

6. SIMULACIONES Y ENSAYOS

Puesto que el proyecto León no estaba finalizado para el último día de este proyecto fin de carrera, las simulaciones y los ensayos de la ECU han estado muy limitados. Más aún teniendo en cuenta que la bancada de ensayos tampoco estaba terminada debido a retrasos en algunos grupos de trabajo.

Por tanto los ensayos están limitados a las primeras pruebas con el monitor diseñado en LabVIEW, y a las simulaciones del gestor de potencia diseñadas también sobre LabVIEW.

6.1. Monitor de bancada de ensayos

El Monitor de la bancada de ensayos está desarrollado sobre LabVIEW en el sistema operativo Windows. Su tarea es monitorizar todas las variables importantes de los componentes, registrar los mensajes CAN, y permite también controlar manualmente los sistemas para poder realizar ensayos, por ejemplo, abriendo y cerrando las válvulas de los depósitos de hidrógeno y enviando mensajes CAN de comando.

En las siguientes imágenes se puede ver el interfaz de monitorización.

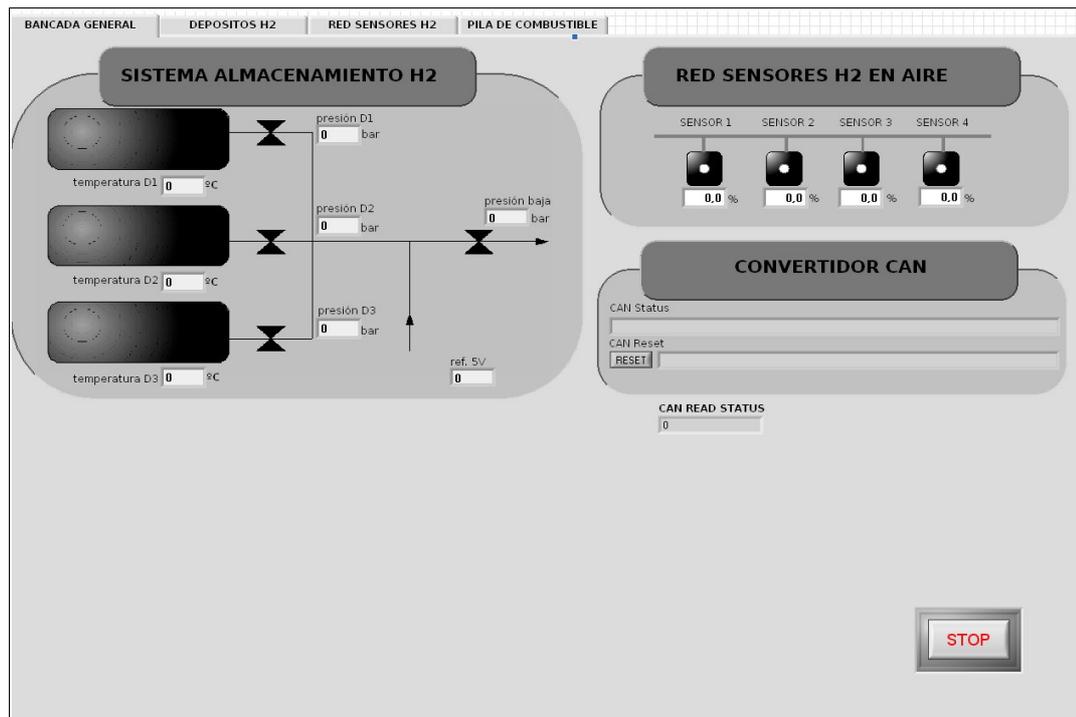


Imagen 74: panel Bancada General del Monitor de la bancada

En la imagen 74 podemos ver el panel principal del Monitor. No posee botones interactivos salvo el de parada de la aplicación. Se puede supervisar el funcionamiento de los depósitos y sus sensores, del convertidor USB-CAN que utiliza para comunicarse con el bus, y de los sensores de detección de hidrógeno en aire. En definitiva, de todos los sistemas monitorizados (hasta el momento).

