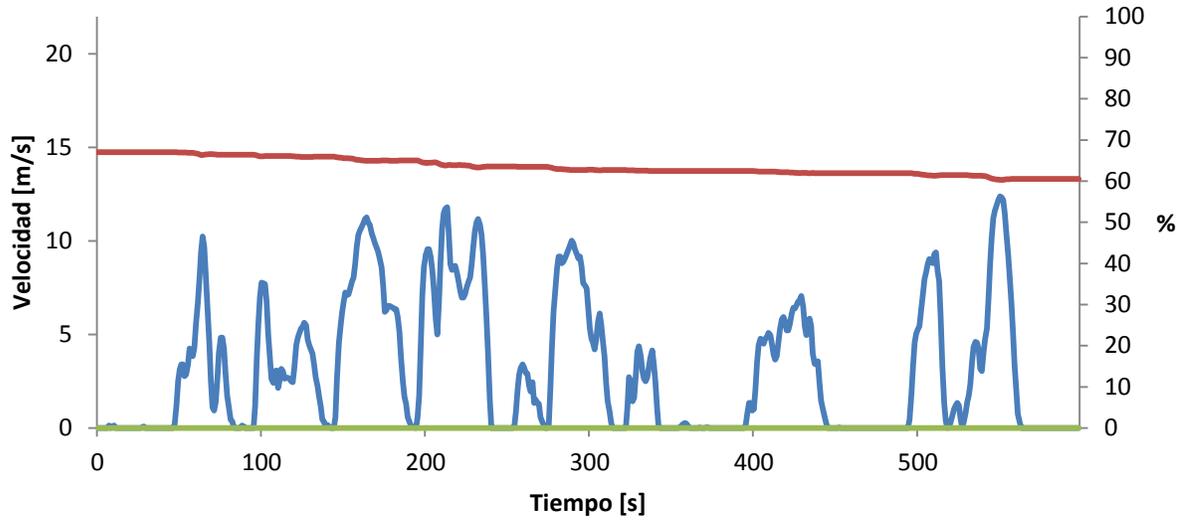


Figura A.3.301. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

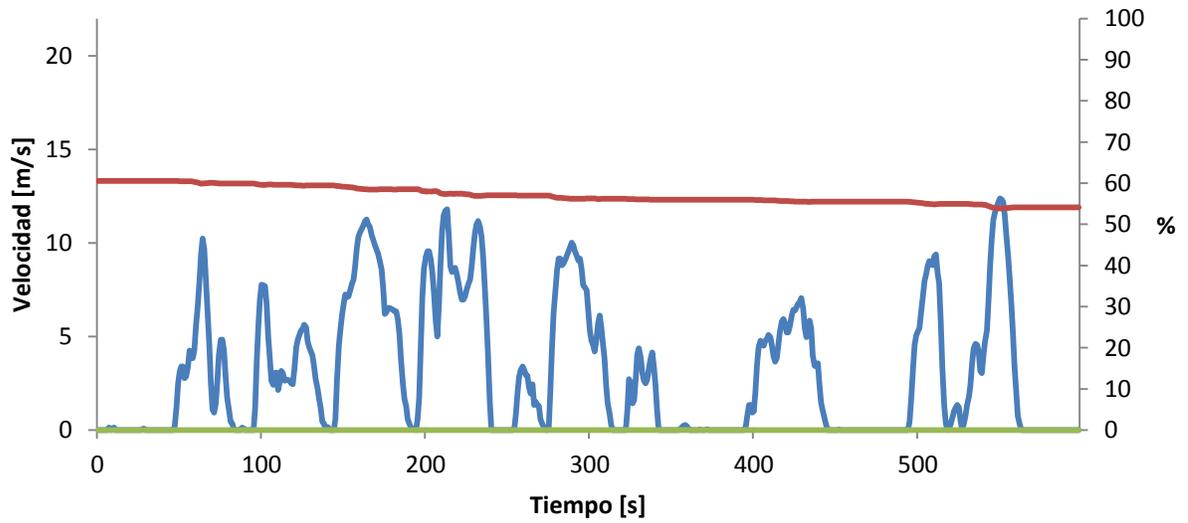


Figura A.3.302. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

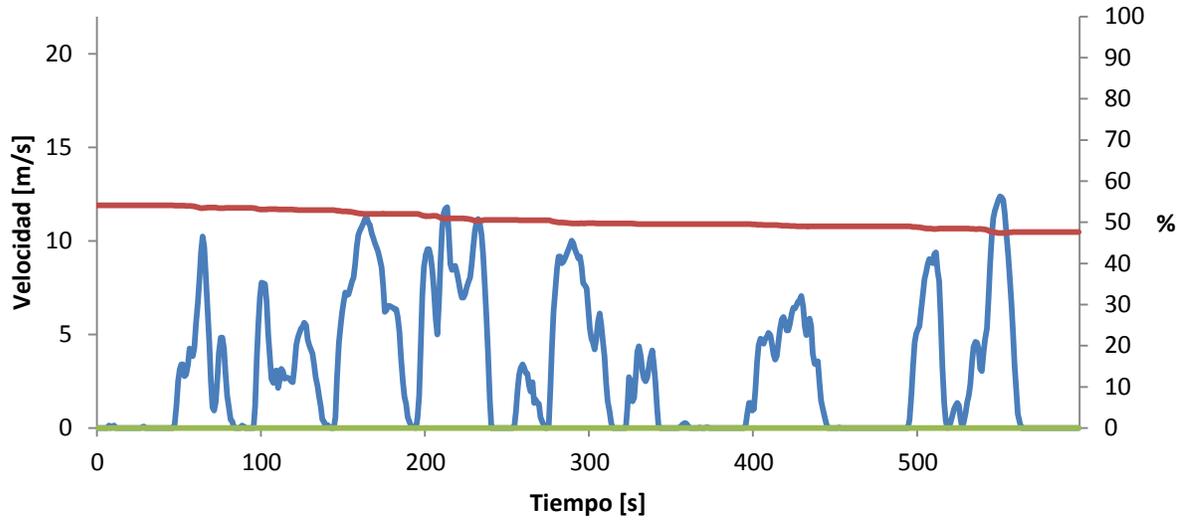


Figura A.3.303. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

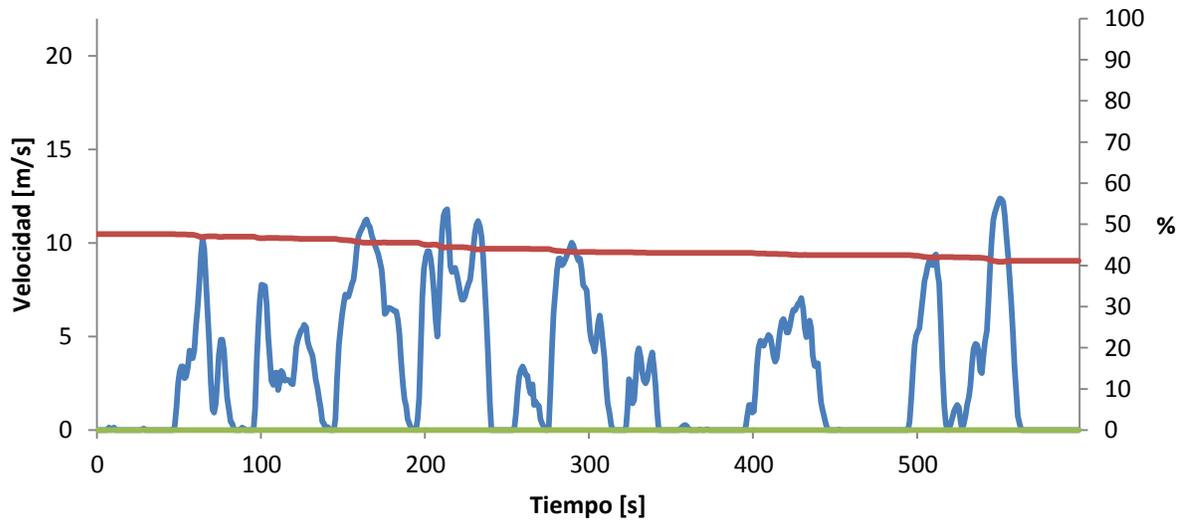


Figura A.3.304. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

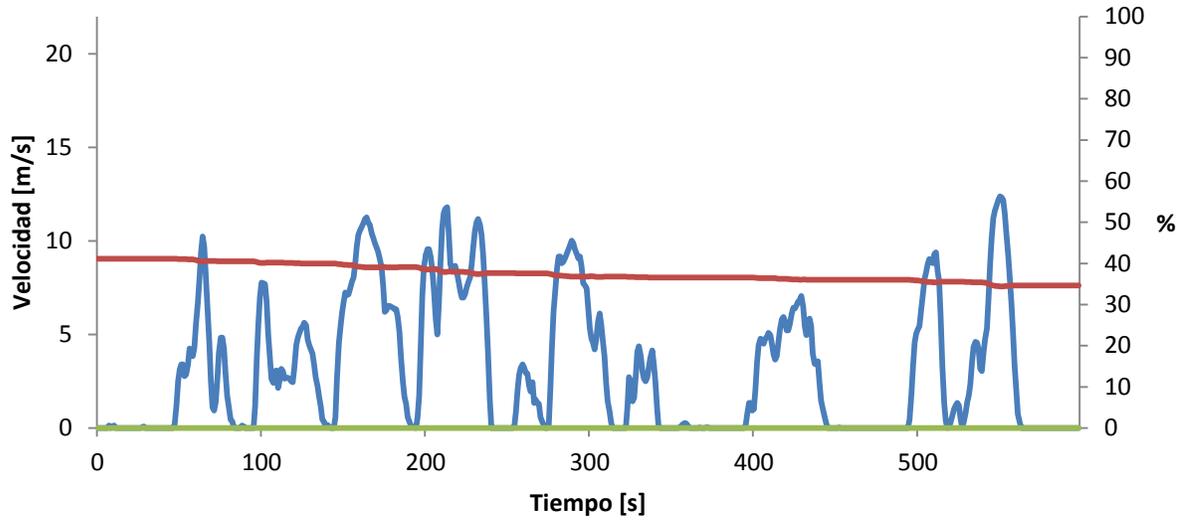


Figura A.3.305. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCI_R/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

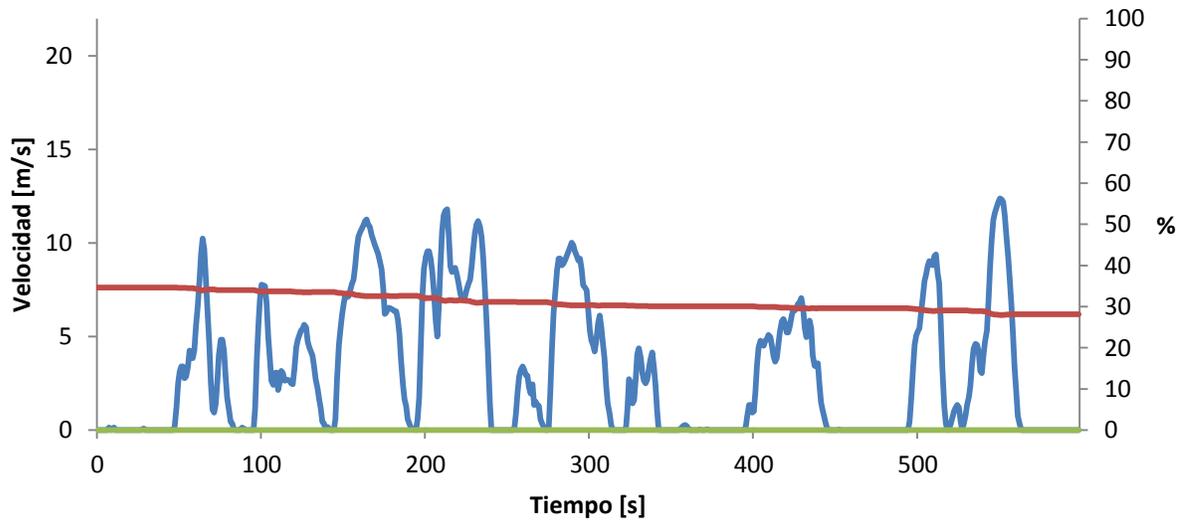


Figura A.3.306. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCI_R/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

