



# LEICI

## Laboratorio de Electrónica Industrial, Control e Instrumentación

### FACULTAD DE INGENIERÍA

### UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



## SUPERCAPACITORES EN FUENTES HÍBRIDAS DE POTENCIA QUE EMPLEAN PILAS DE COMBUSTIBLE PEM

Talpone J.I. <sup>(1,2)</sup>, Moré J. J. <sup>(1,2)</sup>, Puleston P.F. <sup>(1,2)</sup>, Cendoya M. G. <sup>(1,2)</sup>

<sup>(1)</sup> UNLP, Facultad de Ingeniería, La Plata, Argentina. <sup>(2)</sup> CONICET.

## RESUMEN

En la actualidad, las pilas de combustible (PC) son consideradas como una de las fuentes de energía alternativas más relevantes debido a su alta eficiencia, bajo impacto ambiental y escalabilidad. En particular, las pilas de combustible PEM (PC-PEM) resultan de interés en muchas aplicaciones, cuando se comparan con otros tipos competitivos de PC. Esta tecnología ha superado la fase de prueba y alcanzado la etapa de comercialización durante los últimos años. Las principales desventajas de las PC-PEM son su elevado tiempo de arranque y lenta respuesta dinámica. Esta última característica debe tenerse en cuenta cuando se alimentan cargas de consumo variable, puesto que ante cambios abruptos del mismo pueden aparecer, como consecuencia, fenómenos indeseados en el funcionamiento interno del dispositivo que reduzcan considerablemente su vida útil o provoquen daños irreversibles del stack. Por lo tanto, resulta recomendable asociar las PC-PEM con un sistema de alimentación auxiliar que suministre la energía asociada a las variaciones rápidas de consumo, mejorando así la respuesta del conjunto. En este contexto un Supercapacitor (SC) es un dispositivo ideal para combinar con la PC-PEM y así formar una fuente híbrida de potencia capaz de satisfacer adecuadamente la demanda de energía tanto de cargas constantes como también de cargas de consumo rápidamente variable en el tiempo.

En este trabajo se discute el rol de los Supercapacitores en el diseño de fuentes híbridas de potencia basadas en PC-PEM. Se describen algunas áreas de aplicación, arquitecturas de diseño más relevantes y algunas de las estrategias de control más utilizadas. Por último, se presenta un sistema híbrido PC-PEM/SC de 1,2 kW y se muestran resultados experimentales para un perfil de carga determinado. Se describe la estrategia de control utilizada, demostrando que esta combinación provee ventajas en términos de velocidad de respuesta del sistema y seguridad de la PC.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, resultados de investigaciones han demostrado que el uso de dispositivos de almacenamiento de energía añade ventajas adicionales a fuentes de potencia basadas en pilas de combustible (PC). Mejoran la eficiencia, calidad de potencia, estabilidad y confiabilidad. En la actualidad, estos dispositivos auxiliares pueden ser baterías o supercapacitores (SCs). En comparación con las baterías, los SCs tienen como ventajas su potencia específica elevada y larga vida útil. Además su densidad de energía es suficiente con los requerimientos de una gran cantidad de aplicaciones como sistemas de generación distribuida, vehículos eléctricos y aplicaciones portátiles. Este tipo de cargas exigen alta potencia instantánea durante periodos cortos de tiempo. Otra ventaja de los SCs es su excelente desempeño aún en temperaturas extremadamente bajas, dónde las baterías no son una opción o requieren de cuidados adicionales que pueden hacer no viable su uso dado el costo de implementación. En el medio plazo, para las aplicaciones mencionadas, las pilas de combustible tipo PEM (PC-PEM) se consideran la opción más prometedora de las nuevas tecnologías de generación de energía alternativa debido a su alta densidad energética, baja temperatura de operación y nula contaminación ambiental, siendo capaces de suministrar energía a la carga en forma continua siempre que sea provista de los gases reactivos (hidrógeno y oxígeno). Sin embargo, es importante considerar, en las PC-PEM, que para obtener un óptimo desempeño, un adecuado rendimiento y preservar su vida útil se debe evitar que el stack sea sometido a cambios abruptos en la corriente instantánea que debe entregar, es decir, en la potencia instantánea que la PC-PEM debe suministrar a la carga durante cambios en la demanda. Con este objetivo, una solución atractiva es combinar la PC-PEM con SCs que puedan entregar rápidamente la energía demandada en dichos periodos de corta duración, conformando así una Fuente Híbrida de Potencia (FHP). Esta combinación hace posible alcanzar las exigencias de la carga con alta densidad de energía y de potencia.

