ANEXO: Manual de usuario

I. Uso del "programa principal" para lanzar simulaciones

Esta debe ser la opción preferente a la hora de probar el trabajo desarrollado en este proyecto, ya que es la manera más intuitiva de lanzar simulaciones.

Una vez seleccionado como directorio de trabajo de Matlab aquel en el que se encuentran los archivos de este proyecto (ver listado de archivos en la sección IV de este anexo), escríbase "principal" en la ventana de comandos de matlab, o bien ábrase el archivo 'principal.m' y ejecútese pulsando F5.

Inmediatamente tras su ejecución, aparece el siguiente mensaje en la ventana de comandos:

```
Elija un ciclo de conducción (escoja una opción de la lista)

1-NEDC

2-Ciclo mixto

3-Ciclo autopista

4-Ciclo severo

Si desea utilizar otro ciclo, cárguelo en el workspace con el nombre

"speed", siendo la primera columna los valores de tiempo empezando en 0 y

la segunda columna los valores de velocidad en km/h

5-Si quiere salir para cargar un ciclo de conducción

6-Si ya ha cargado un ciclo de conducción
```

Lo que el programa principal pide en primer lugar es el ciclo de conducción deseado. Se ofrecen 4 ciclos de conducción distintos (opciones 1 a la 4). De esta forma, el usuario puede escoger la opción 5 para salir y cargar un ciclo de conducción con el formato que en el cuadro de texto se indica. Así mismo, si el usuario ya ha cargado otro ciclo de conducción puede continuar escogiendo la opción 6.

Tanto esta vez como las que vendrán a continuación, la elección de la lista se realiza escribiendo en la ventana de comandos de Matlab el número de la lista que se desea escoger y pulsando ENTER.

Tras escoger el ciclo de conducción, aparece el siguiente mensaje:

```
Algoritmo a simular
1-ECMS
2-MPC
3-Heurístico
```

Tras escoger el algoritmo a simular, se ofrece la posibilidad de simular el coche híbrido con pila de combustible (HERCULES) así como el coche híbrido con motor de combustión. Véase el siguiente mensaje de la ventana de comandos de Matlab.

```
Vehículo a simular
1-HERCULES
2-Híbrido con ICE
```

I.I. ECMS y Heurístico

Tanto en el caso en el que se haya escogido el algoritmo de control ECMS como el algoritmo Heurístico, lo siguiente que aparece es el siguiente mensaje en la ventana de comandos de Matlab y la ventana de Simulink correspondiente el modelo y al algoritmo escogido.

```
------ Simulación desde SIMULINK -------
Introduzca los parámetros de simulación que desee modificar
(ver recuadro gris "Parametros modificables")
Simule el sistema DESDE SIMULINK (pulsar boton START)
Espere a que termine la simulación en SIMULINK
Tras la simulación pulse ENTER en la ventana de comandos para
representar los resultados
```

Como dice el mensaje anterior, en la ventana de simulink que acaba de aparecer aparece un cuadro gris indicando los parámetros modificables para la simulación. Estos parámetros se modifican haciendo doble-click en el bloque de simulink correspondiente. Una vez escogidos, tal y como se indica en la venta de comandos, ha de pulsarse el botón START para comenzar la simulación, y esperar a que ésta acabe (en la parte inferior de la ventana de simulink se muestra el progreso en tanto por ciento de la simulación). Una vez acabada la simulación, basta con pulsar ENTER en la ventana de comandos de Matlab para que los principales resultados aparezcan.

I.II. MPC

Si se ha escogido el algoritmo MPC, existen un par de pasos previos a lo anteriormente comentado.