Anexos

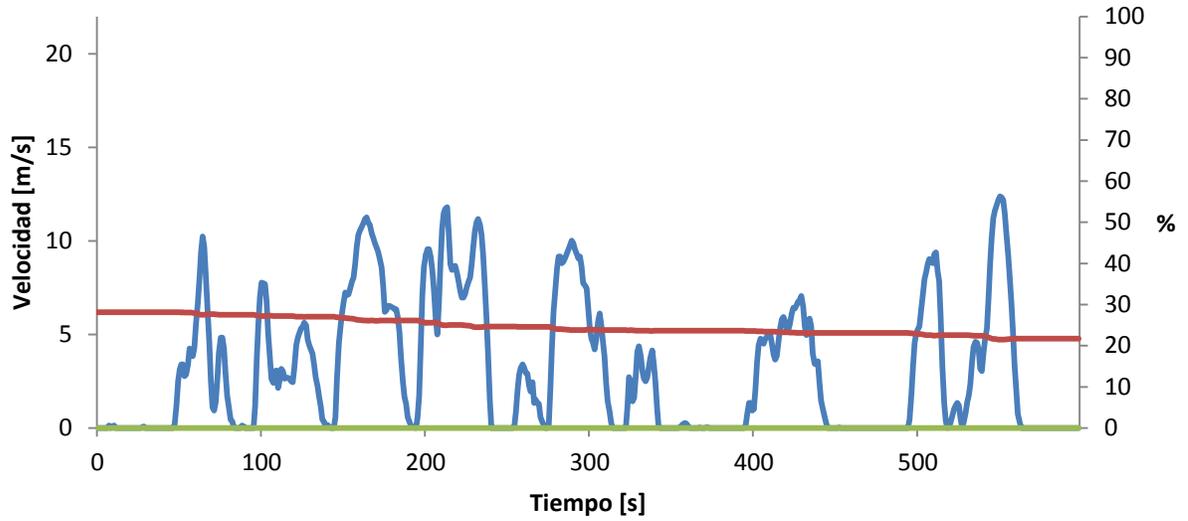


Figura A.3.307. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

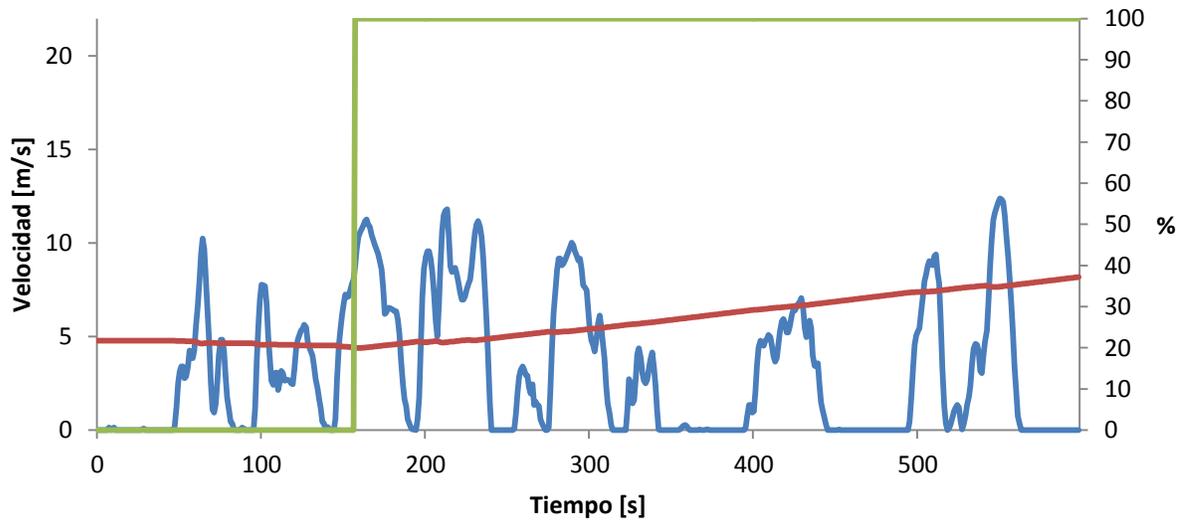


Figura A.3.308. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 80%

3.2.3.6.2.-Ciclo NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 50%

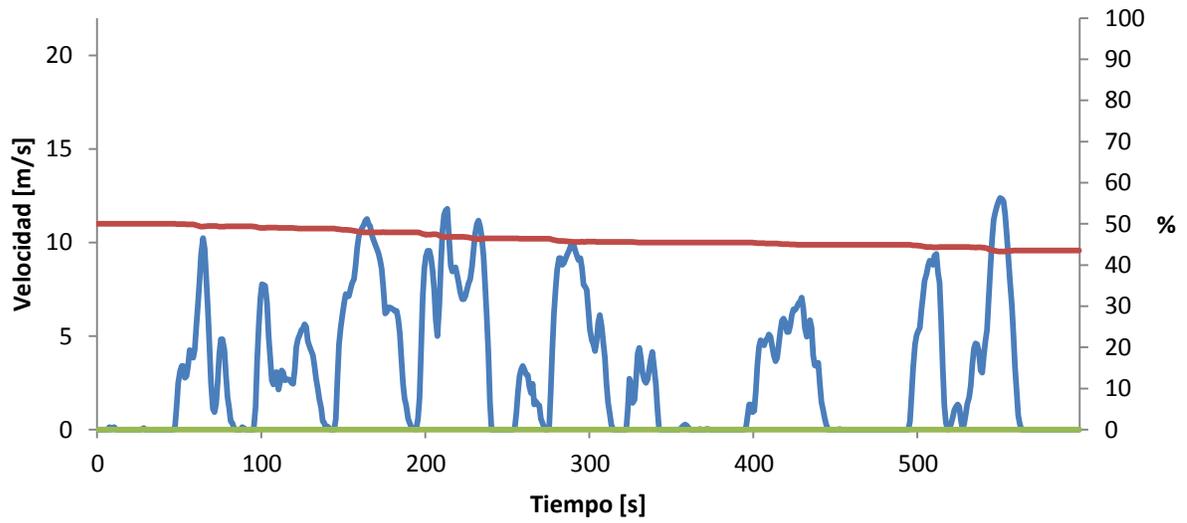


Figura A.3.309. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

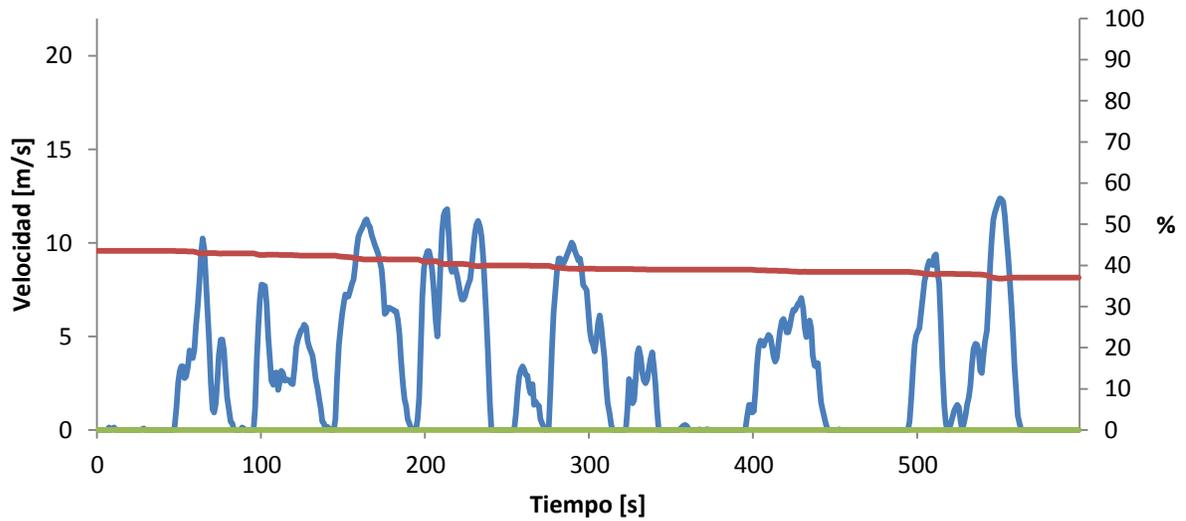


Figura A.3.310. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

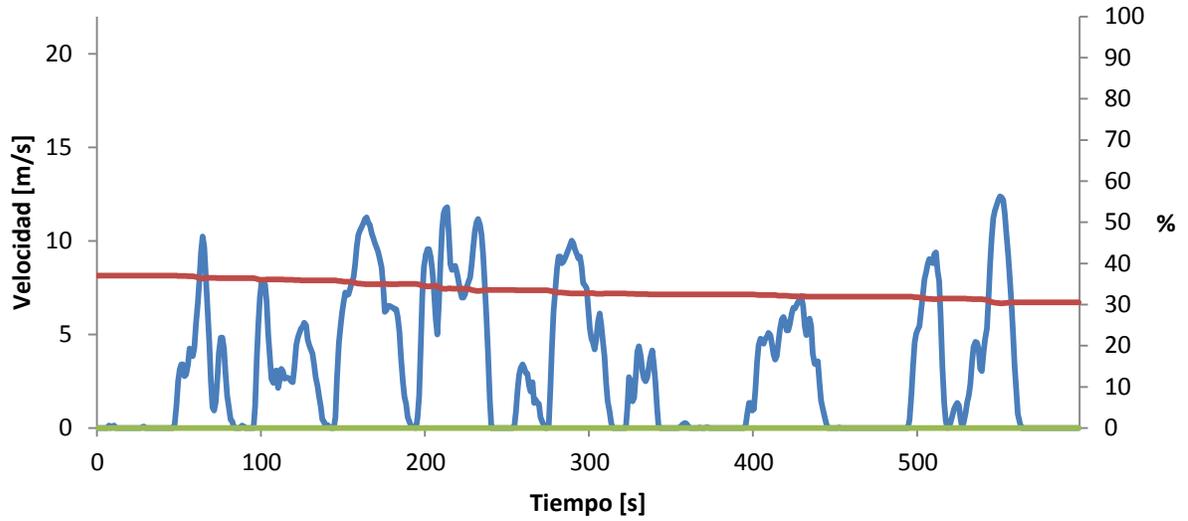


Figura A.3.311. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

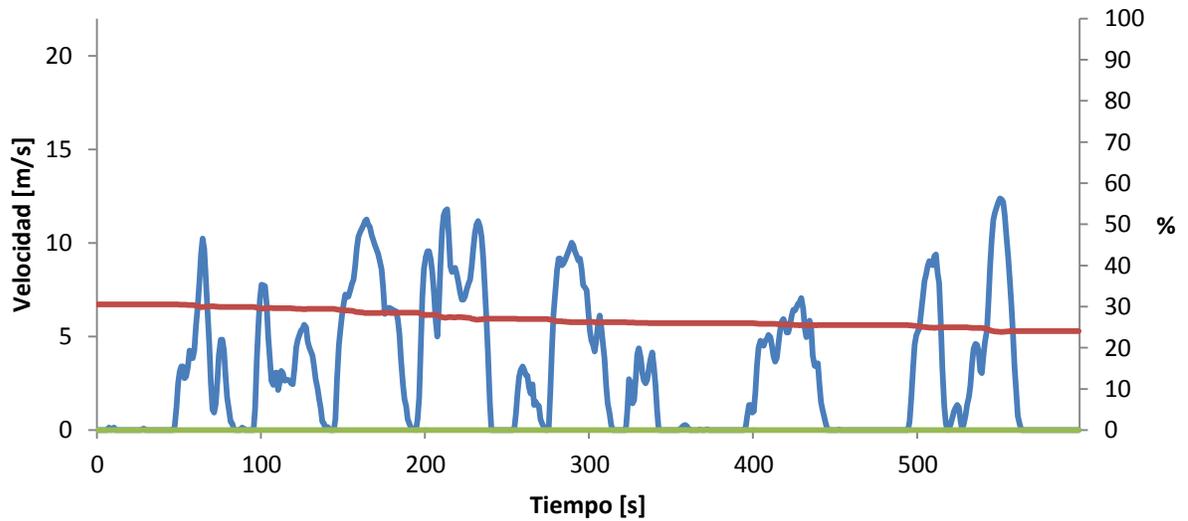


Figura A.3.312. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

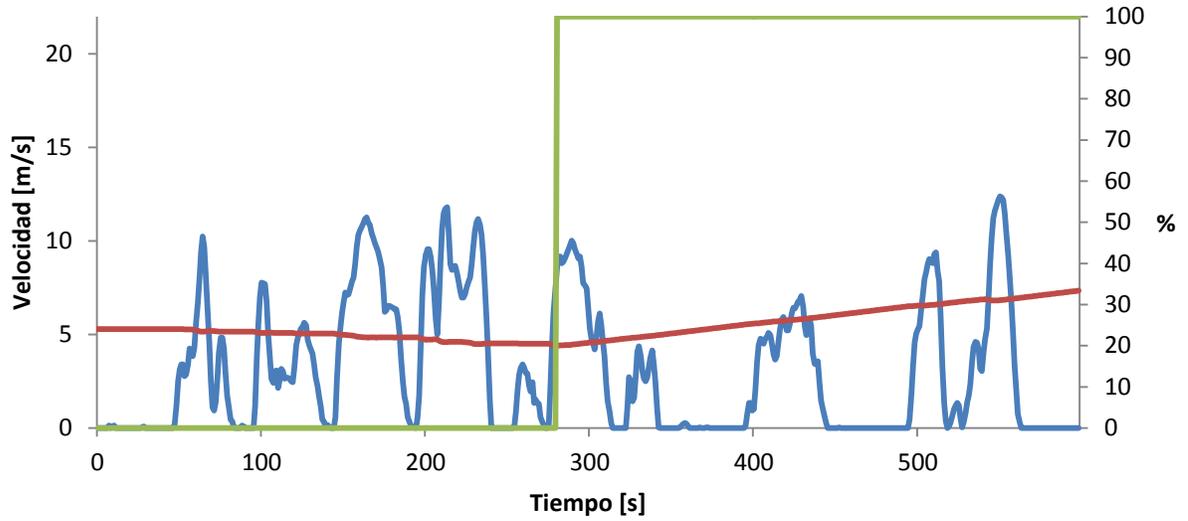


Figura A.3.313. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