En este trabajo se presenta una revisión general de las tendencias recientes en FHP de estas características, haciendo hincapié en las áreas de aplicación, arquitecturas de diseño más relevantes y algunas de las estrategias de control más utilizadas. Se presentan resultados experimentales para una FHP PC-PEM/SC de 1,2 kW para un perfil de carga determinado. Se describe la estrategia de control utilizada, demostrando que esta combinación provee ventajas en términos de velocidad de respuesta del sistema y seguridad de la PC-PEM.

## 2. APLICACIONES ACTUALES DE LAS FHP PC-PEM/SC

**Sistemas de Transporte:** En la actualidad, los vehículos eléctricos con baterías son los más conocidos y comúnmente comercializados. Las FHP que combinan PC-PEM/SC ofrecen muchas ventajas sobre las baterías para aplicaciones en vehículos, ya que, a diferencia de estas últimas, pueden producir energía eléctrica en forma continua mientras se les provea del combustible necesario, son limpias, flexibles y eficientes, aún a bajas temperaturas.

**Generación Distribuida (GD):** El término GD se refiere a cualquier unidad de generación de pequeña escala ubicada cerca del punto de suministro, en lugar de ubicaciones remotas o en grandes centrales. Estos sistemas permiten reducir las pérdidas en las largas líneas de transmisión y distribución, reduciendo el costo de instalación, mejorando la regulación de tensión local y con la posibilidad de añadir fácilmente una pequeña unidad de generación adicional durante las condiciones de máxima demanda. Actualmente FHP PC-PEM/SC se utilizan en configuraciones de GD en pequeñas regiones, en algunos países de Europa. En estos casos, el sistema está conectado a la red eléctrica para proporcionar energía eléctrica adicional a la planta o, como un sistema independiente de la red para generar electricidad en zonas remotas o aisladas sistemas "autónomos").

**Sistemas Portátiles:** Las FHP PC-PEM/SC pueden proporcionar energía eléctrica en lugares donde no es posible una conexión a red, utilizándose como unidades de potencia portátiles. Por ejemplo, en un lugar al aire libre el uso de una pila de combustible para generar energía eléctrica en lugar del uso de un generador diésel evita emisiones nocivas y no causa problemas de ruido en el entorno.