Si la comunicación CAN funciona correctamente, y lee eficientemente de la cola de recepción de mensajes, el estatus del “convertidor CAN” debería indicar que la cola está casi siempre vacía.

En los sensores de H2 en aire podremos supervisar la concentración del mismo, y nos avisará visualmente cuando haya niveles elevados (~4%), y por tanto, fugas.

Para más información sobre un componente concreto de la bancada se puede acceder a los otros paneles, que incluyen datos más extensos.

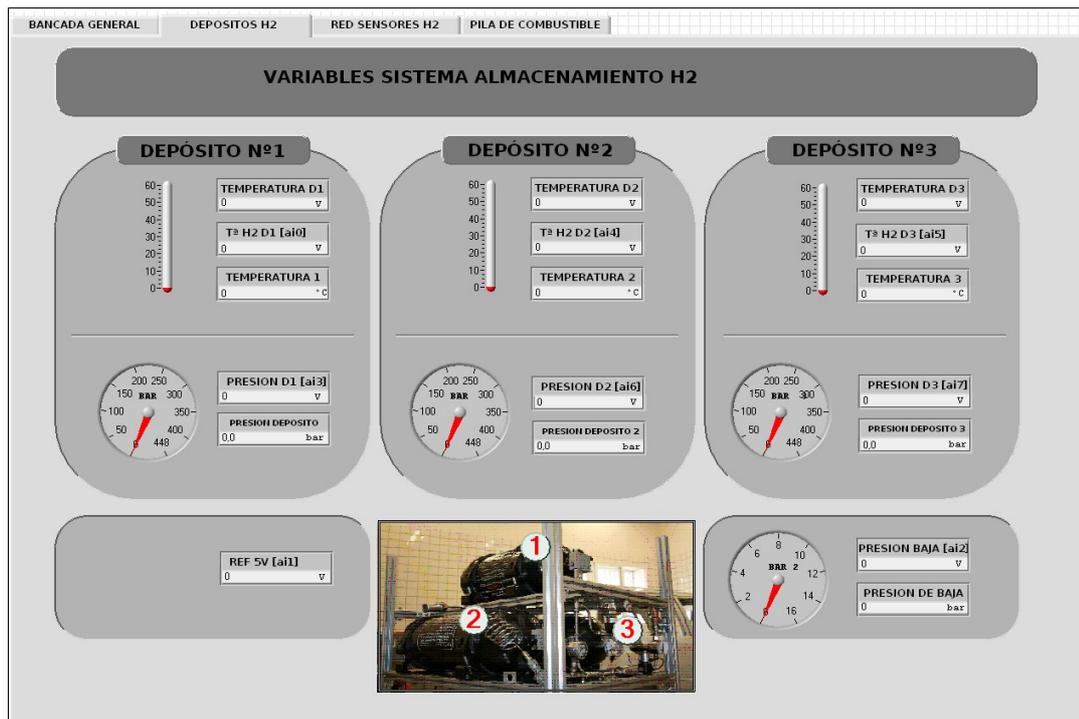


Imagen 75: panel Depósitos H2 del Monitor de la bancada

En el panel de la imagen 75 se puede seguir el nivel de todos los sensores de los depósitos: indicadores de alta presión, de baja presión, que es el que suministra a la pila de combustible, y de temperatura en cada uno de los depósitos.



Imagen 76: panel Red Sensores H2 del Monitor de la bancada

En la imagen 76 se puede supervisar el funcionamiento de los sensores de detección de hidrógeno. Además de poder seguir los valores de los mensajes CAN que envía cada uno de ellos, nos avisará con LEDs los distintos estados de funcionamiento de cada, y si existe alarma.