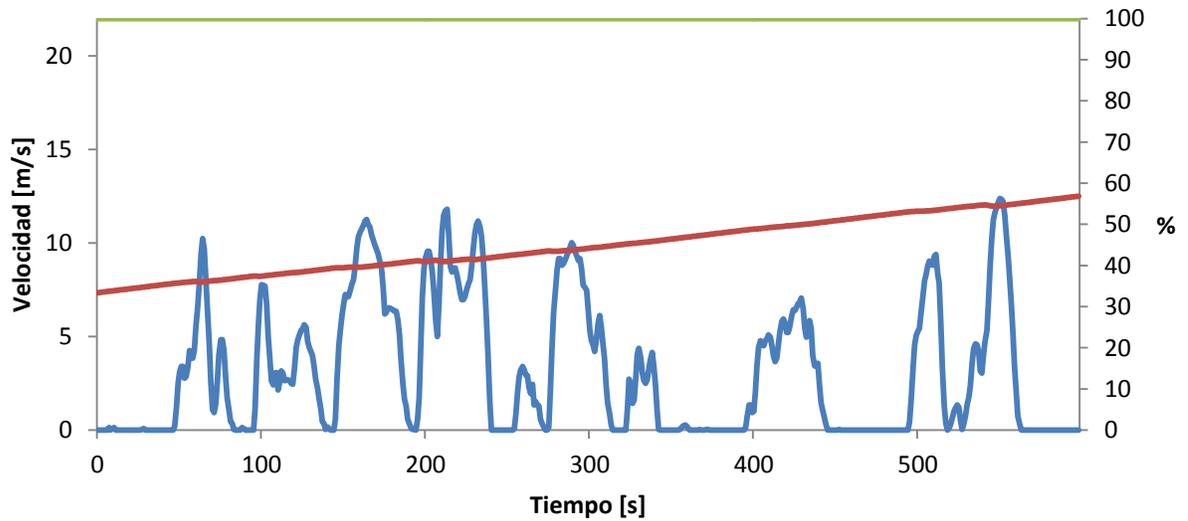


Figura A.3.314. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

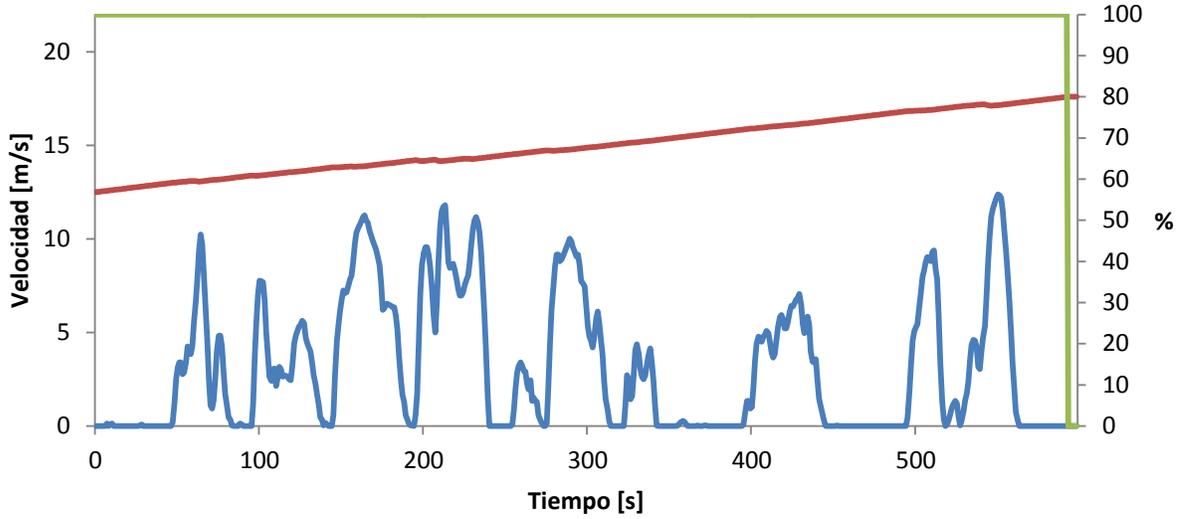


Figura A.3.315. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

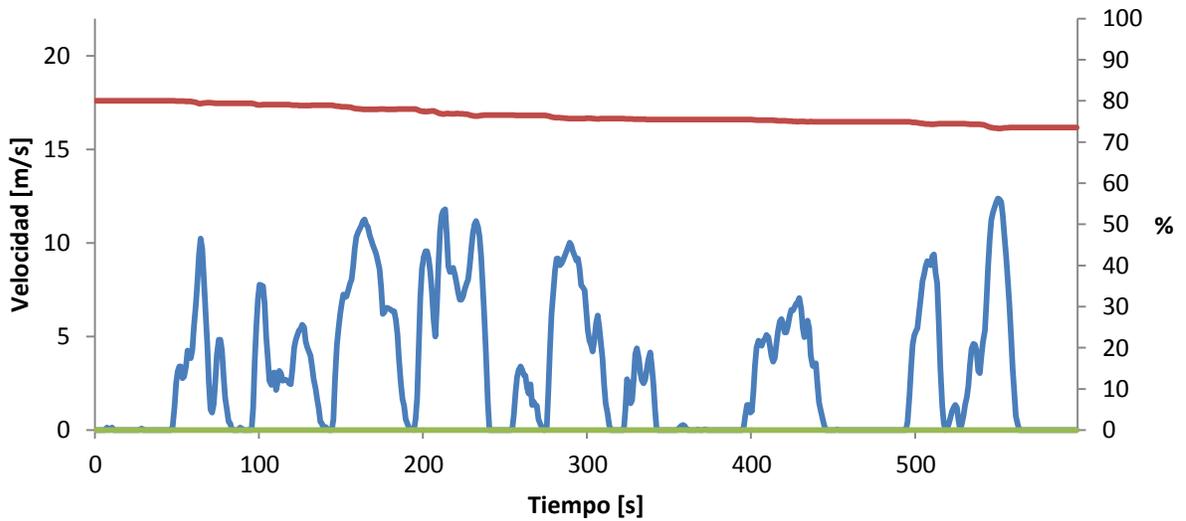


Figura A.3.316. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

Anexos

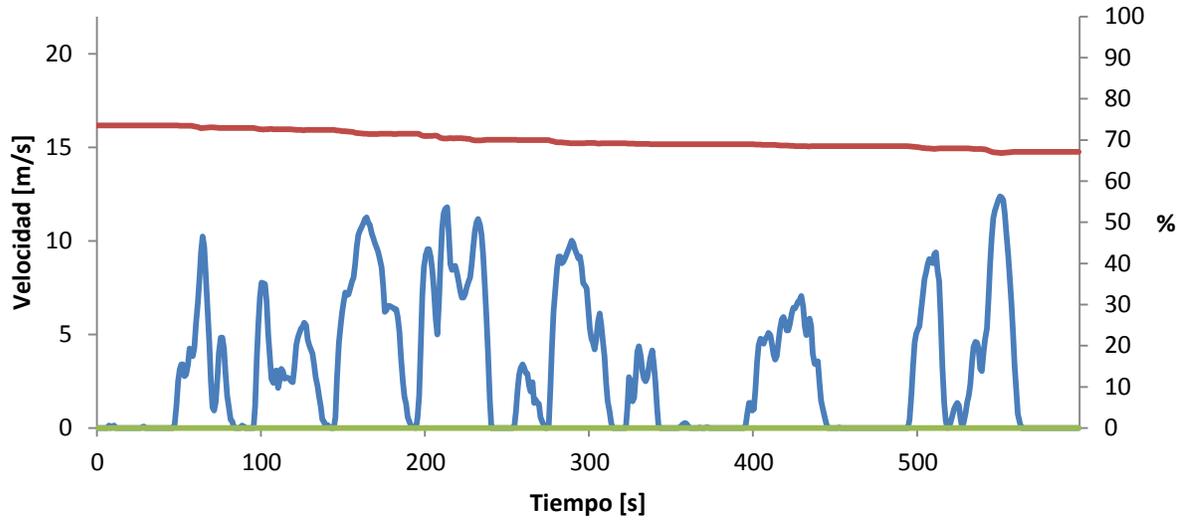


Figura A.3.317. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

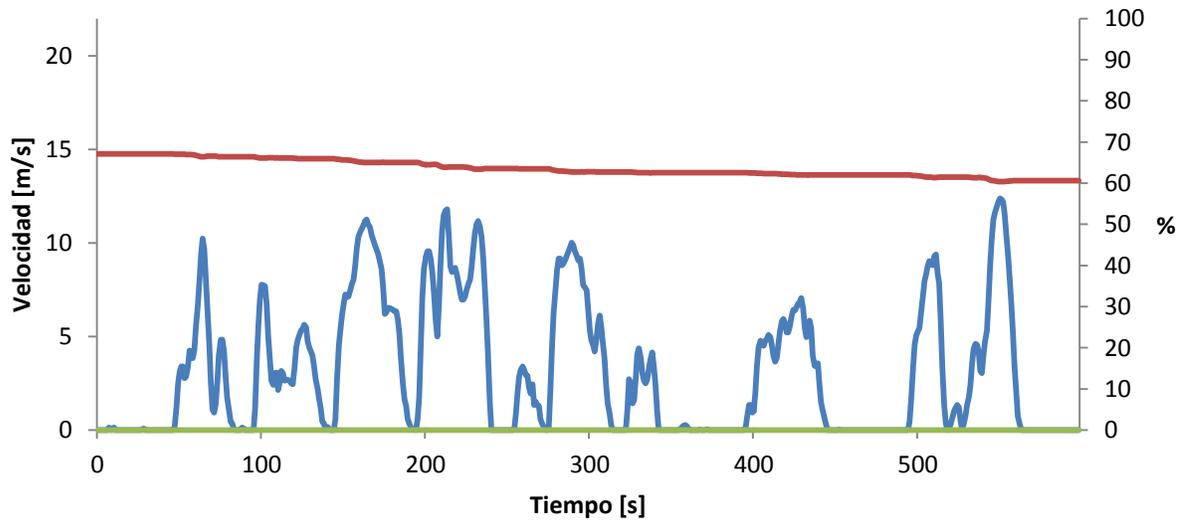


Figura A.3.318. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 50%

3.2.3.6.3.-Ciclo NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 20%

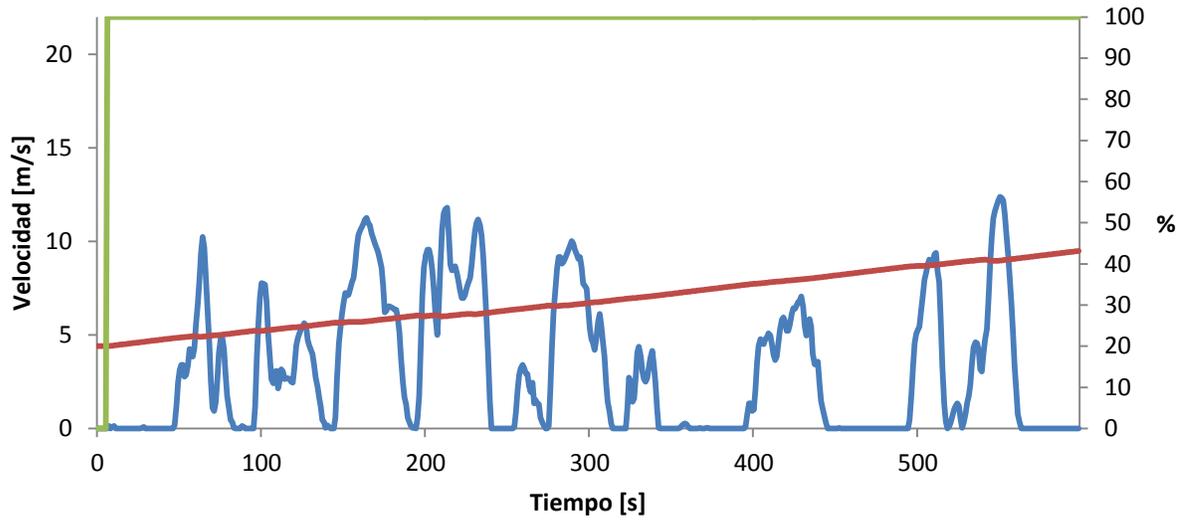


Figura A.3.319. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #1 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