Justo después de escoger el vehículo a simular, el mensaje que aparece en la ventana de comandos de Matlab es el siguiente:

```
Que variante quiere simular:
1-MPC
2-MPC con selector de modo de conducción
```

Una vez escogida la variante del algoritmo MPC que se desee, es necesario introducir el estado de carga inicial de las baterías por la ventana de comandos de Matlab (ya que el controlador MPC ha de ser inicializado previamente a la simulación) tal y como indica el mensaje que aparece:

```
Introduzca el estado de carga de las baterías inicial:
SOC inicial en tanto por uno: SOC=0 -> totalmente descargadas, SOC=1 ->
totalmente cargadas
```

Una vez introducido el SOC inicial, el resto es idéntico a lo anteriormente expuesto. Aparece el siguiente mensaje, que indica los mismos pasos a realizar:

```
Simulación desde SIMULINK
Introduzca los parámetros de simulación que desee modificar
(ver recuadro gris "Parametros modificables")
Simule el sistema DESDE SIMULINK (pulsar boton START)
Espere a que termine la simulación en SIMULINK
Tras la simulación pulse ENTER en la ventana de comandos para
representar los resultados
```

Como se decía, tras la simulación se pulsa ENTER en la ventana de comandos y se representan los principales resultados.

II. Herramienta de simulación para el algoritmo ECMS

En esta sección se explica cómo utilizar los archivos para simulación de la estrategia de control ECMS, sin recurrir al programa principal. Estos archivos son los siguientes:

- Para el vehículo HERCULES:
 - 'Hercules_algoritmos_ECMS.mdl'
- Para el vehículo híbrido con motor de combustión:
 - 'Hybrid_ICE_algoritmos_ECMS.mdl'
- Para el coche normal
 - o 'Coche_normal_ICE.mdl'

Estos archivos son muy similares, y por tanto esta descripción se centra en el correspondiente al vehículo HERCULES. Éste tiene la siguiente apariencia:



Los bloques "To Workspace" almacenan en el workspace de Matlab las variables cuyos nombres indican. En verde aparece el reloj, proporcionando los valores de tiempo en la simulación. El bloque rojo corresponde al controlador supervisor. Los bloques naranja corresponden a la generación de las potencias demandadas a partir del ciclo de conducción. Por último, los bloques azules se corresponden con los dispositivos del vehículo: baterías, sistema de disipación de potencia, pila de combustible y tanque de hidrógeno.

II.I. Utilización de la herramienta

Los ciclos de conducción disponibles son los cuatro que aparecen en el directorio de trabajo, con los nombres 'ECMS.mat', 'ciclo_severo.mat', 'ciclo_mixto.mat' y 'ciclo_autopista.mat'. Haciendo doble click sobre alguno de ellos se cargan automáticamente en el workspace de Matlab, estando disponibles para la simulación. En caso de que se quiera cargar otro ciclo de conducción, ha de hacerse en un vector de nombre "speed" cuya primera columna corresponde a los instantes de tiempo (de 0 hasta el tiempo final) y cuya segunda columna corresponde a los valores del ciclo de conducción en km/h. Así mismo, habría que crear una variable con nombre "tfinal" y con el valor de tiempo de simulación (duración del ciclo de conducción).

Los parámetros modificables aparecen en el recuadro gris de la esquina superior izquierda, y se modifican haciendo doble click en el bloque correspondiente. A continuación se presentan las ventanas emergentes que aparecen al hacer doble click en los bloques modificables.

Function Block Parameters: Control Supervisor			
Controlador supervisor (mask)			
 Seleccione el algoritmo de control a utilizar: ECMS ECMS restringiendo la derivada máxima en la potencia de la pila ECMS con selector de modo: (los modos sólo tienen efecto con este algoritmo) Modo ciudad: permite apagar la pila (que no se podrá volver a encender en un cierto tiempo) en determinadas circunstancias. Modo carretera: asegura que la pila no se apague. 			
Parameters			
Algoritmo ECMS_derivadapila_selector_modo			
Modo conducción Modo ciudad			
OK Cancel Help Apply			

🙀 Function Block Parameters: Baterias	x
Estado de carga (SOC) (mask)	
Introduzca el estado de carga inicial de las baterías en tanto por uno: SOC=0 => Totalmente descargadas SOC=1 => Totalmente cargadas	
Parameters	
SOC inicial	
0.5	
<u>OK</u> <u>Cancel</u> <u>H</u> elp <u>A</u> pply	

Function Block Parameters: Tanque H2
-Depósitos de hidrógeno (mask)
Introduzca la cantidad de hidrógeno en Kg que habrá inicialmente en el depósito (máximo 2.4 Kg).
Parameters
H2 inicial
2.4
OK <u>Cancel H</u> elp <u>Apply</u>

Tras lanzar la simulación pulsando pueden verse resultados de la simulación en los "scope" (bloques amarillos en la ventana de simlink) o bien representando las variables almacenadas en el workspace.