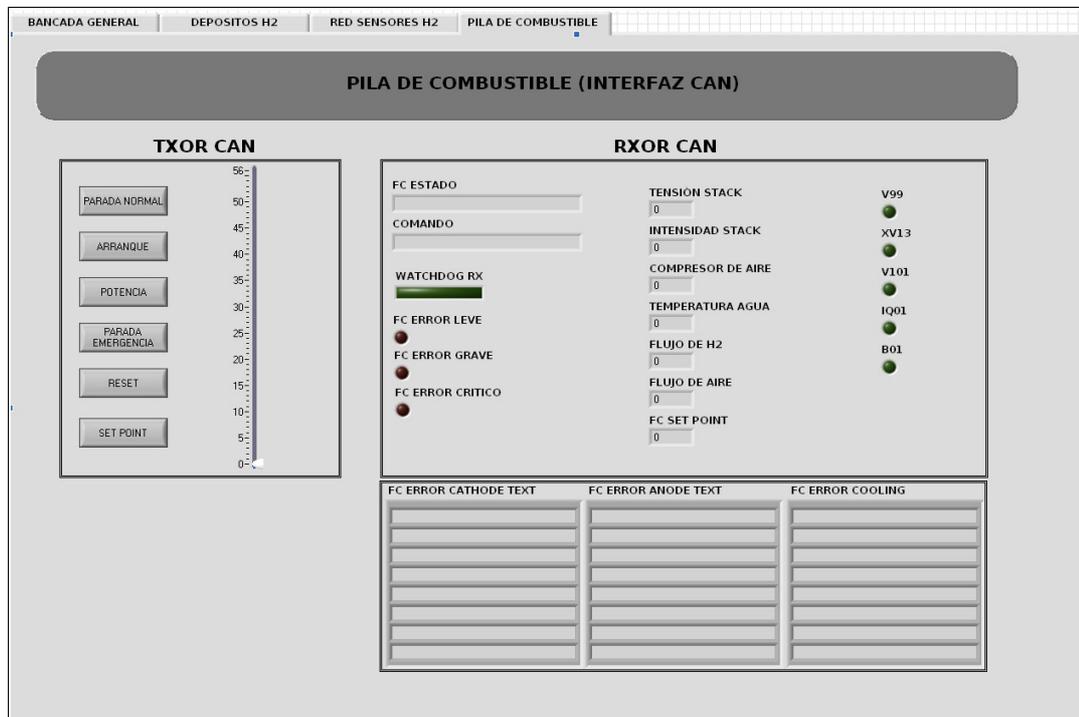


Imagen 77: panel Pila de Combustible del Monitor de la bancada

El panel de la imagen 77 incluye datos sobre la Pila de Combustible, y permite controlarla manualmente utilizando los botones de la izquierda, incluyendo su consigna de potencia con una barra de desplazamiento. Los datos y errores mostrados son los que comunica el control de la FC mediante mensajes CAN.

6.2. Simulaciones del gestor de potencia

La gestión de la potencia es una de las partes más importantes de la ECU, sin embargo, no podrá ser ensayada sin posibles riesgos ya que requiere el uso de todos los componentes. Para simular esta gestión y comprobar que el control no tiene errores, y poder llegar a los ensayos habiendo depurado en lo posible todos sus procesos, se ha diseñado una aplicación LabVIEW.

Este programa sobre LabVIEW nos va a permitir comprobar la dinámica gestionada para las consignas de potencia y comprobar el comportamiento de los cálculos según los parámetros de entrada. A continuación puede verse una captura de pantalla de la aplicación:

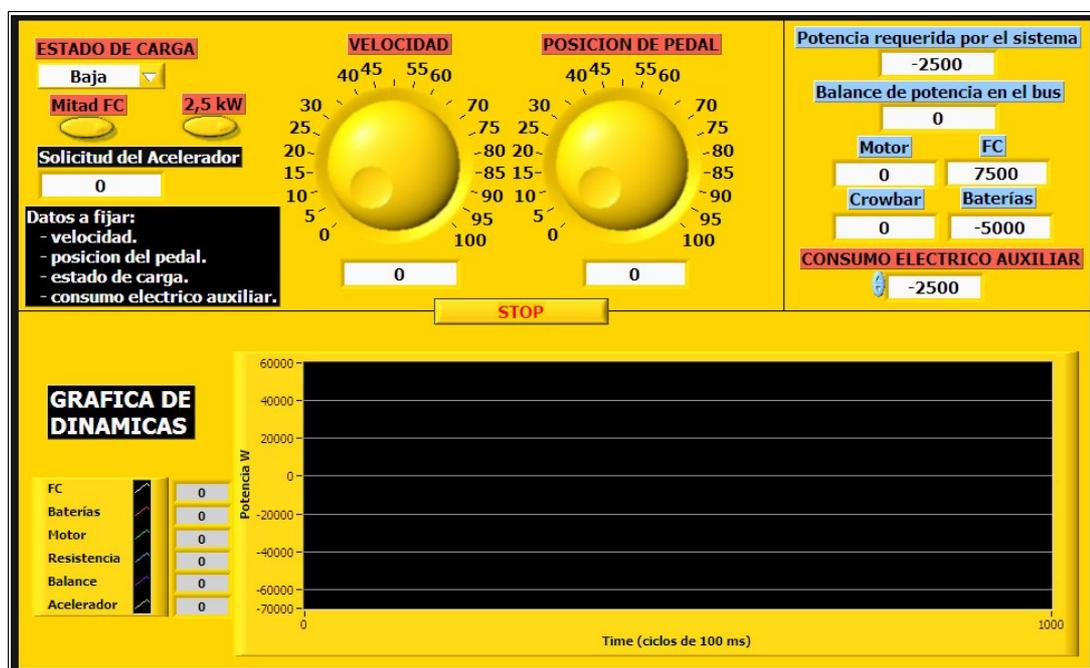


Imagen 78: captura de pantalla del Simulador del Gestor de Potencia

Los indicadores con cartel en **rojo** son los interactivos:

- **El estado de carga:** podemos fijar el estado actual de las baterías.
- Situaciones de error:
 - **Mitad FC:** Requerimiento de reducción de potencia solicitada a la FC a la mitad.
 - **2,5 kW:** Requerimiento de solicitar poca potencia a la FC para realizar la parada normal de la misma. Esta cantidad de potencia está prefijada y corresponde a 10 amperios.
- **La velocidad lineal del vehículo:** solo se utiliza para detener la frenada regenerativa.
- **Posición del pedal:** la posición del pedal del acelerador de 0 a 100 %. Hay que

considerar que la frenada regenerativa está activada.

➤ **Consumo eléctrico auxiliar del coche:** es el consumo de potencia de los componentes auxiliares del coche, como pueden ser elevadoras de electricos o el aire acondicionado.

Los indicadores con cartel **azul** son las salidas de la simulación. Son todas potencias así que hay que recordar la regla de signos: negativo es potencia extraída del bus y positiva es potencia hacia el bus.

El **balance** es la suma de todas las potencias en el bus, y debe ser siempre nulo. Si en algún momento no lo es, el gestor tendrá un problema, ya que no hay ningún componente que vaya a poder absorber o entregar potencia libremente en el bus.

La **gráfica** inferior nos permite seguir la dinámica de las consignas. La regla utilizada para aumentar una consigna de potencia es de 100 W cada 100 ms.

6.2.1. Estado de carga Baja

Se ha realizado una simulación de diferentes situaciones ante el caso de tener un estado de carga baja en las baterías. En la siguiente imagen puede verse la gráfica resultante:

