

Capítulo 2

Estado del Arte

2.1 Controladores Heurísticos.

Como en cualquier sistema a controlar, la primera opción que se escoge es la que resulte más sencilla y segura. En el caso de un gestor de potencia como el que se pretende diseñar en este proyecto, no resulta complicado crear un controlador basado en sencillas reglas heurísticas para realizar el reparto de la potencia. De hecho la mayor parte de los artículos estudiados usan algún tipo de controlador de este tipo, bien como primer paso antes de abordar uno más complejo, bien como controlador definitivo del sistema. Entre los primeros estarían [5] o [2], que propone dos tipos de controladores: en el primero únicamente se tiene en cuenta que la pila esté funcionando en su zona de mayor eficiencia. En el segundo, además, se tiene en cuenta el estado de carga de las baterías. aunque las pruebas realizadas sobre dichos controladores son satisfactorias, éstas no contemplan ciertos casos que pueden darse en la realidad y que podrían afectar al comportamiento del sistema, como un cambio brusco en la demanda de potencia, o una carga total o nula de las baterías. Si bien, como se apuntó anteriormente, en este caso los controladores se utilizan simplemente como un primer paso sobre el que comparar posteriormente un controlador más complejo (control óptimo).

Sin embargo no es el único artículo donde se obvian ciertas restricciones. Así, en [2] y [4] se propone una estrategia de control digital, donde se tiene una máquina de tres estados, que depende únicamente del estado de carga de las baterías. Si bien esta máquina está diseñada para cargas poco fluctuantes (sería inadmisibles en un vehículo).

Limitaciones similares se han encontrado en [6] y [7], artículo este último que se centra principalmente en el control de los convertidores, pero que no tiene en cuenta las dinámicas y limitaciones del resto de equipos, controlando simplemente las tensiones del bus de continua y de las baterías.

2.2 Controladores Lineales.

El paso siguiente a los controladores de tipo heurístico en principio es el uso de otro tipo de controladores sencillos. Sin embargo la mayor parte de los trabajos prueban directamente con estrategias de control avanzadas. En [8] sin embargo se estudia la posibilidad de utilizar controladores lineales (PI y PID), así como un controlador histerético para la gestión de potencia de un vehículo con pila de com-

bustible y súper condensadores. Los controladores, sean del tipo que sean, actúan sobre los convertidores de potencia. Los resultados, tomados experimentalmente en un banco de pruebas, resultan satisfactorios.

2.3 Redes Neuronales.

En [9] se recurre a una red neuronal para el control del flujo de potencia de un vehículo con pila de combustible y baterías. Como es sabido, las redes neuronales tienen la ventaja de que tienen capacidad de aprendizaje. Sin embargo para el presente trabajo, el aspecto más interesante del artículo mencionado es que distingue cuatro zonas de funcionamiento del vehículo, según la potencia y la velocidad instantánea. De esta manera el sistema de control puede distinguir el tipo de conducción (ciudad, carretera, autopista...), cambiando determinados parámetros del controlador, si resulta conveniente.

2.4 Control Óptimo.

El control óptimo parece a priori una de las técnicas que mejor encajan con el sistema. En efecto, el objetivo de un gestor de potencia es repartir los flujos de energía de la mejor manera posible. Esta expresión tan subjetiva se puede concretar marcando un objetivo, que principalmente será el ahorro de combustible. Sin embargo antes de alcanzar dicho objetivo, se han de tener en cuenta tanto las necesidades del usuario (potencia demandada) como las limitaciones propias del sistema. Tenemos por tanto un objetivo y unas restricciones, lo cual cuadra con el uso de un controlador óptimo.

En [10] prueban a controlar el sistema con un controlador del tipo Linear-Quadratic Regulator (LQR), trabajando sobre un modelo linealizado en torno a un punto. Los resultados son satisfactorios, si bien el artículo no aclara qué sucede si el sistema se aleja del punto de linealización.