II.II. Modificación de parámetros

Si se quisiera modificar algo en los modelos de Simulink, habría que hacer click con el botón derecho del ratón sobre el bloque deseado y pulsar en "Look Under Mask" para poder ver el contenido del bloque.

Si se quisiera modificar algún parámetro de control, habría que editar el archivo del controlador:

- Para el vehículo HERCULES:
 - o 'algoritmos_ECMS.m'
- Para el vehículo híbrido con motor de combustión:
 - 'algoritmos_ECMS_ICE.m'
- Para el coche normal
 - o 'coche_normal.m'

Se nuevo, son muy similares y se ilustrará el caso del coche HERCULES como ejemplo.

Los parámetros de control que, aparte de los disponibles de forma normal en la ventana de simulink al hacer doble click sobre el bloque del controlador, son los siguientes:

- Capacidad de las baterías
- Valores de sdis y schg

- Factor de holgura sobre el SOC óptimo
- Restricciones de control
- Pesos en la función de coste a minimizar

Estos valores son fácilmente identificables en el código de Matlab, excepto las restricciones de control y los pesos de la función de coste. Éstos están programados tal y como se indica a continuación:

'LB' representa los límites inferiores de las variables, y 'SB' los límites superiores. Las variables son, de izquierda a derecha, las potencias asignadas a la pila de combustible, a las baterías y disipada. En 'f' están almacenados los pesos de la función de coste. Por último, en 'b' está almacenado el valor máximo del incremento de potencia asignada a la pila de combustible (7000 W).

Por último, comentar que si se desea modificar el algoritmo de decisión de encendido y apagado de la pila de combustible, ha de abrirse el archivo 'selector_modo.m' para el coche HERCULES, y 'selector_modo_ICE.m' para el vehículo híbrido con motor de combustión.

Puede que para modificar el algoritmo ECMS o para modificar el algoritmo de decisión de encendido o apagado de la pila, se necesite modificar las entradas y salidas del bloque del controlador supervisor. Éste contiene lo que se muestra a continuación:



Como se ve en la figura anterior, el selector de pila ON/OFF utiliza el modo de conducción seleccionado y el SOC para proporcionar las potencias mínimas y máximas admisibles de la pila. Estas serán las que en un principio se han tomado, o nulas en caso de que se haya decidido apagar la pila, para que el controlador supervisor le asigne una potencia nula. Como se muestra a continuación, dentro simplemente tiene una función que, además de las anteriores entradas, utiliza internamente una bandera para indicar si la pila está encendida o apagada, y un contador de tiempo.



A continuación se muestra el interior del subsistema que hace propiamente las funciones del algoritmo de control.



Como puede verse, como señales de entrada internas, se almacenan las potencias demandadas en los instantes anteriores así como la potencia asignada a la pila de combustible en el instante anterior.

Finalmente, las salidas son la distribución de potencias entre los dispositivos y la potencia que no se pudo satisfacer.

III. Herramienta de simulación para el algoritmo MPC

En esta sección se explica cómo utilizar los archivos para simulación de la estrategia de control MPC, sin recurrir al programa principal. Estos archivos son los siguientes:

- Para el vehículo HERCULES:
 - 'Hercules_MPC.mdl'
 - 'Hercules_MPC_selector_modo.mdl'
- Para el vehículo híbrido con motor de combustión:
 - o 'Hybrid_ICE_MPC.mdl'
 - 'Hybrid_ICE_MPC_selector_modo.mdl'

El algoritmo de control MPC utiliza un modelo interno del sistema a controlar para realizar las predicciones, tal y como se explicaba en la sección 6.4.3. Este modelo interno está almacenado en el archivo 'modelo_MPC.mdl'.

Estos archivos son muy similares, y por tanto esta descripción se centra en el correspondiente al vehículo HERCULES, en la modalidad que tiene el selector de modo de conducción (para que la explicación sea lo más general posible). Éste tiene la apariencia que se muestra en la siguiente figura.