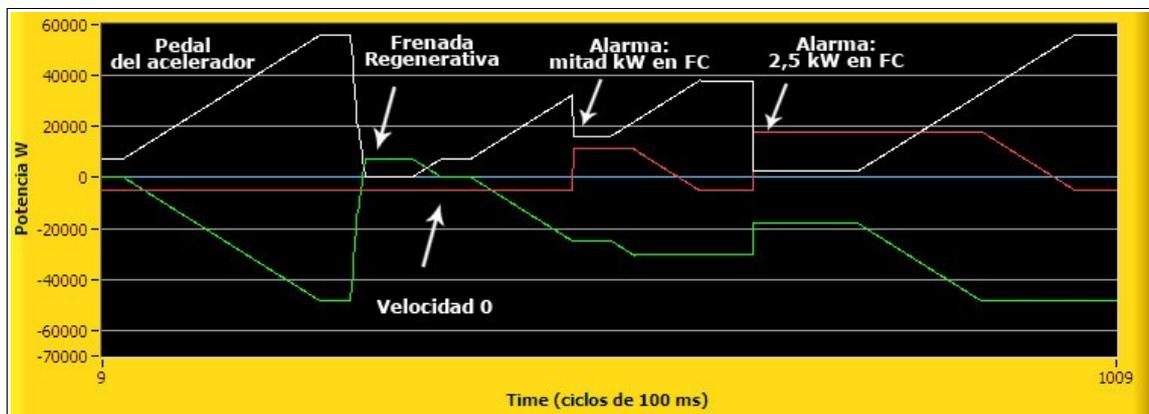


Imagen 79: gráfica de simulación en estado de carga baja

En la gráfica se puede ver todo el proceso simulado. La correspondencia de colores es la siguiente: **verde** es la potencia del **motor**, **blanca** la de la **FC**, **azul** la del **Crowbar** y **roja** la de las **baterías**. El proceso seguido ha sido:

- Primero se ha presionado el pedal del acelerador a tope. Puede observarse como la potencia del motor no llega a su máximo, que es aproximadamente -65 kW, porque también se están cargando las baterías.
- Cuando se ha alcanzado el máximo se ha soltado el pedal totalmente, y se puede ver como el motor ha entrado en modo generador para cargar las baterías.

- Después se ha reducido la velocidad por debajo de 10 km/h, lo que hace que el motor deje de generar y la FC sea la que tenga que recargar las baterías.
- Luego se ha vuelto a acelerar, y durante el proceso se han aplicado las situaciones de error de la FC:
 - Mitad de kW: se ve como la potencia de la FC se reduce a la mitad y las baterías entran a dar soporte para alimentar al motor en lo posible.
 - 2,5 kW: al aplicar este error de nuevo las baterías entran a dar soporte para el motor.

Si durante estos errores se presiona más el acelerador, no aumenta la potencia, pero si se reduce, la consigna de la FC baja.

- Finalmente se limpian ambos errores y con el pedal a fondo se observa como llegado un momento las baterías van suministrando menos potencia hasta volver a recargarse con parte de la potencia que se le solicita a la FC.

6.2.2. Estado de carga Media

Se ha realizado una simulación de diferentes situaciones ante el caso de tener un estado de carga media en las baterías . En la siguiente imagen puede verse la gráfica resultante:

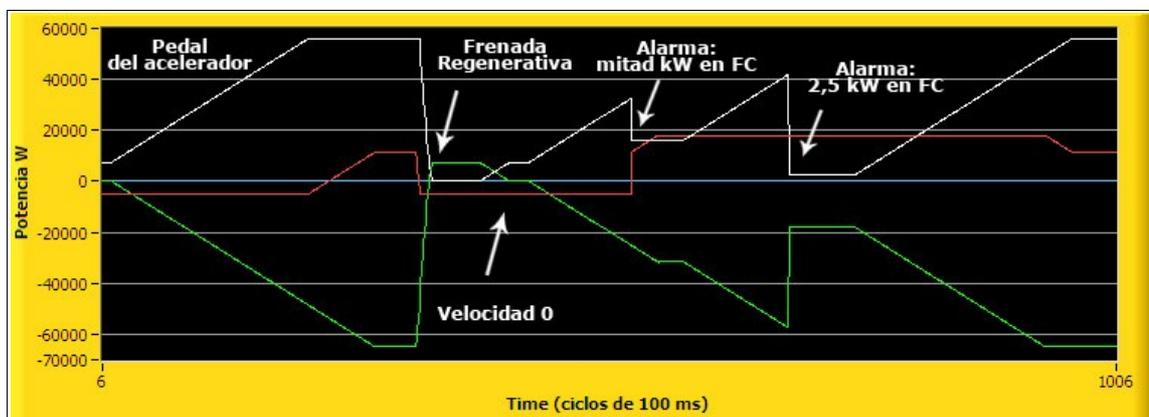


Imagen 80: gráfica de simulación en estado de carga media

En la gráfica se puede ver todo el proceso simulado. La correspondencia de colores es la siguiente: **verde** es la potencia del **motor**, **blanca** la de la **FC**, **azul** la del **Crowbar** y **roja** la de las **baterías**. El proceso seguido ha sido:

- Primero se ha presionado el pedal del acelerador a tope. Puede observarse como las baterías, que estaban recargándose, llegado un momento empiezan a suministrar para apoyar a la FC en la alimentación del motor, hasta llevarlo al máximo.