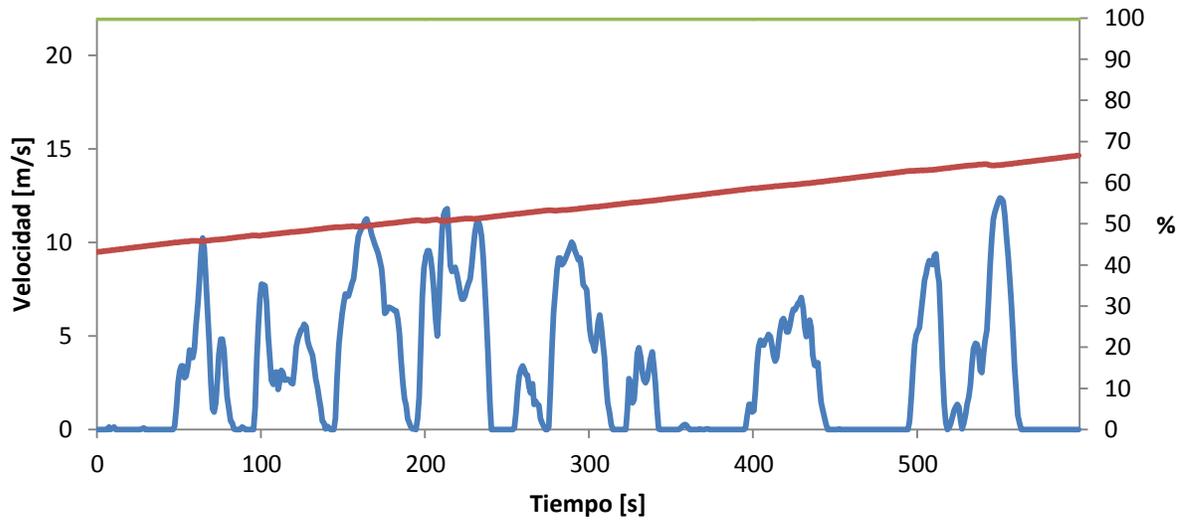


Figura A.3.320. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #2 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

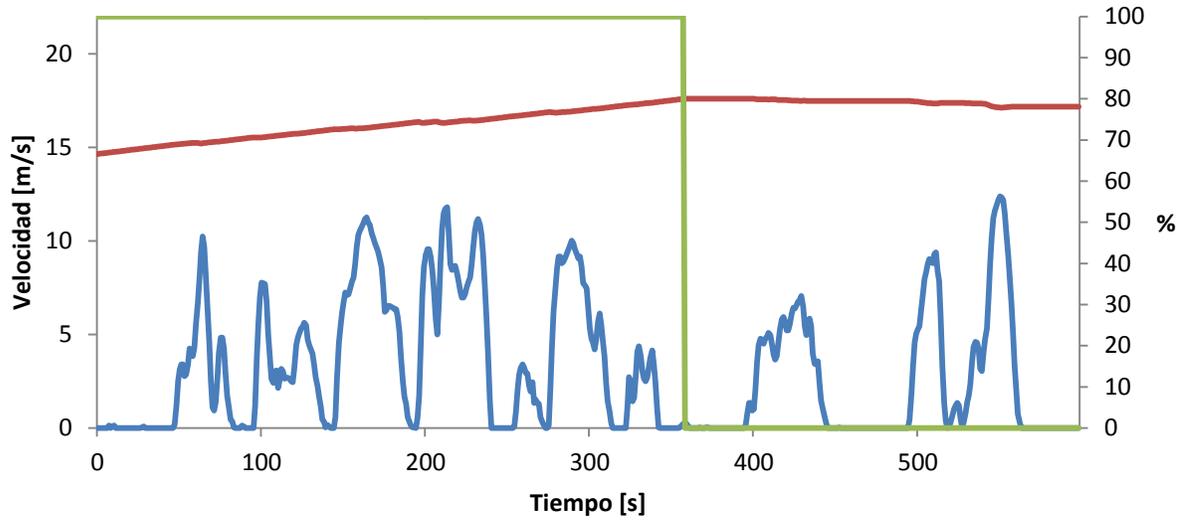


Figura A.3.321. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #3 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

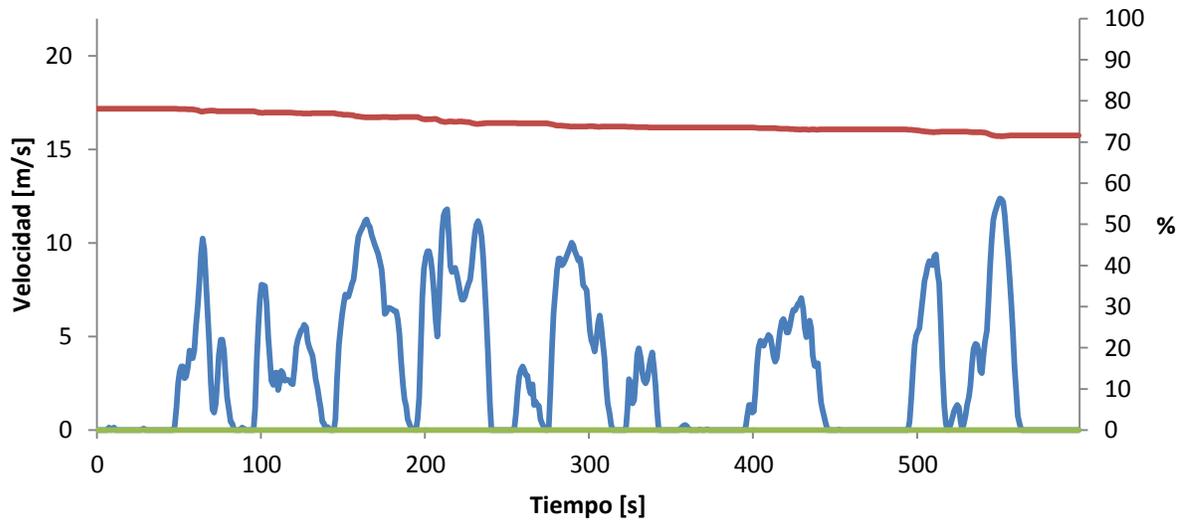


Figura A.3.322. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #4 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

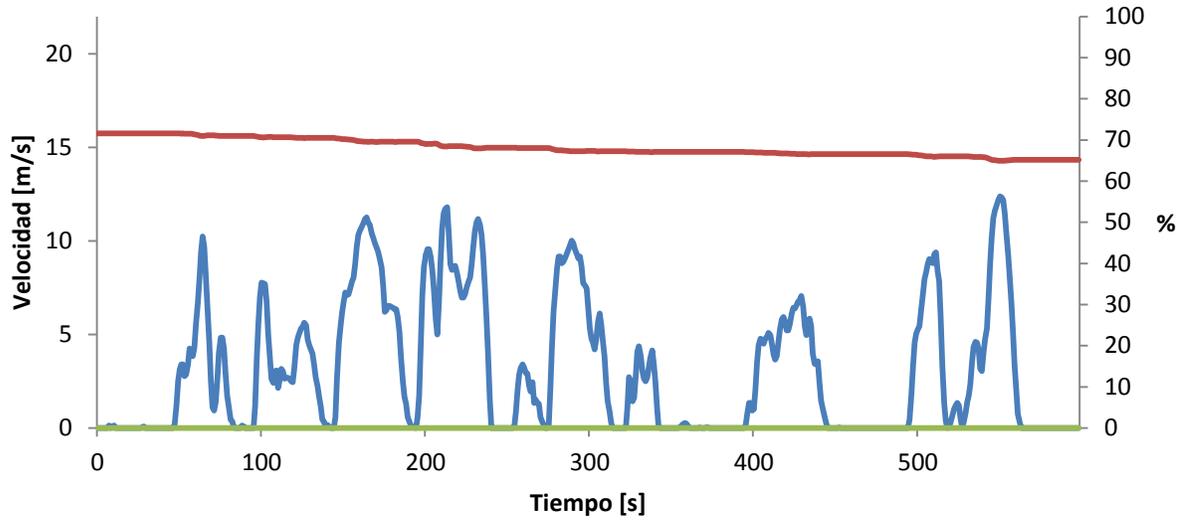


Figura A.3.323. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #5 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

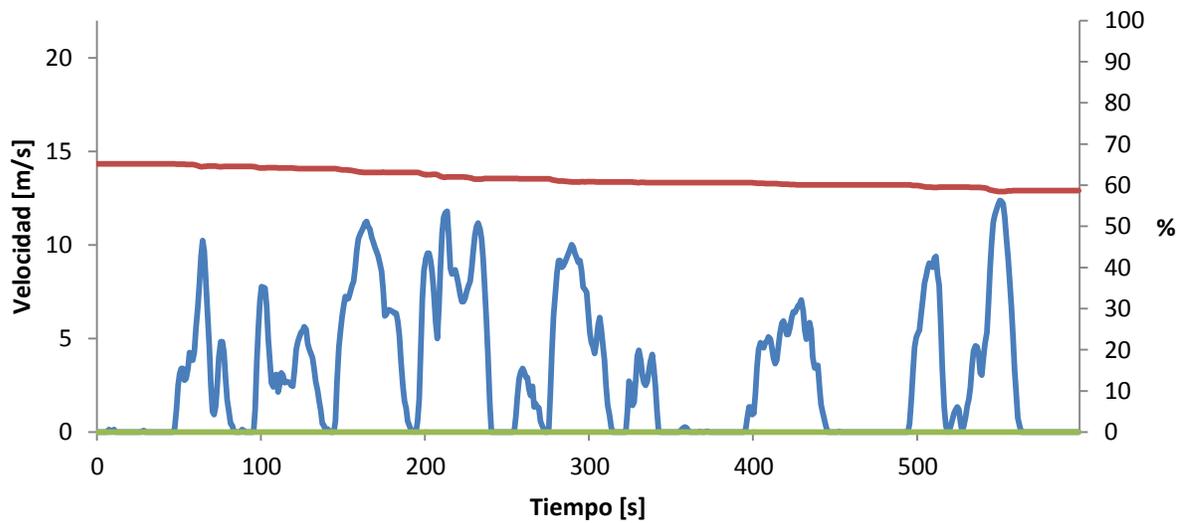


Figura A.3.324. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #6 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

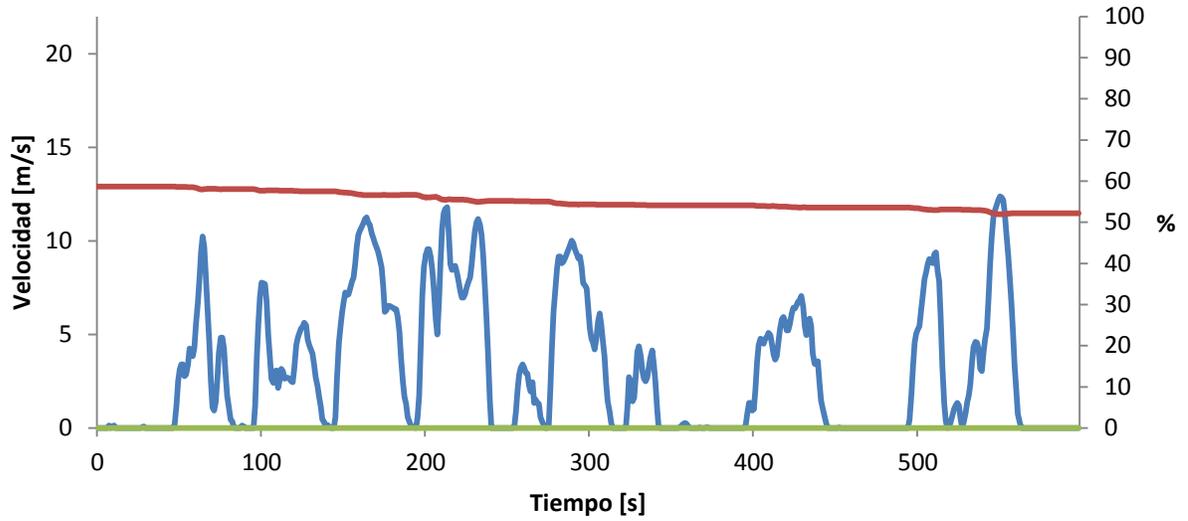


Figura A.3.325. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #7 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