## 3. ARQUITECTURAS PARALELAS PARA FHP QUE COMBINAN PC-PEM/SC

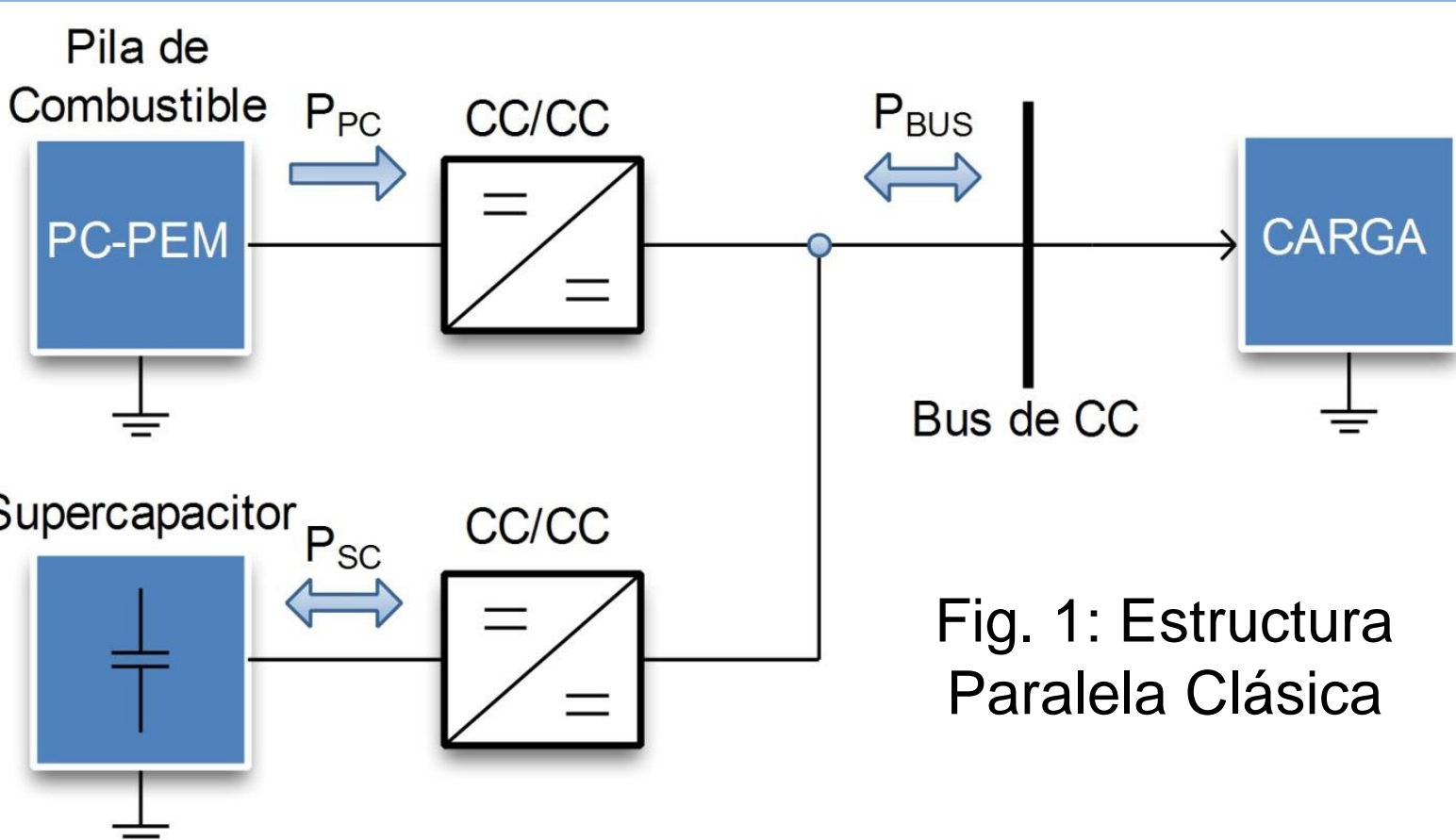


Fig. 1: Estructura Paralela Clásica