- Cuando se ha alcanzado el máximo se ha soltado el pedal totalmente, y se puede ver como el motor ha entrado en modo generador para cargar las baterías.
- Después se ha reducido la velocidad por debajo de 10 km/h, lo que hace que el motor deje de generar y la FC sea la que tenga que recargar las baterías.
- Luego se ha vuelto a acelerar, y durante el proceso se han aplicado las situaciones de error de la FC:
 - Mitad de kW: se ve como la potencia de la FC se reduce a la mitad y las baterías entran a dar soporte para alimentar al motor en lo posible.
 - 2,5 kW: al aplicar este error de nuevo las baterías entran a dar soporte para el motor.

Si durante estos errores se presiona más el acelerador, no aumenta la potencia, pero si se reduce, la consigna de la FC baja.

- Finalmente se limpian ambos errores y con el pedal a fondo se observa como llegado un momento las baterías suministran un poco menos de potencia. Esto se debe a que en este estado es la FC la que da toda la potencia posible, y como la potencia máxima del motor es menor que la suma de baterías y FC, el resultado es que las baterías no trabajan al 100%.

6.2.3. Estado de carga Alta

Se ha realizado una simulación de diferentes situaciones ante el caso de tener un estado de carga alta en las baterías . En la siguiente imagen puede verse la gráfica resultante:

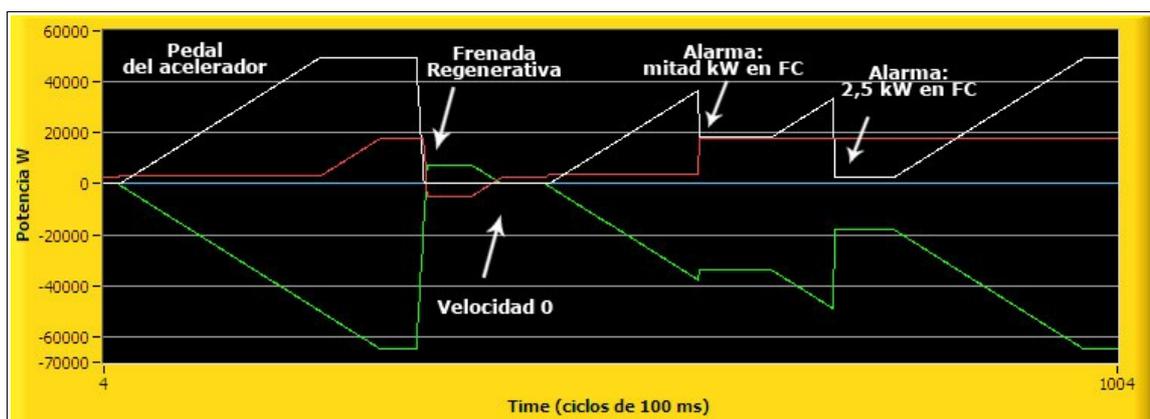


Imagen 81: gráfica de simulación en estado de carga alta

En la gráfica se puede ver todo el proceso simulado. La correspondencia de colores es la siguiente: **verde** es la potencia del **motor**, **blanca** la de la **FC**, **azul** la del **Crowbar** y **roja** la de las **baterías**. El proceso seguido ha sido:

- Primero se ha presionado el pedal del acelerador a tope. Puede observarse como las baterías no estaban recargándose en este caso, y son ellas las que van a dar el 100% al suministrar al motor. Se ve como la potencia más alta que da la FC en este caso es de algo menos de 50 kW.
- Cuando se ha alcanzado el máximo se ha soltado el pedal totalmente, y se puede ver como el motor ha entrado en modo generador para cargar las baterías.
- Después se ha reducido la velocidad por debajo de 10 km/h, y se ha detenido la carga de las baterías, ya que no es necesario que se haga todo el tiempo, como en los casos de carga baja y media. La poca potencia de baterías que se observa corresponde a la alimentación del consumo eléctrico auxiliar.
- Luego se ha vuelto a acelerar, y durante el proceso se han aplicado las situaciones de error de la FC:
 - Mitad de kW: se ve como la potencia de la FC se reduce a la mitad y las baterías entran a dar soporte para alimentar al motor en lo posible.
 - 2,5 kW: al aplicar este error de nuevo las baterías entran a dar soporte para el motor.

Si durante estos errores se presiona más el acelerador, no aumenta la potencia, pero si se reduce, la consigna de la FC baja.

- Finalmente se limpian ambos errores y con el pedal a fondo se observa la misma situación mencionada al comienzo de esta simulación, es decir, las baterías al 100% y la FC hasta que sea necesario según la posición del pedal.

6.2.4. Estado de carga Completa

Se ha realizado una simulación de diferentes situaciones ante el caso de tener un estado de carga completa en las baterías. En la siguiente imagen puede verse la gráfica resultante:

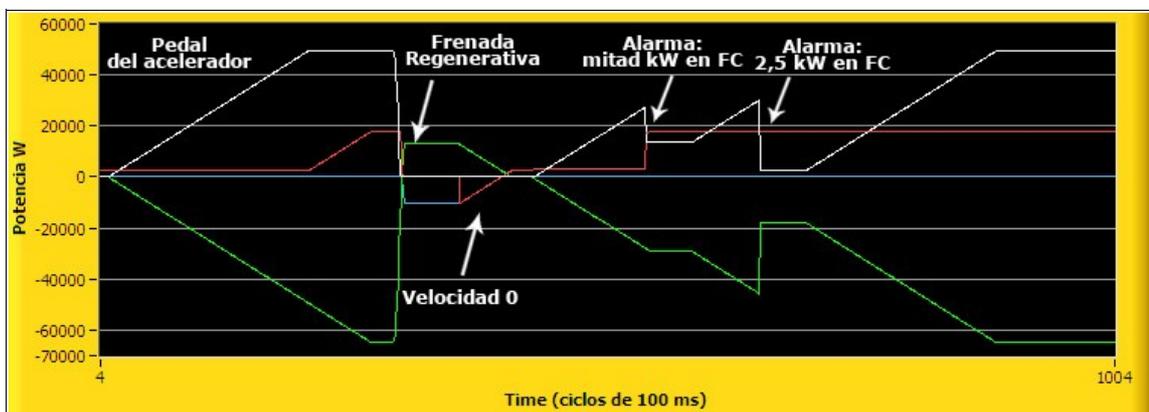


Imagen 82: gráfica de simulación en estado de carga completa

En la gráfica se puede ver todo el proceso simulado. La correspondencia de colores es la siguiente: **verde** es la potencia del **motor**, **blanca** la de la **FC**, **azul** la del **Crowbar** y **roja** la de las **baterías**. El proceso seguido ha sido:

- Primero se ha presionado el pedal del acelerador a tope. Puede observarse como las baterías no estaban recargándose en este caso, y son ellas las que van a dar el 100% al suministrar al motor. Se ve como la potencia más alta que da la FC en este caso es de algo menos de 50 kW.
- Cuando se ha alcanzado el máximo se ha soltado el pedal totalmente, y se puede ver como el motor ha entrado en modo generador, pero no para cargar las baterías, ya que están llenas, sino para simular el freno motor disipando dicha potencia en el Crowbar (azul).
- Después se ha reducido la velocidad por debajo de 10 km/h, y se ha detenido la disipación de potencia en el Crowbar. Las baterías entran en acción lentamente para sustituir al motor y alimentar el consumo eléctrico auxiliar del coche.
- Luego se ha vuelto a acelerar, y durante el proceso se han aplicado las situaciones de error de la FC:
 - Mitad de kW: se ve como la potencia de la FC se reduce a la mitad y las baterías entran a dar soporte para alimentar al motor en lo posible.
 - 2,5 kW: al aplicar este error de nuevo las baterías entran a dar soporte para el motor.