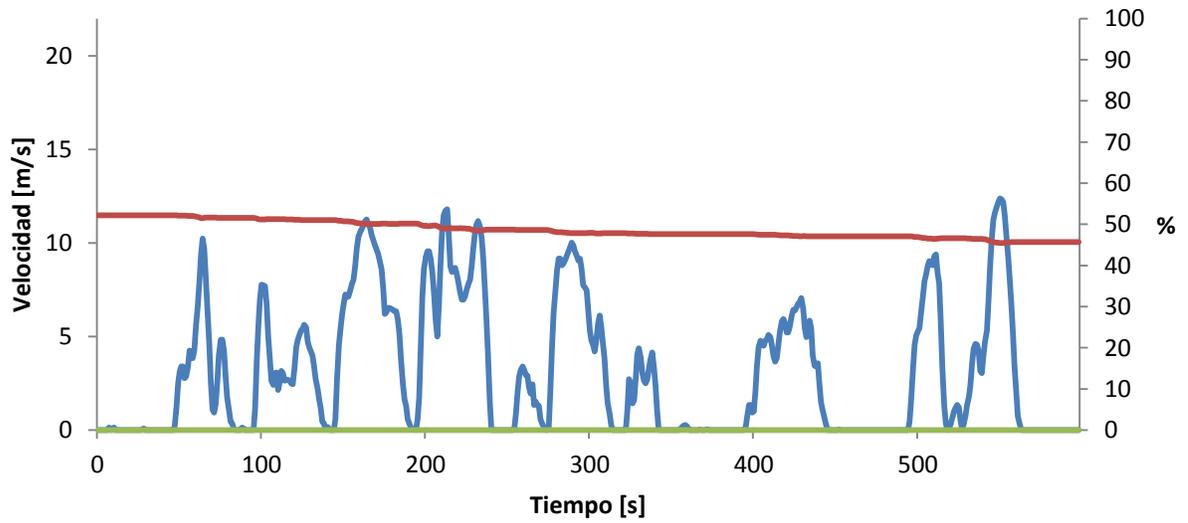


Figura A.3.326. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #8 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

Anexos

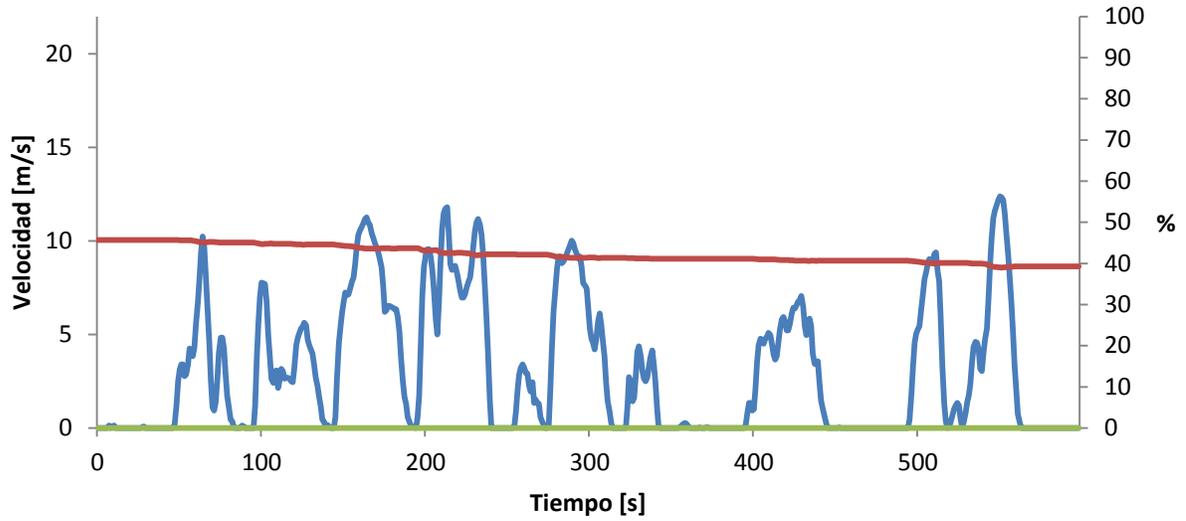


Figura A.3.327. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #9 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

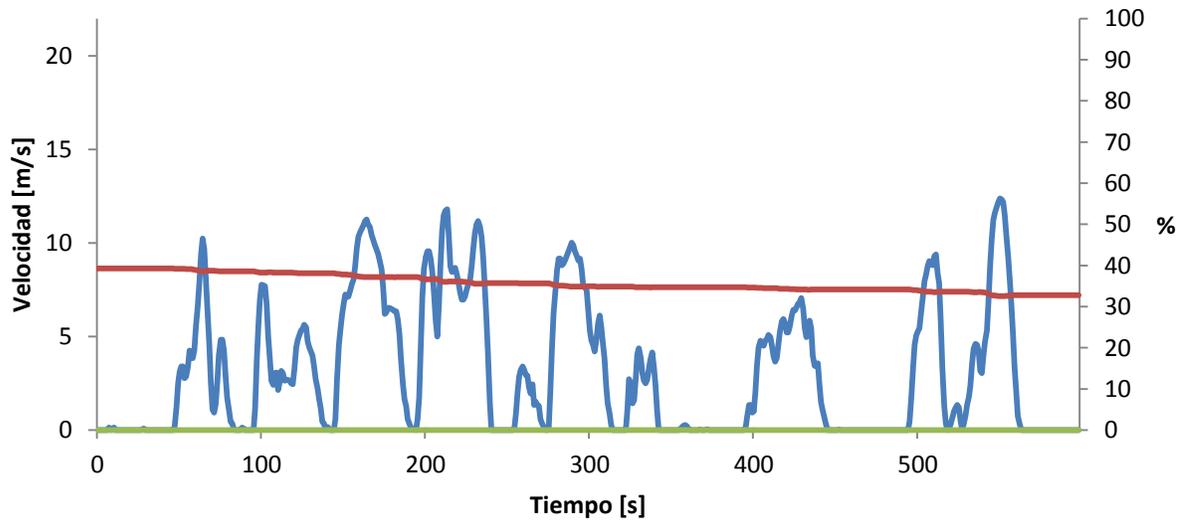


Figura A.3.328. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, corrida #10 para calcular el consumo de combustible partiendo de un estado de carga inicial de 20%

A.3.2.4.-Gráficas de simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC a distintos estados de carga

3.2.4.1.-Simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 80%

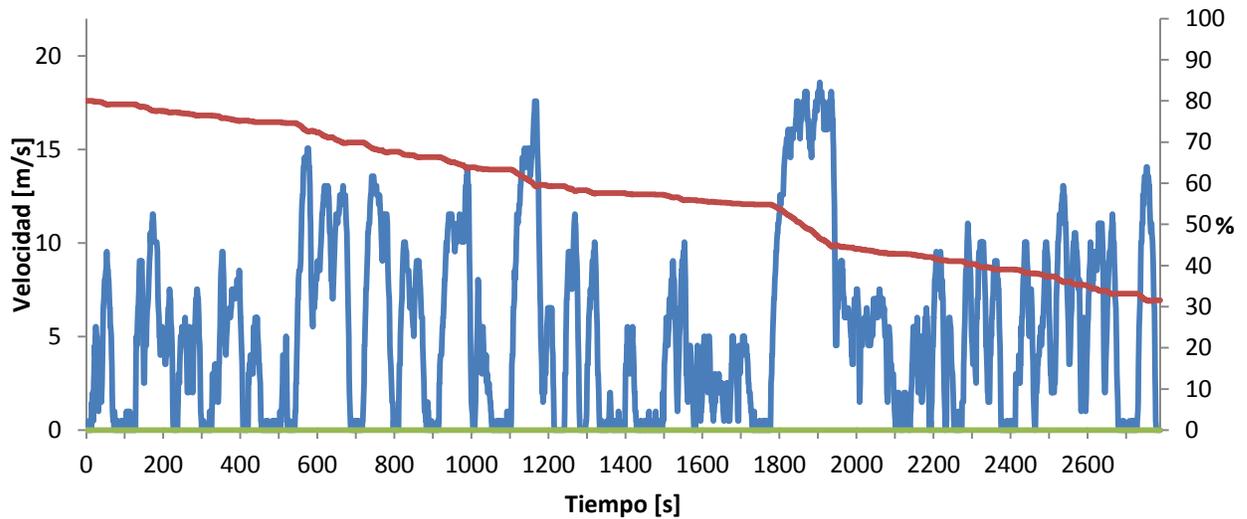


Figura A.3.329. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 80% para el ciclo I

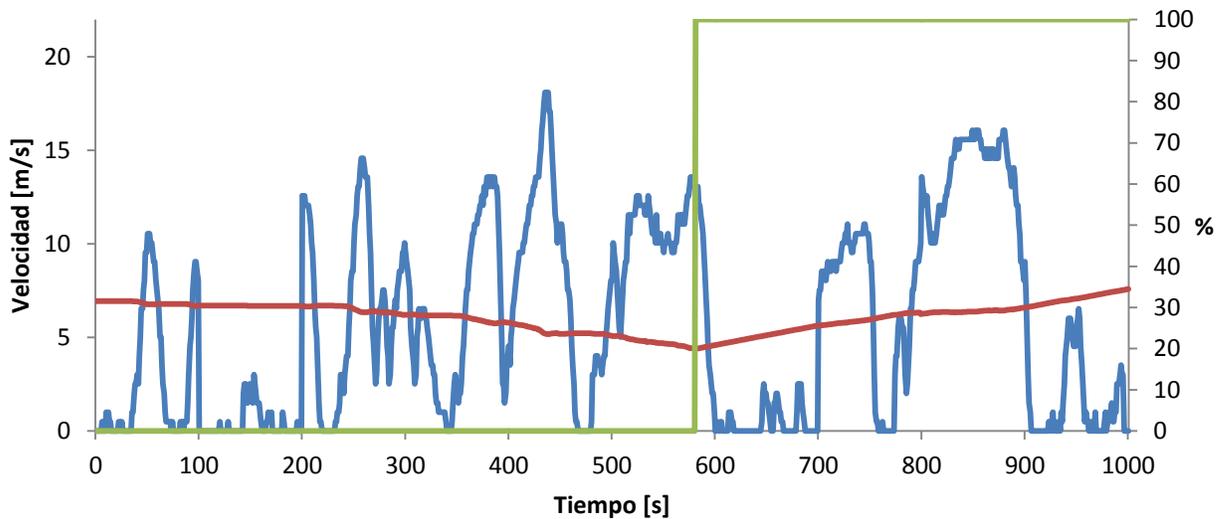


Figura A.3.330. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 80% para el ciclo I

Anexos

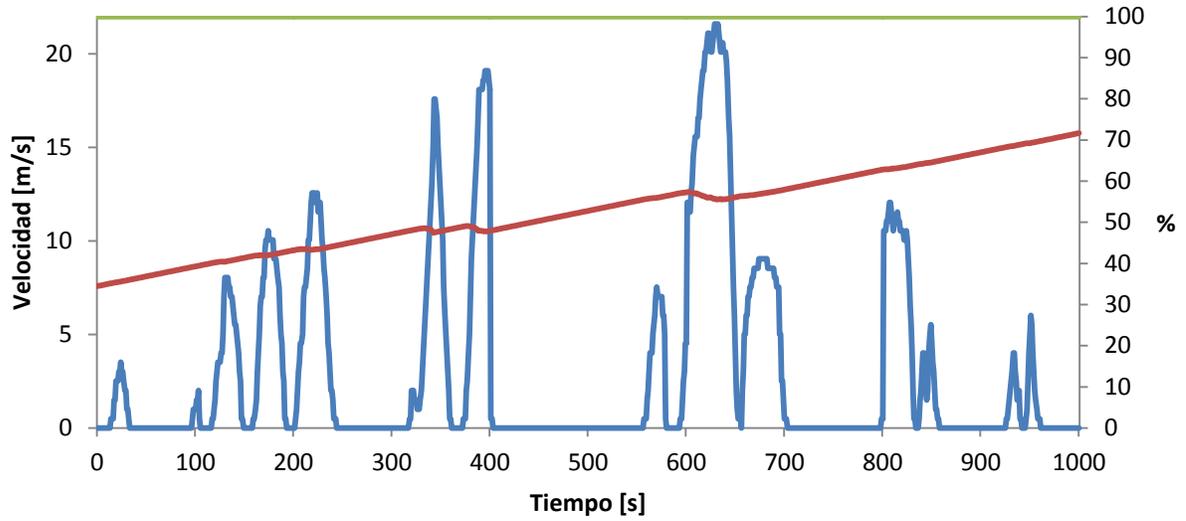


Figura A.3.331. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 80% para el ciclo I