Sin embargo, como se detalla en [1], el controlador óptimo necesitaría saber las demandas de potencia futuras, lo cual depende del usuario y por lo tanto resultan desconocidas.

2.5 Control Subóptimo.

Para evitar el problema del control óptimo mencionado anteriormente, en [11] se propone un nuevo tipo de controlador, desarrollado en [12] [13] [14], donde se considera un factor de equivalencia entre combustible y energía, de manera que se pueda comparar el consumo de combustible a la energía transferida o absorbida por el sistema de almacenamiento de energía. Esta estrategia se conoce como Equivalent Consumption Minimization Strategy (ECMS), y es utilizada también en [1].

2.6 Control Predictivo.

En [15] se propone un controlador predictivo para un vehículo con pila de hidrógeno y SC en el que se tienen en cuenta **todas** las ecuaciones de la pila. El objetivo

principal del controlador es satisfacer la demanda de potencia del usuario, a la vez que se evita que los SC se carguen o descarguen en exceso, y sobre todo que el exceso de oxígeno (λ_{O_2}) se mantenga en unos niveles óptimos. Se pretende, pues, establecer un algoritmo que controle los parámetros de distintos niveles del sistema. En efecto, el controlador se encarga tanto de la gestión de potencia como del control interno de la pila. Con esto quizás se consiga un control más optimizado del sistema completo. Sin embargo al ser un sistema centralizado, pierde la modularidad y resulta menos robusto ante el cambio de cualquiera de sus dispositivos.

En [1] y [16] se utiliza de nuevo un controlador predictivo, si bien éste únicamente se encarga de la gestión de potencia.

La estrategia de control predictivo será la utilizada en este proyecto. Se ha escogido ya que permite el uso de restricciones en sistemas Multiple Input Multiple Output (MIMO) de manera muy cómoda, proporcionando, además, muy buenos resultados en cuanto al control. De hecho este proyecto toma como punto de partida el controlador predictivo de [1]: "*Control de Potencia en Vehículos Híbridos con Pila de Combustible*", de Antonio Pérez Espinosa de los Monteros.

Capítulo 3

Descripción del sistema

3.1 Descripción del Vehículo.

Las características del automóvil original ya se explicaron en el apartado 1.3.4, en la página 3. Sin embargo al mencionado vehículo se le han hecho una serie de modificaciones, necesarias para adaptarlo al su nueva condición de coche eléctrico con pila de combustible. Así, los principales cambios son los siguientes:

- ▷ Transmisión: Se elimina la opción de tracción total. El conductor podrá elegir entre propulsión o punto muerto. Esta última opción se tiene únicamente por seguridad, ya que en un motor eléctrico no es necesaria.
- ▷ Motor: Se elimina el motor de combustión, que es sustituido por el eléctrico descrito en el apartado 3.4.1.
- ▷ Embrague: Se elimina, y se inutiliza el pedal izquierdo. Resulta innecesario para un motor eléctrico.
- ▷ Caja de cambios: No se elimina, pero se fija a la cuarta marcha. Se elimina la palanca de cambios, y se añade un botón para la marcha atrás.
- ▷ Dirección: Se elimina la dirección asistida, para ganar espacio.
- ▷ Dispositivos de frenado: Se elimina el servofreno, para ganar espacio.
- ▷ Instalación eléctrica: Se cambia por completo para adaptarla a los dispositivos de gestión de potencia (apartado 3.4).
- ▷ Sistema de combustible: Se retira el depósito de gasoil, y se añade un sistema nuevo de almacenamiento de combustible, que se describe en el apartado 3.2.

La colocación de los distintos elementos en el vehículo se puede ver de manera esquemática en la figura 3.1

3.2 Almacenamiento de Hidrógeno

El hidrógeno se almacena a presión en tres depósitos situados en la parte trasera del vehículo. Dos de ellos tienen una capacidad de 33 litros, y el tercero de 24. Todos aguantan una presión de hasta 350 bares, lo que equivale a unos 2'4 kg de gas. En la figura 3.2 se muestra la integración de los depósitos en el vehículo.