Si durante estos errores se presiona más el acelerador, no aumenta la potencia, pero si se reduce, la consigna de la FC baja.

- Finalmente se limpian ambos errores y con el pedal a fondo se observa la misma situación mencionada al comienzo de esta simulación, es decir, las baterías al 100% y la FC hasta que sea necesario según la posición del pedal.

6.2.5. Simulación progresiva

Esta última simulación solo abarca el desarrollo de las consignas en los estados de carga media, alta y completa, durante un proceso normal, sin errores. Se incluye en la gráfica del ensayo la curva de la posición del pedal del acelerador para poder observar cómo responden las consignas según dicha posición, y según el estado. Puesto que en el estado de carga baja no hay diferencia porque siempre se cargan baterías, no se ha ensayado.

La gráfica de la simulación es la siguiente:



Imagen 83: gráfica de simulación progresiva

En la gráfica se puede ver todo el proceso simulado. La correspondencia de colores es la siguiente: **verde** es la potencia del **motor**, **blanca** la de la **FC**, **azul** la del **Crowbar**, **roja** la de las **baterías**, y **amarilla** es la posición del pedal del acelerador. El proceso seguido ha sido

- Primero en estado de carga media se ha aumentado la posición del pedal con escalones rápidos, y se ve como el proceso de gestión no ha variado porque su dinámica es más lenta. Se ha llevado hasta el máximo, y como estamos en carga media, las baterías apoyan a la FC sin llegar a su máxima potencia.
- Luego se ha entrado en frenada regenerativa disminuyendo la posición del pedal, cuya curva está superpuesta con la verde del motor, y después se ha bajado la velocidad más allá de 10 km/h, por lo que las baterías entraron a alimentar el consumo auxiliar.
- Después se ha entrado en estado de carga alta, y se ha aumentado la potencia. Se puede observar que cuando la posición del pedal no exige más de la potencia máxima de las baterías, que es de aproximadamente 18 kW, solo son éstas las que tiran del motor. La FC solo entra cuando la solicitud es mayor que esos 18 kW, y en tal caso entrará ésta primero, como se vio en el ensayo del apartado 6.3.3.
- Posteriormente se ha entrado de nuevo en frenada regenerativa, pero se dejó el parámetro de velocidad por debajo de los 10 km/h, por lo que no se cargan baterías sino que las baterías suministran el consumo auxiliar, como antes.
- Después se ha entrado en estado de carga completa, y se ha ido aumentando la solicitud del pedal del acelerador lentamente. Se vuelve a observar como las baterías tiran del motor mientras la solicitud no sea superior a su potencia máxima. En tal caso, la FC comienza a suministrar.
- Para terminar, y sin modificar la posición del pedal, se ha entrado en estado de carga media, lo que obliga a que sea la FC quien soporte casi toda la potencia. Por ésto la consigna de las baterías se reduce mientras aumenta la de la pila. La

primera es muy reducida porque la solicitud del pedal del acelerador es ligeramente superior al máximo de la FC.

6.2.6. Conclusiones de las simulaciones

Se puede concluir que el gestor de la potencia es correcto, ya que no se dan situaciones de balances distintos de cero, ni aumentos bruscos en las consignas, salvo en las baterías. Obviamente es mejorable ya que las variables de entrada al control son muy simples: solo cuatro estados de carga; aunque para los primeros ensayos reales será suficiente, y a posteriori podrá mejorarse el proceso de gestión.

La dificultad final radica en que la programación realizada en el LabVIEW debe ser idéntica a la realizada para el programa de la ECU en lenguaje C. Las variables son las mismas y las formulas también, pero algunos bucles condicionales tienen que variar ligeramente.