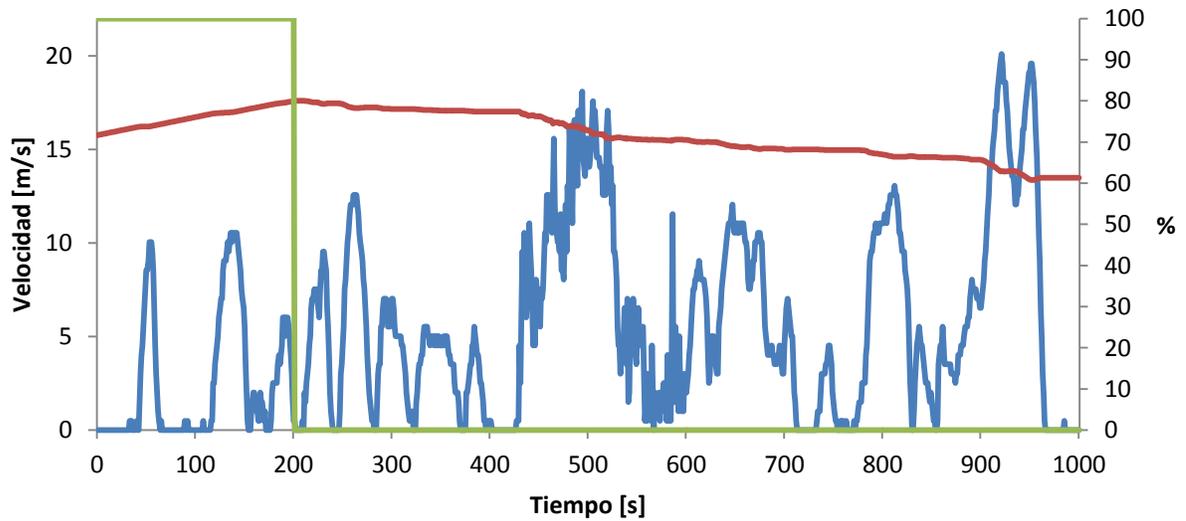


Figura A.3.332. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 80% para el ciclo I

Anexos

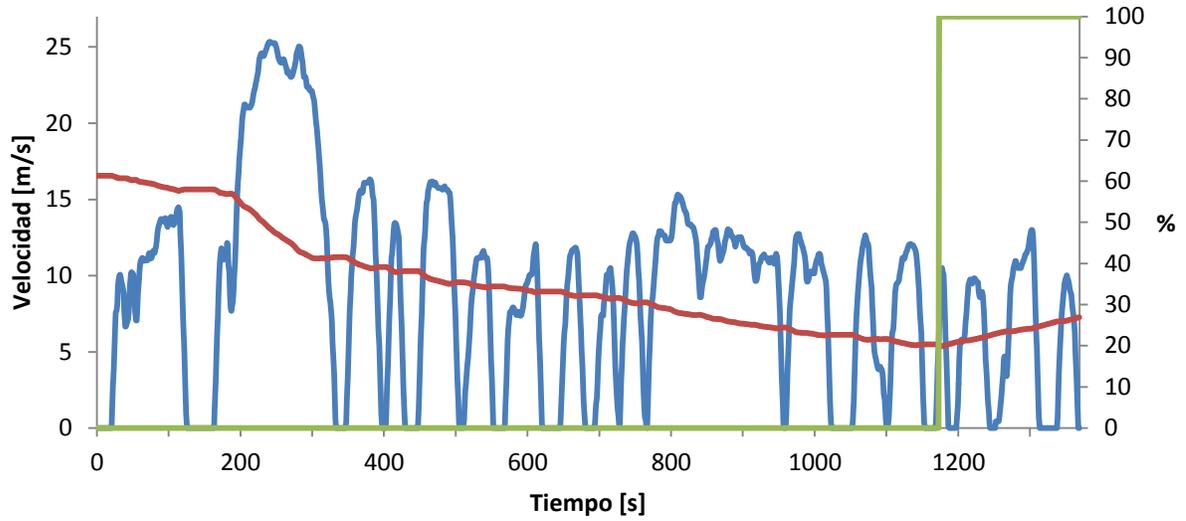


Figura A.3.333. – Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 80% para el ciclo I

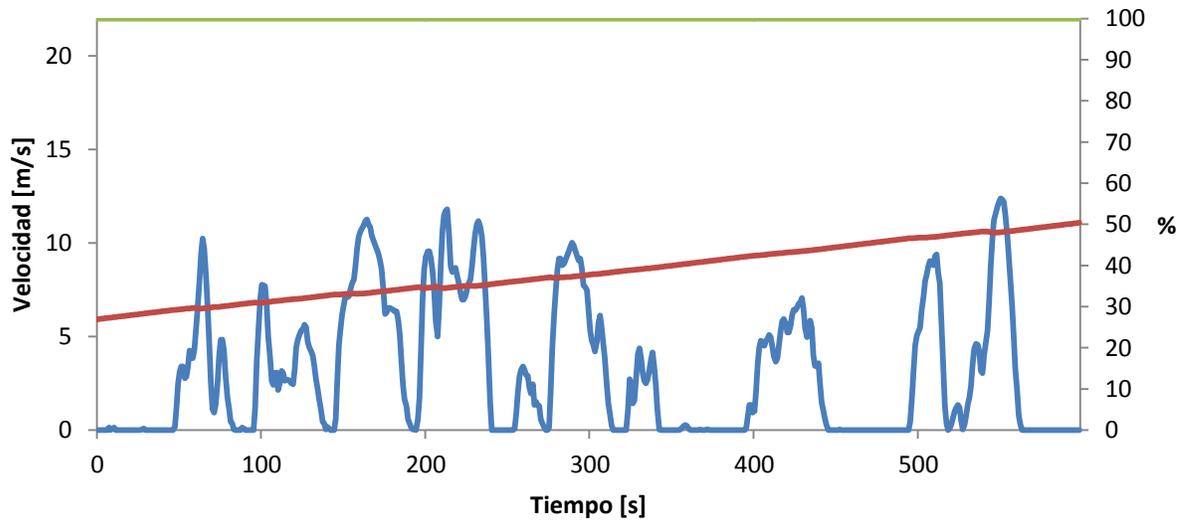


Figura A.3.334. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 80% para el ciclo I

3.2.4.2.-Simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 50%

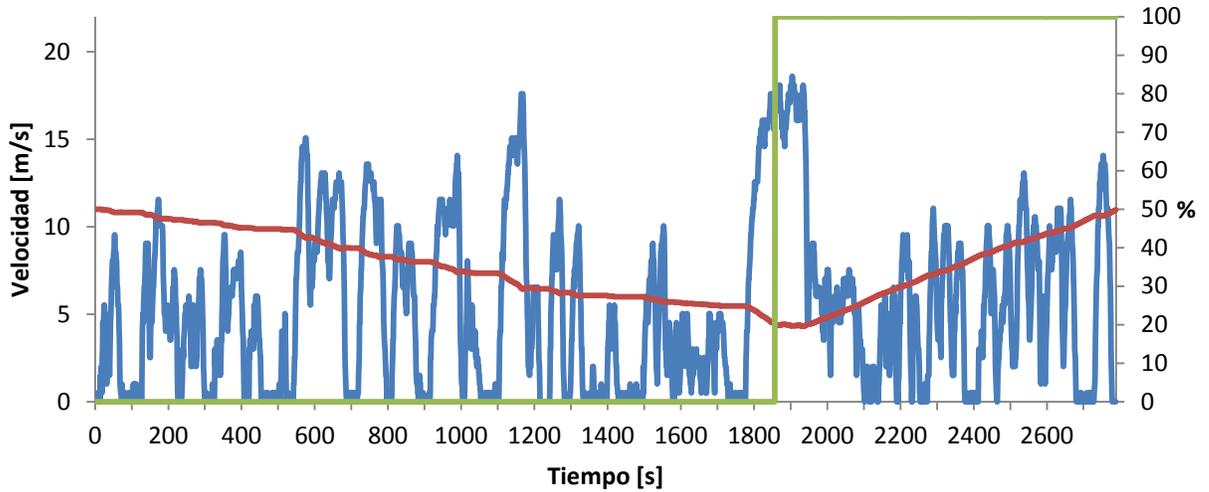


Figura A.3.335. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 50% para el ciclo I

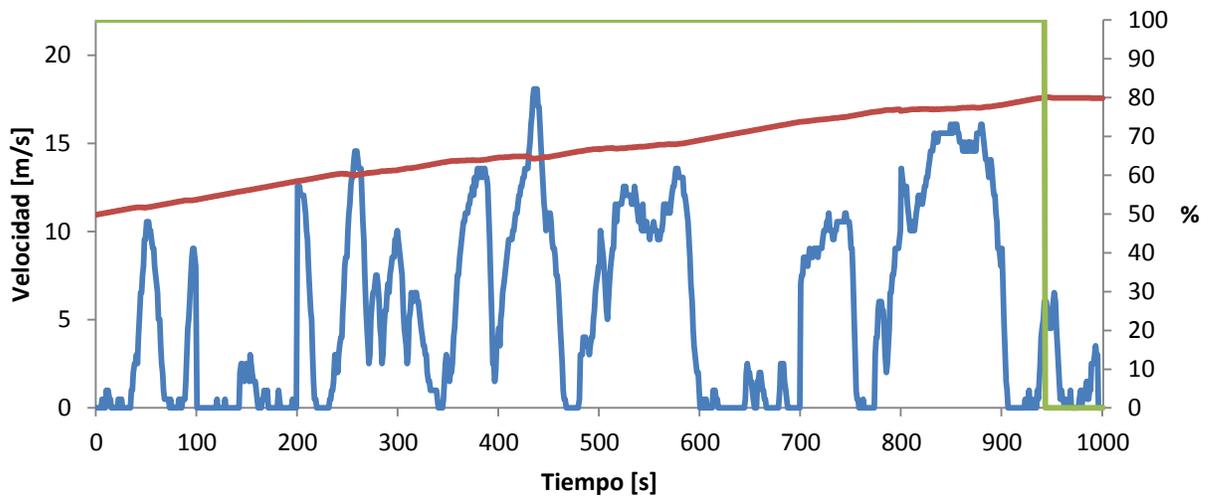


Figura A.3.336. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 50% para el ciclo I

Anexos

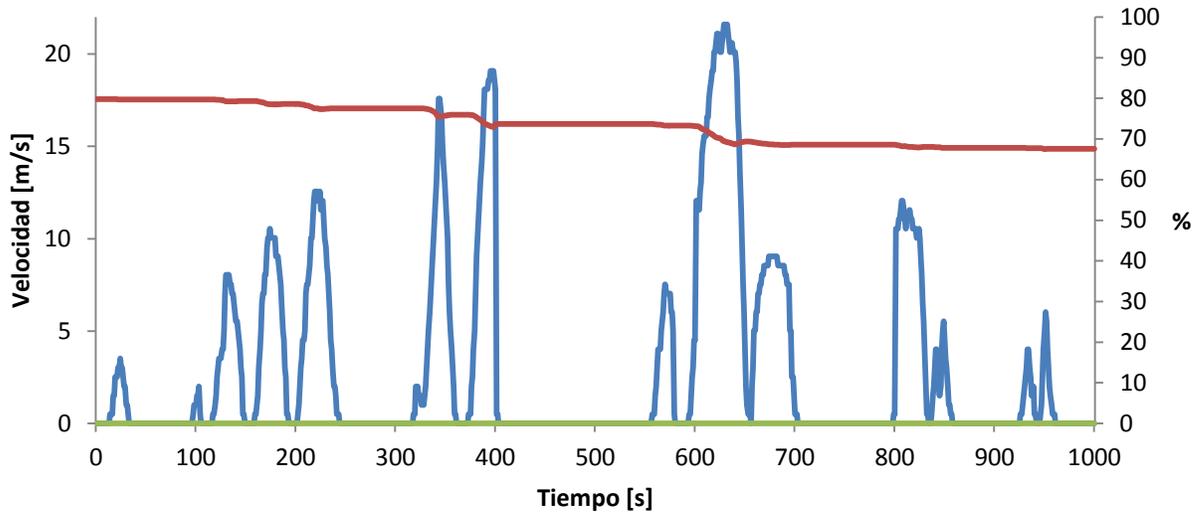


Figura A.3.337. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 50% para el ciclo I

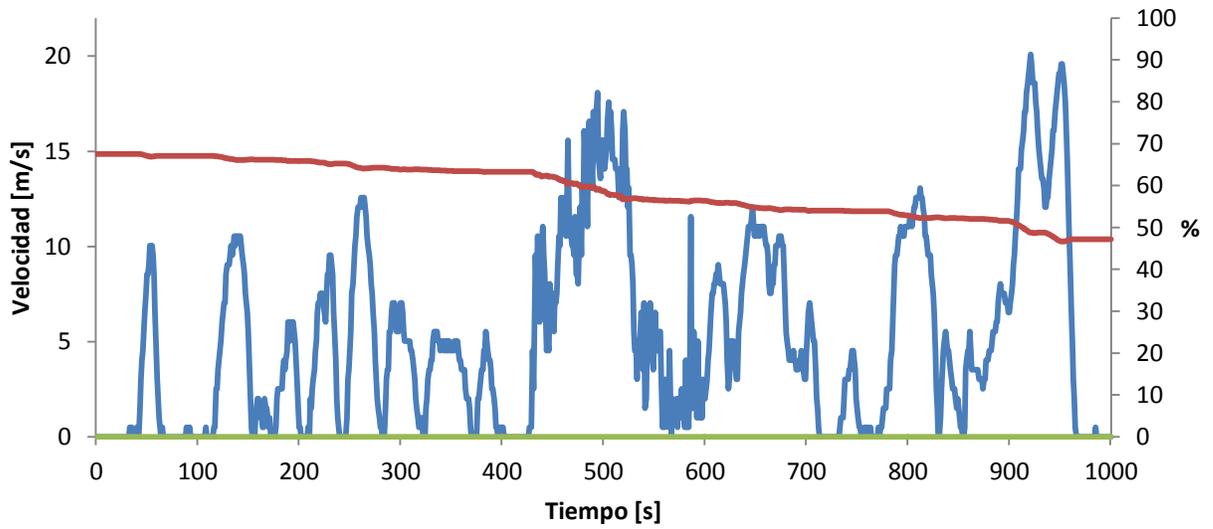


Figura A.3.338. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 50% para el ciclo I