Se recuerda que los bloques "To Workspace" almacenan en el workspace de Matlab las variables cuyos nombres indican. En verde aparece el reloj, proporcionando los valores de tiempo en la simulación. El bloque rojo corresponde al controlador supervisor. Los bloques naranja corresponden a la generación de las potencias demandadas a partir del ciclo de conducción. Por último, los bloques azules se corresponden con los dispositivos del vehículo: baterías, sistema de disipación de potencia, pila de combustible y tanque de hidrógeno.



III.I. Utilización de la herramienta

Los ciclos de conducción disponibles son los cuatro que aparecen en el directorio de trabajo, con los nombres 'ECMS.mat', 'ciclo_severo.mat', 'ciclo_mixto.mat' y 'ciclo_autopista.mat'. Haciendo doble click sobre alguno de ellos se cargan automáticamente en el workspace de Matlab, estando disponibles para la simulación. En caso de que se quiera cargar otro ciclo de conducción, ha de hacerse en un vector de nombre "speed" cuya primera columna corresponde a los instantes de tiempo (de 0 hasta el tiempo final) y cuya segunda columna corresponde a los valores del ciclo de conducción en km/h. Así mismo, habría que crear una variable con nombre "tfinal" y con el valor de tiempo de simulación (duración del ciclo de conducción).

Los parámetros modificables aparecen en el recuadro gris de la esquina superior derecha, y se modifican haciendo doble click en el bloque correspondiente. A continuación se presentan las ventanas emergentes que aparecen al hacer doble click en los bloques modificables. Como puede observarse, la ventana emergente que aparece del bloque del tanque de hidrógeno es idéntica a la que aparecía con la herramienta de simulación de la estrategia ECMS. Sin embargo, ahora no se permite la modificación del SOC inicial a través del bloque de las baterías ya que, como se explica a continuación, éste valor se introducirá por la ventana de comandos de Matlab, con objeto de inicializar el controlador predictivo.

Function Block Parameters: Tanque H2	x
Depósitos de hidrógeno (mask)	
Introduzca la cantidad de hidrógeno en Kg que habrá inicialmente en el depósito (máximo 2.4 Kg).	
Parameters	
H2 inicial	
2.4	
<u>QK</u> <u>Cancel</u> <u>H</u> elp <u>A</u> pphy	

Function Block Parameters: Selector pila ON/OFF
Selector pila ON/OFF (mask)
 Modo ciudad: permite apagar la pila (que no se podrá volver a encender en un cierto tiempo) en determinadas circunstancias. Modo carretera: asegura que la pila no se apague.
Parameters
Modo de conducción Modo ciudad
<u>O</u> K <u>Cancel</u> <u>H</u> elp <u>Apply</u>

Block Parameters: MPC Controller			
MPC block (mask) (link)			
The MPC Controller block lets you design, simulate, and tune model predictive controllers.			
You can use the MPC Design Tool to create a new controller or modify an existing			
Reference and measured disturbance signals, by default, are external inputs to the MPC block. In alternative you can specify custom workspace structures,			
generated for example by a 'To Workspace' block (see 'From Workspace' structure format). If the Look Ahead option is selected, the MPC controlle	/ block for r will use		
future values of the corresponding signal when computing current contr	ol actions.		
Parameters			
MPC controller MPCobj	Design		
Initial controller state estado			
Input signals			
Use custom			
Reference signal	Look ahead		
Measured disturbance	Look ahead		
Enable input port for measured disturbance			
OK Cancel Help	Apply		

En el bloque "selector pila ON/OFF" podemos seleccionar el modo de conducción, tal y como explica la propia ventana emergente.

El bloque "MPC Controller" es algo más complicado. El parámetro "MPC controller" indica el nombre del objeto MPC que se va a utilizar como controlador supervisor, y el parámetro "Initial controller state" indica el nombre del vector donde se almacena el estado inicial de controlador, que depende del SOC inicial. Estos dos parámetros se definen desde un archivo aparte con los nombres que en la ventana emergente aparecen, luego estos parámetros no deben modificarse. La casilla "Reference Signal" debe estar desmarcada para que se tomen como entradas las potencias demandadas que el bloque naranja de la ventana de simulink proporciona, ya que en caso contrario tomaría estas entradas de un vector cuyo nombre ha de introducirse (entonces se podría marcar la casilla "look ahead" para permitir al controlador que observe las verdaderas entradas futuras y se adelante a ellas. La casilla "Measured disturbance" sirve para proporcionar por un vector unas perturbaciones medibles.