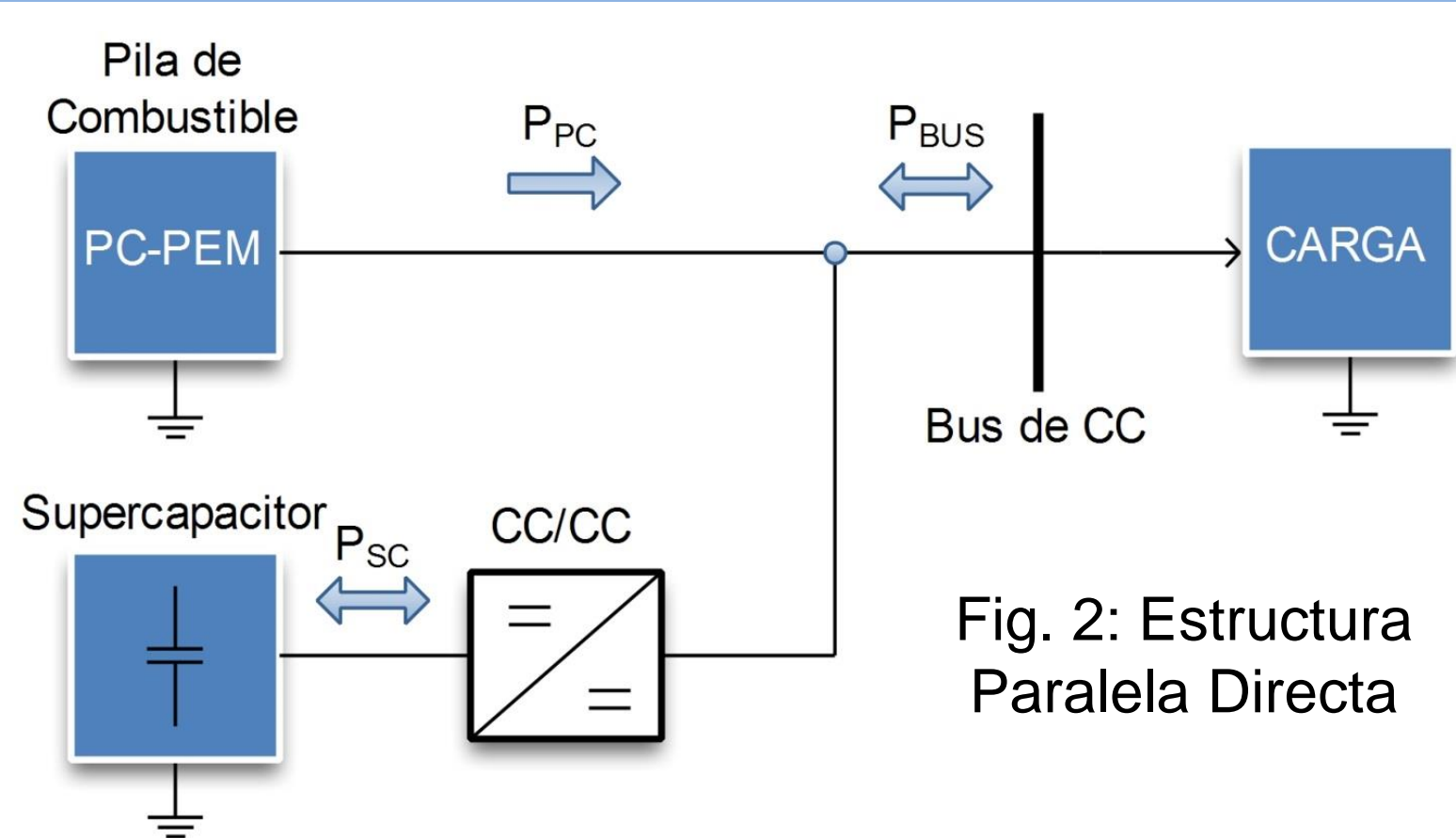