Anexos

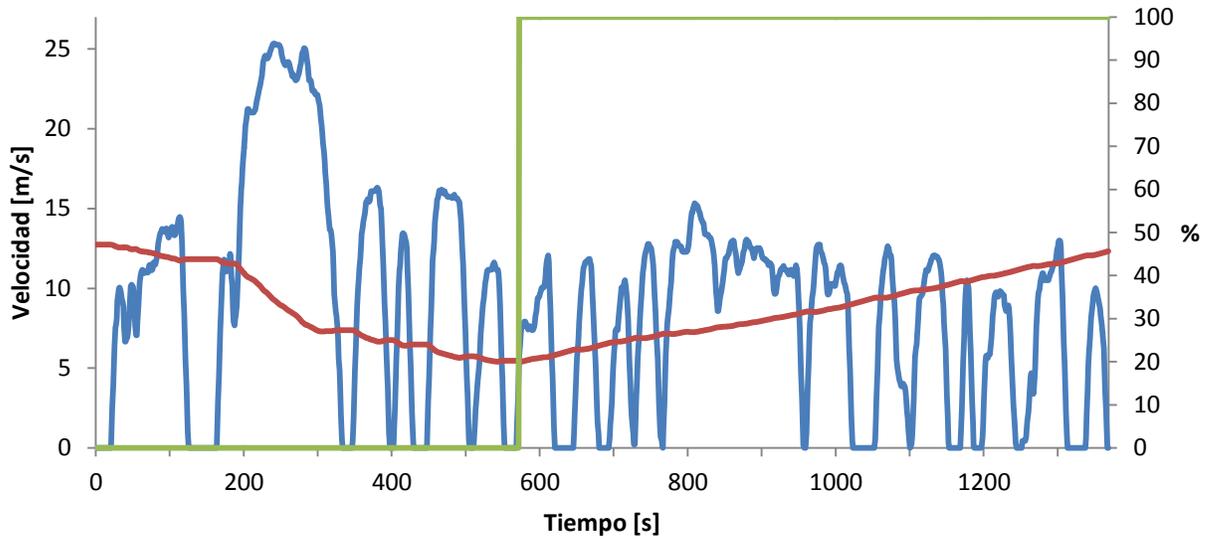


Figura A.3.339. – Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 50% para el ciclo I

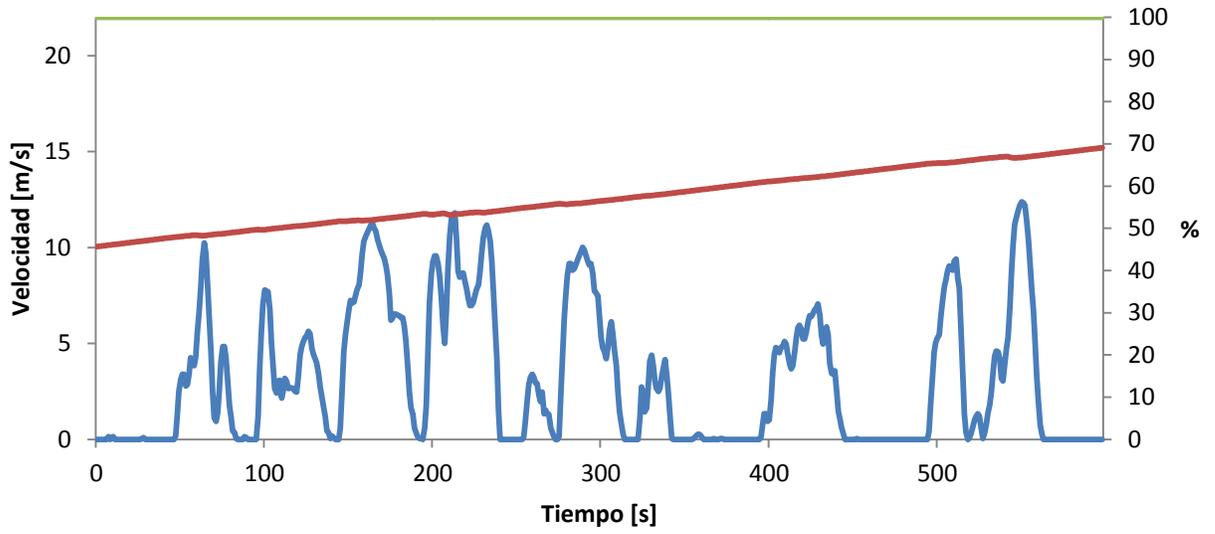


Figura A.3.340. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 50% para el ciclo I

3.2.4.3.-Simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, IV, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 20%

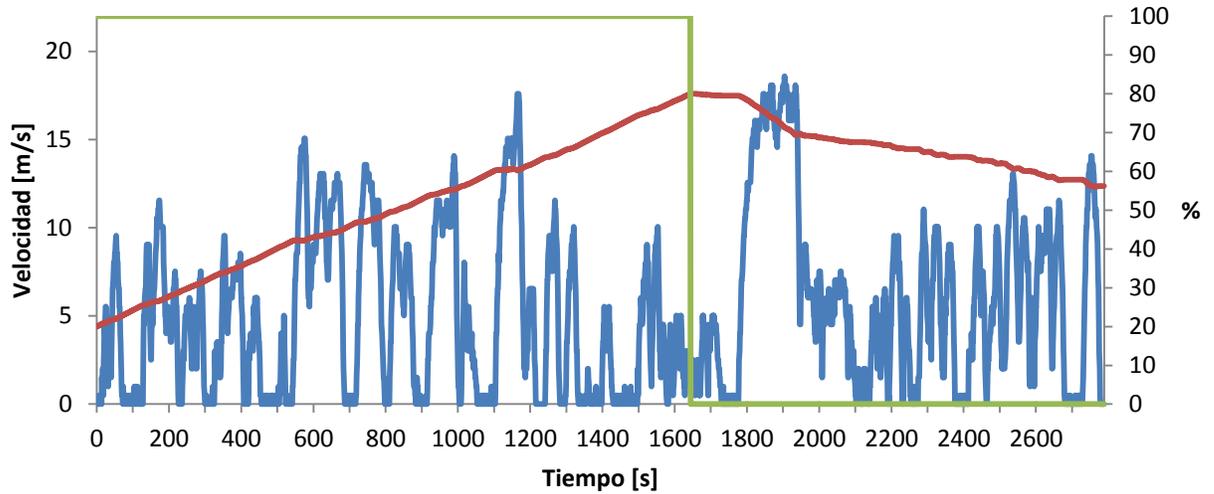


Figura A.3.341. - Ciclo I, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 20% para el ciclo I

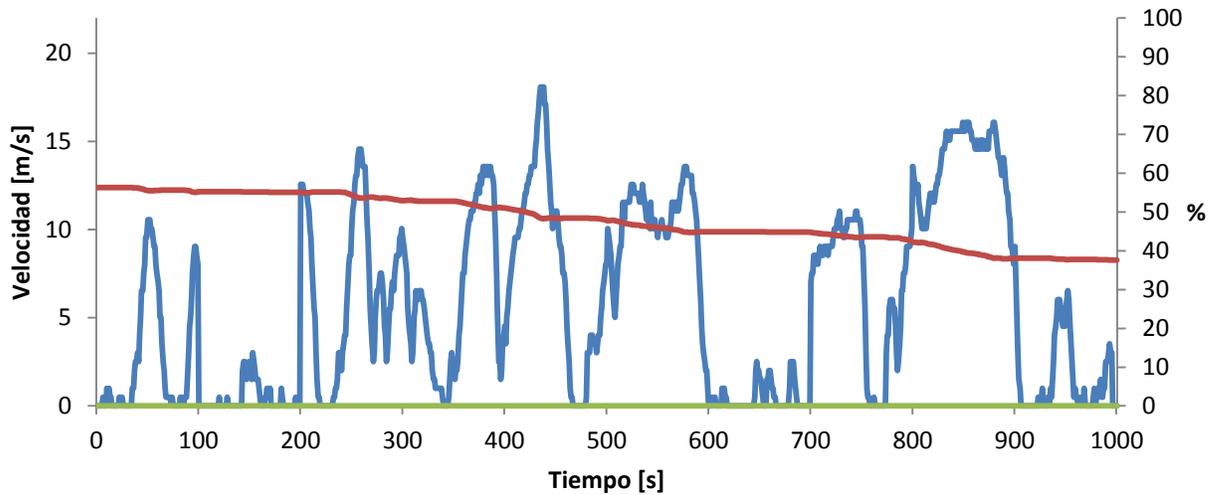


Figura A.3.342. - Ciclo II, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 20% para el ciclo I

Anexos

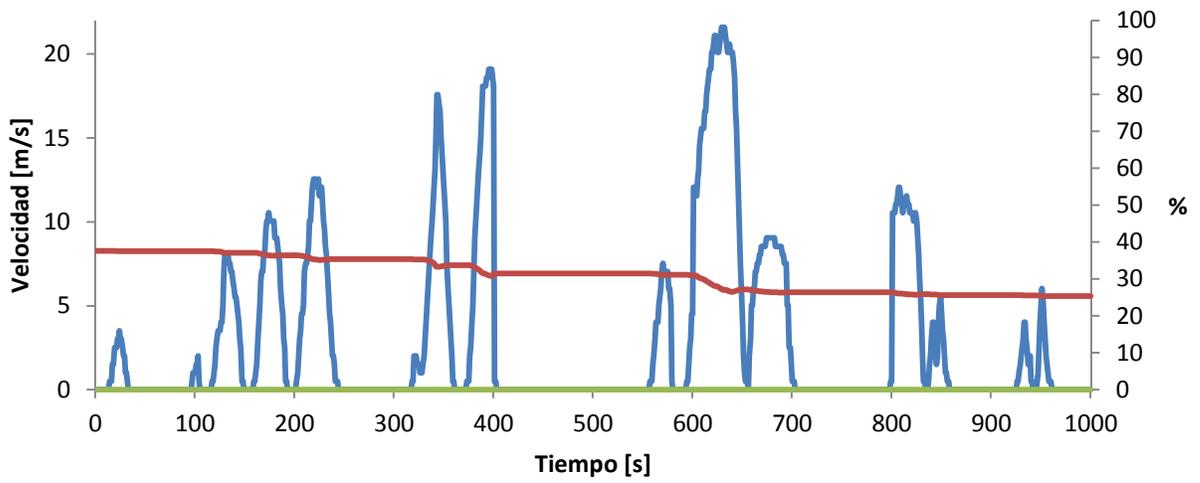


Figura A.3.343. - Ciclo III, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 20% para el ciclo I

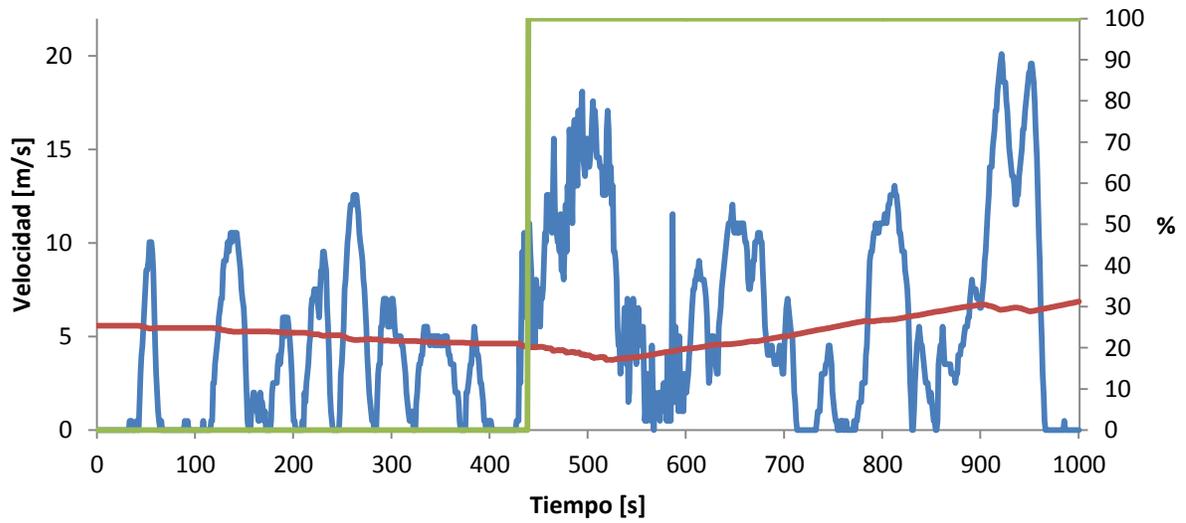


Figura A.3.344. - Ciclo IV, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 20% para el ciclo I