En principio, no es necesario modificar ningún parámetro del bloque "MPC Controller", tan solo del "selector pila ON/OFF" y del "tanque H2".

Para lanzar una simulación sin utilizar el programa "principal" hay que seguir los siguientes pasos:

- 1. Abrir el modelo de simulink correspondiente al vehículo y a la modalidad de algoritmo MPC deseado.
- 2. Abrir el fichero .m correspondiente al modelo de simulink que se ha abierto (ver la lista a continuación):
 - a. 'MPC.m': Para el vehículo HERCULES y el controlador MPC normal.
 - b. 'MPC_selector_modo.m': Para el vehículo HERCULES y el controlador MPC con selector de modo de conducción.
 - c. 'MPC_ICE.m': Para el vehículo híbrido con motor de combustión y el controlador MPC normal.
 - d. 'MPC_ICE_selector_modo.m': Para el vehículo híbrido con motor de combustión y el controlador MPC con selector de modo de conducción.
- 3. Con el archivo abierto, en el bloque que aparece como "Datos: REFERENCIAS Y ESTADO INICIAL" aparecen unas líneas de código que cargan el ciclo de conducción deseado. Habría que dejar sin comentar sólo la línea correspondiente al ciclo de conducción que se desee simular (se muestran estas líneas a continuación). Tambien pueden dejarse todas comentadas e introducir manualmente el ciclo de conducción, como se explicaba anteriormente.

- 4. Ejecutar el archivo .m que se ha abierto pulsando F5.
- 5. Aparecerá el siguiente mensaje en la ventana de comandos de Matlab, pidiendo que se introduzca el SOC inicial de las baterías:

```
Introduzca el estado de carga de las baterías inicial:
SOC inicial en tanto por uno: SOC=0 -> totalmente descargadas,
SOC=1 -> totalmente cargadas
```

 Tras introducir el SOC inicial y pulsar ENTER, se inicia la simulación. Una vez terminada, se representan automáticamente los principales resultados de la simulación.

III.II. Modificación de parámetros

Si se quisiera modificar algo en los modelos de Simulink, habría que hacer click con el botón derecho del ratón sobre el bloque deseado y pulsar en "Look Under Mask" para poder ver el contenido del bloque.

Si se quisiera modificar algún parámetro de control, habría que editar el archivo del controlador:

- 'MPC.m': Para el vehículo HERCULES y el controlador MPC normal.
- 'MPC_selector_modo.m': Para el vehículo HERCULES y el controlador MPC con selector de modo de conducción.
- 'MPC_ICE.m': Para el vehículo híbrido con motor de combustión y el controlador MPC normal.
- 'MPC_ICE_selector_modo.m': Para el vehículo híbrido con motor de combustión y el controlador MPC con selector de modo de conducción.

Aparte de los archivos que se acaban de listar, también pueden modificarse parámetros del controlador en los archivos que se usan a partir del archivo "principal", que son similares a los anteriores pero con pequeñas modificaciones para que funcionen a partir del mencionado programa principal.

- 'algoritmos_MPC.m': Vehículo HERCULES.
- 'algoritmos_MPC_ICE.m': Vehículo híbrido con motor de combustión.

Se nuevo, son muy similares y se ilustrará el caso del coche HERCULES con el controlador MPC con selector de modo de conducción como ejemplo.

Los parámetros de control que, aparte de los disponibles de forma normal en la ventana de simulink al hacer doble click sobre el bloque del controlador, son los que se muestran en la siguiente lista.

- Tiempo de muestreo del modelo interno del sistema (ha de coincidir con el que se introduzca en la configuración de Simulink (Simulation → Configuration Parameters... → Fixed Step Size (fundamental simple time)).
- Restricciones de potencias máximas y mínimas.
- Restricciones de incremento y decremento máximo de potencia.
- SOC mínimo y máximo.
- Pesos de la función de coste:
 - Pesos de las variables manipuladas
 - o Pesos de las variaciones de las variables manipuladas
 - Pesos de las desviaciones de las salidas del sistema con respecto a las referencias.
- Horizonte de predicción y horizonte de control.