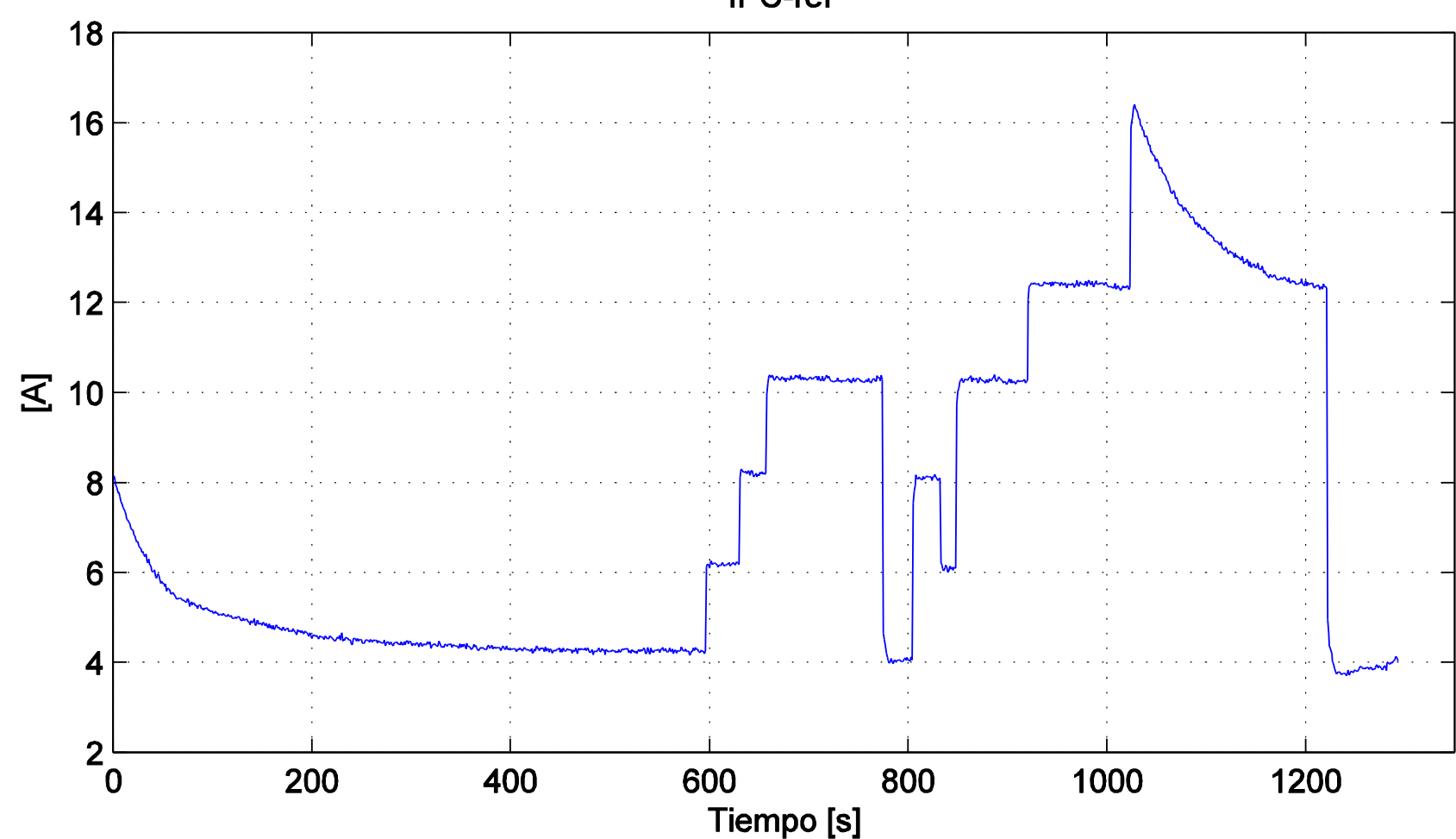
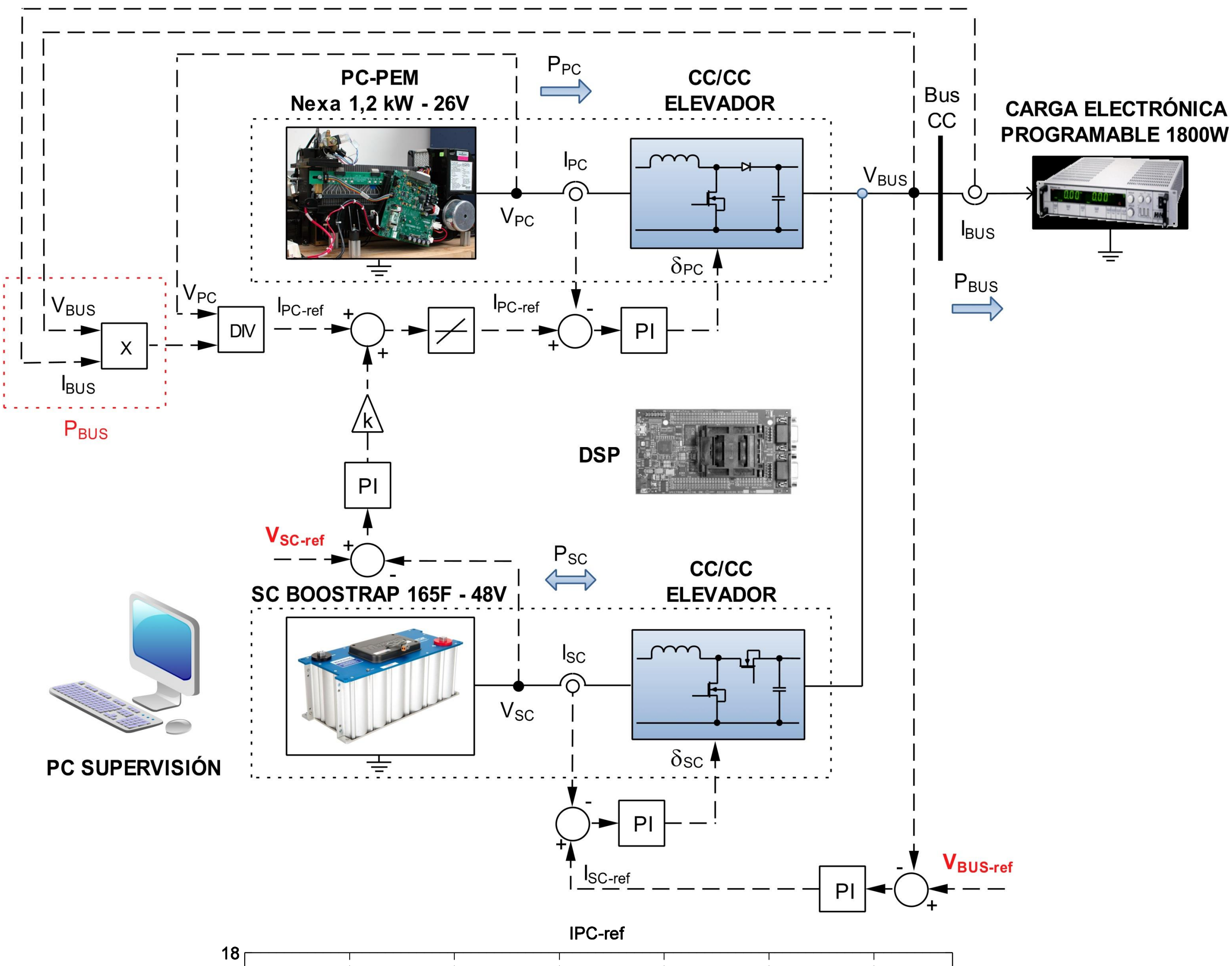