Anexos

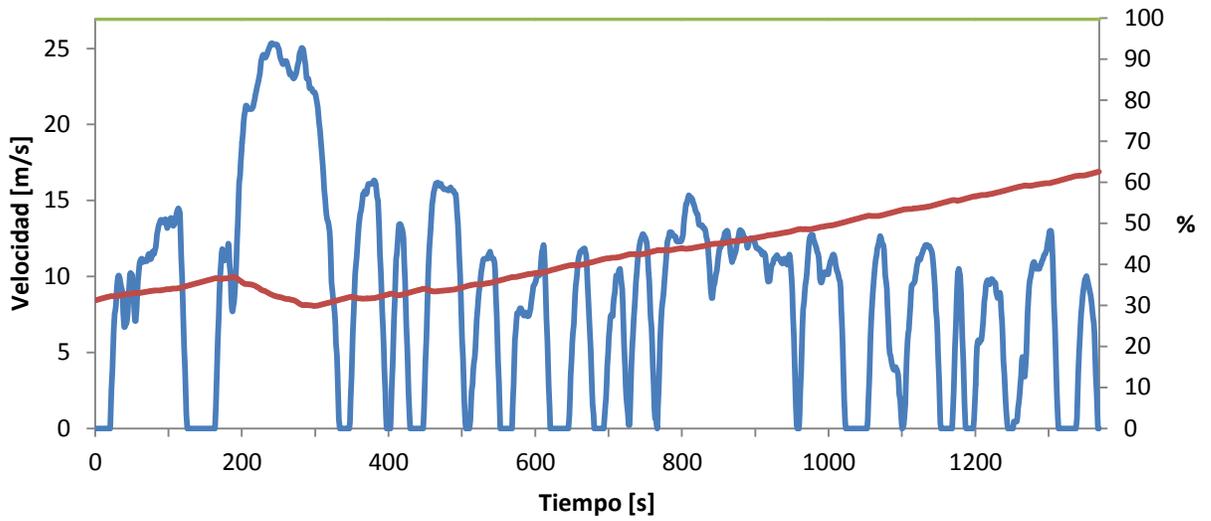


Figura A.3.345. - Ciclo UDDS, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 20% para el ciclo I

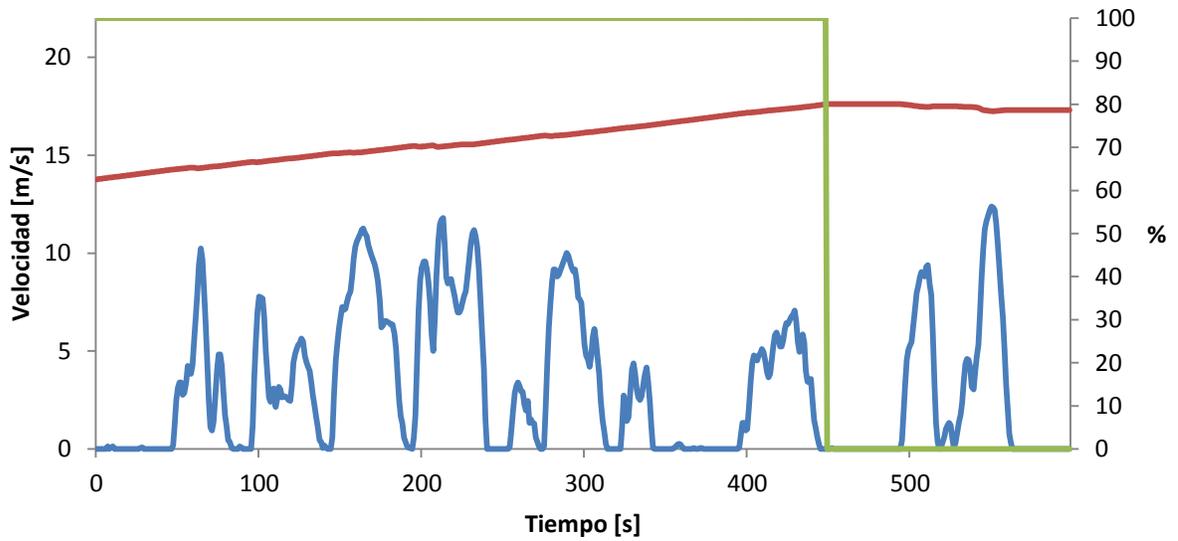


Figura A.3.346. - Ciclo NYCC, estados de carga y del MCIR/gen, simulaciones sucesivas de los ciclos I, II, III, UDDS y NYCC partiendo de un estado de carga inicial de 20% para el ciclo I

A.3.2.5.-Gráfica de simulación de un ciclo de carretera

3.2.5.1.-Simulación de un ciclo de carretera partiendo de un estado de carga inicial de 80%

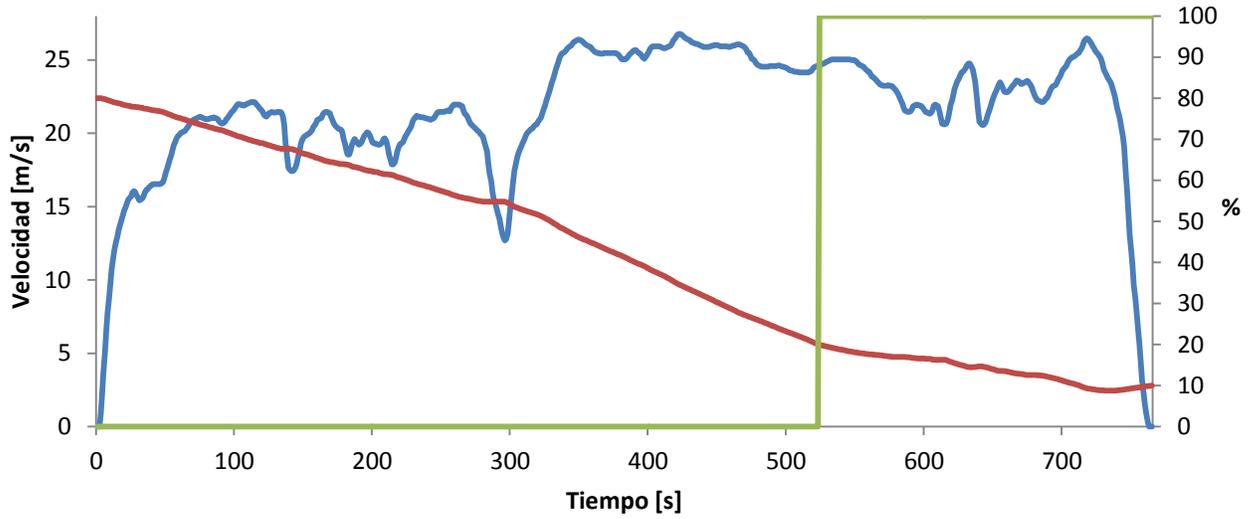


Figura A.3.347 – Ciclo HWFET, estados de carga y del MCI/gen, simulación de un ciclo de carretera partiendo de un estado de carga inicial d 80%

Referencias

- 1.-Amjad, S. (2009). **Review of design considerations and technological challenges for succesfull development and deployment of plug – in hybrid electric vehicles.** [versión electrónica]. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Recuperado el 19 de febrero del 2013, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002639>

- 2.-Boon, J., Isaacs, J., Gupta, S. (2003). **End - of – Life Infrastructure Economics for “Clean Vehicles” in the United States.** [versión electrónica]. Journal of INDUSTRIAL ECOLOGY. Recuperado el 27 de marzo del 2013, de http://www.readcube.com/articles/10.1162%2F108819803766729186?r3_referer=wol&tracking_action=previe_w_click&show_checkout=1&purchase_referrer=onlinelibrary.wiley.com&purchase_site_license=LICENSE_DENIED_NO_CUSTOMER

- 3.-Cacciatori, M. (2007). **The Use of Model Based Design Techniques in the Design of Hybrid Electric Vehicles.** [versión electrónica]. Automotive Electronics, 2007 3rd Institution of Engineering and Technology Conference on. Recuperado el 12 de junio del 2014, de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4383643&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4383621%2F4383622%2F04383643>

- 4.-Chanocua, J. (2013). **Diseño del chasis de un vehículo urbano para la competencia Shell Eco – Marathon Americas.** Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México

- 5.-Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S., Emadi, A., (2005). **Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design.** United States of America: CRC Press

- 6.-Fuhs, A. (2009). **Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation.** USA: CRC Press

- 7.-Gillespie, T. (1992). **Fundamentals of Vehicle Dynamics.** USA: SAE International

- 8.-González, R. (2005). **Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte.** [versión electrónica]. Ingeniería. Investigación y Tecnología. Recuperado el 20 de marzo del 2013, de <http://www.ejournal.unam.mx/ict/vol0603/ICT06301.pdf>

- 9.-Hannan, M., Azidin, F. Mohamed, A. (2013). **Hybrid Electric Vehicles and Their Challenges: A review.** [versión electrónica]. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Recuperado el 14 de octubre del 2014 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113006370>

- 10.-Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). **Síntesis Metodológica de la Estadística de Vehículos de Motor Registrados en Circulación.** [Versión electrónica]. Recuperado el 22 de junio del 2013 de: http://www.inegi.org.mx/sistemas/componentes/previsualizador/vista.aspx?arch=/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825086084.pdf&tipo=1

- 11.-Jianping, G., Fengchun, Sun., Hongwen, H. (2009) **A Comparative Study of Supervisory Control Strategies for a Series Hybrid Electric Vehicle.** [versión electrónica]. Beijing Institute of Technology. Recuperado el 16 de octubre del 2013 de <http://www.egr.msu.edu/zhug/Conference%20Articles/A%20comparative%20study%20of%20supervisory%20control%20strategies%20for%20a%20series%20hybrid%20electric%20vehicle.pdf>

Referencias

- 12.-Johnson, V.H. (2002). **Battery performance models in ADVISOR**. [versión electrónica]. JOURNAL OF POWER SOURCES. Recuperado el 4 de junio del 2014, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775302001945>
- 13.-Kamil, C., Mehmet, A., Ahmet, T. (2010). **A comprehensive overview of hybrid electric vehicle: Powertrain configurations, powertrain control techniques and electronic control units**. [versión electrónica]. Energy Conversion and Management. Recuperado el 19 de febrero del 2013, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890410004309>
- 14.-Kuen, S. (2007). **Simulation for the analysis of a hybrid electric scooter powertrain**. [versión electrónica]. APPLIED ENERGY. Recuperado el 26 de junio de 2014, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261907001444>
- 15.-Manzir, A. (2013). **sMODELING AND SIMULATION OF HYBRID ELECTRIC VEHICLE**. [versión electrónica]. International Journal of Mechanical and Production Engineering. Recuperado el 15 de junio del 2014, de http://iraj.in/journal/journal_file/journal_pdf/2-14-139047143001.06.pdf
- 16.-Markel, T., Brooker, A., Hendricks T., Johnson, V., Kelly, K., Kramer, B., O’Keefe, M., Sprink, S., Wipke, K. (2002). **ADVISOR: a systems analysis tool for advanced vehicle modeling**. [versión electrónica]. Journal of Power Sources. Recuperado el 27 de marzo del 2013, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775302001891>
- 17.-MI, C., Abul. M., Wenzhong. G. (2011). **Hybrid Electric Vehicles: Principles and Applications with Practical Perspectives**. USA: Wiley
- 18.-Miller, M. (2006). **Propulsion Systems for Hybrid Vehicles**. United Kingdom: The Institution of Engineering and Technology.
- 19.-Mott, R. (2006). **Mecánica de fluidos**. Sexta (ed). México: Pearson Education
- 20.-Reza, N. (2008). **Vehicle Dynamics: Theory and Applications**. New York: Springer
- 21.-Silva, C., Ross, M., Farias, T. (2009). **Evaluation of energy consumption, emissions and cost of plug – in hybrid vehicles**. [versión electrónica]. Energy Conversion and Management. Recuperado el 4 de septiembre del 2013, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409001186>
- 22.-Tan, D. (2011). **Statistic Driving Cycle Analysis and application for hybrid electric vehicle parametric design**. [versión electrónica]. Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2011 International Conference on. Recuperado el 20 de marzo del 2013, de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&number=5769094&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F5762525%2F5768151%2F05769094.pdf%3Farnumber%3D5769094>
- 23.-Taymaz, I. (2013). **Emissions and fuel economy for a hybrid vehicle**. [versión electrónica]. FUEL; the science and technology of Fuel and Energy. Recuperado el 26 de junio del 2014, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236113003463>
- 24.-Xi, Z. (2011). **Vehicle Power Management. Modeling, Control and Optimization**. USA: Springer