Éstos se modifican en el bloque del código cuyo nombre es "Configuración del controlador MPC" y cuyas líneas a continuación:

```
_____
% Configuración del controlador MPC
                                   _____
<u>_____</u>
%Modelo que se utilizará en la predicción:
sys='modelo MPC';
[A,B,C,D]=linmod2(sys);
Ts=.05;
                                %Sampling time
modelo=c2d(ss(A,B,C,D),Ts); %Convert to discrete time
clear A B C D
%Se asignan nombres a las variables de entrada/salida
modelo.InputName={'Ppila';'Pbaterias';'Pdis'};
modelo.OutputName={'Pdclink';'SOC'};
%Se definen las restricciones y unidades de las variables
clear InputSpecs OutputSpecs
InputSpecs(1) = struct('Min', 4000, 'Max', 56000, 'RateMin', -
7000, 'Ratemax', 7000, 'Units', 'kW');
InputSpecs(2) = struct('Min', -4171, 'Max', 27808, 'RateMin', -
10000, 'Ratemax', 10000, 'Units', 'kW'); % (suponiendo la Vbatt constante e
iqual a la mínima (para SOD=0.8): 17.38V, del lado de seguridad)
InputSpecs(3) = struct('Min', -Inf, 'Max', 0, 'RateMin', -
10000, 'Ratemax', Inf, 'Units', 'kW');
OutputSpecs(1) = struct('Min', -Inf, 'Max', Inf, 'Units', 'kW');
OutputSpecs(2) = struct('Min', 0.2, 'Max', 0.8, 'Units', 'SOC');
%Se definen los pesos en las variables manipuladas y controladas
Weights=struct('ManipulatedVariables',[5 0.2 70],...
   'ManipulatedVariablesRate', [500 1 1],...
   'OutputVariables', [1000 4000000]);
%Se definen los horizontes de predicción y control, y se crea el objeto
MPC que se utilizará en el bloque MPC de simulink
p=10; %Horizonte de predicción
m=4; %Horizonte de control
MPCobj=mpc(modelo,Ts,p,m,Weights,InputSpecs,OutputSpecs);
```

La correspondencia entre la lista y el código es la siguiente:

- Ts: Tiempo de muestreo del modelo interno del sistema.
- InputSpecs(1), InputSpecs(2) e InputSpecs(3): Potencias máximas y mínimas e incrementos de potencias máximos y mínimos de la potencia asignada a la pila de combustible, a las baterías y al sistema disipador de potencia, respectivamente. Estas tres son las variables manipuladas (en ese orden).
- OutputSpecs(2): Restricción del SOC mínimo y máximo.
- Wights: Pesos de la función de coste:
 - ManipulatedVariables: Pesos de las variables manipuladas
 - ManipulatedVariablesRate: Pesos de los incrementos de las variables manipuladas.
 - OutputVariables: Pesos de las desviaciones de las salidas del sistema respecto a las referencias.
- p, m: Horizontes de predicción y de control, respectivamente.

Por último, comentar que si se desea modificar el algoritmo de decisión de encendido y apagado de la pila de combustible, ha de abrirse el archivo

'selector_modo2.m' para el coche HERCULES, y 'selector_modo2_ICE.m' para el vehículo híbrido con motor de combustión.

Puede que para modificar el algoritmo ECMS o para modificar el algoritmo de decisión de encendido o apagado de la pila, se necesite modificar las entradas y salidas del bloque "selector pila ON/OFF". Éste contiene lo que se muestra a continuación:



Como puede observarse, el funcionamiento es parecido al selector de modo que se utilizaba con la estrategia ECMS. Como entradas cuenta con las potencias asignadas por el controlador supervisor MPC, el modo de conducción elegido, el SOC y la potencia que se está demandando. Como entradas interna cuenta con un contador de tiempo y una bandera para saber si la pila está apagada o encendida.

La función a la que se llama se encarga de decidir si apaga la pila, en cuyo caso ignora la distribución de potencias que da el MPC y reasigna la potencia satisfaciendo la demanda con las baterías.