Fig. 2: Estructura Paralela Directa

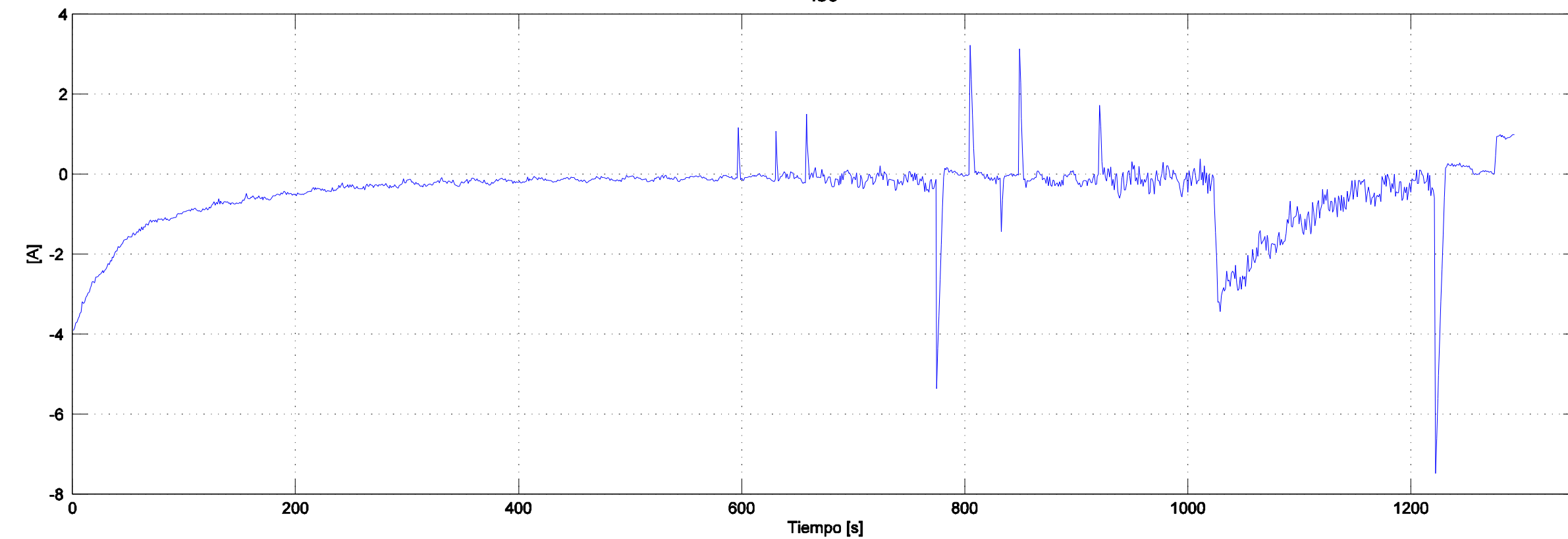
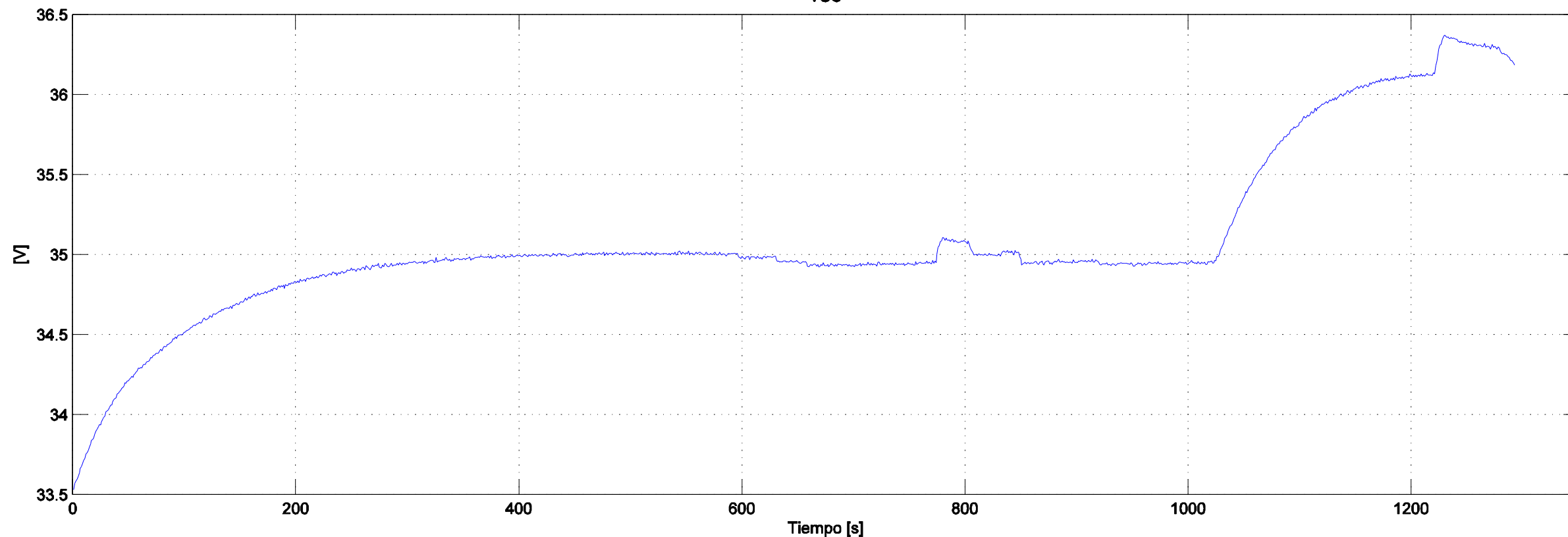
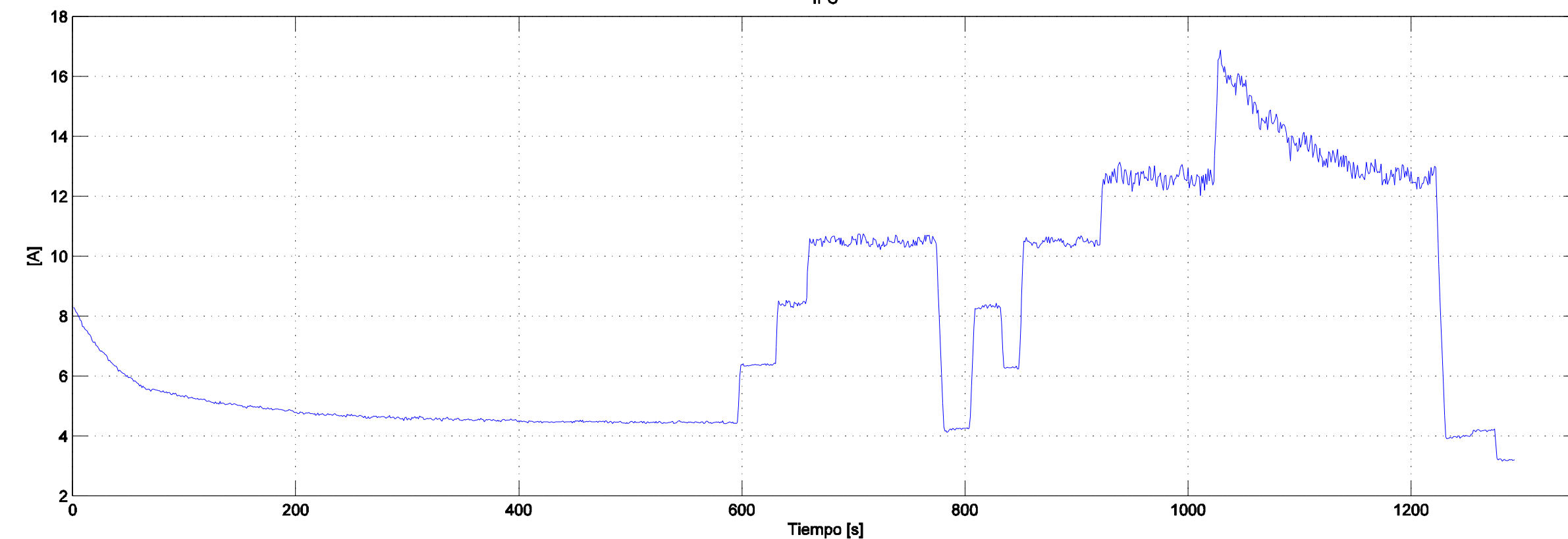
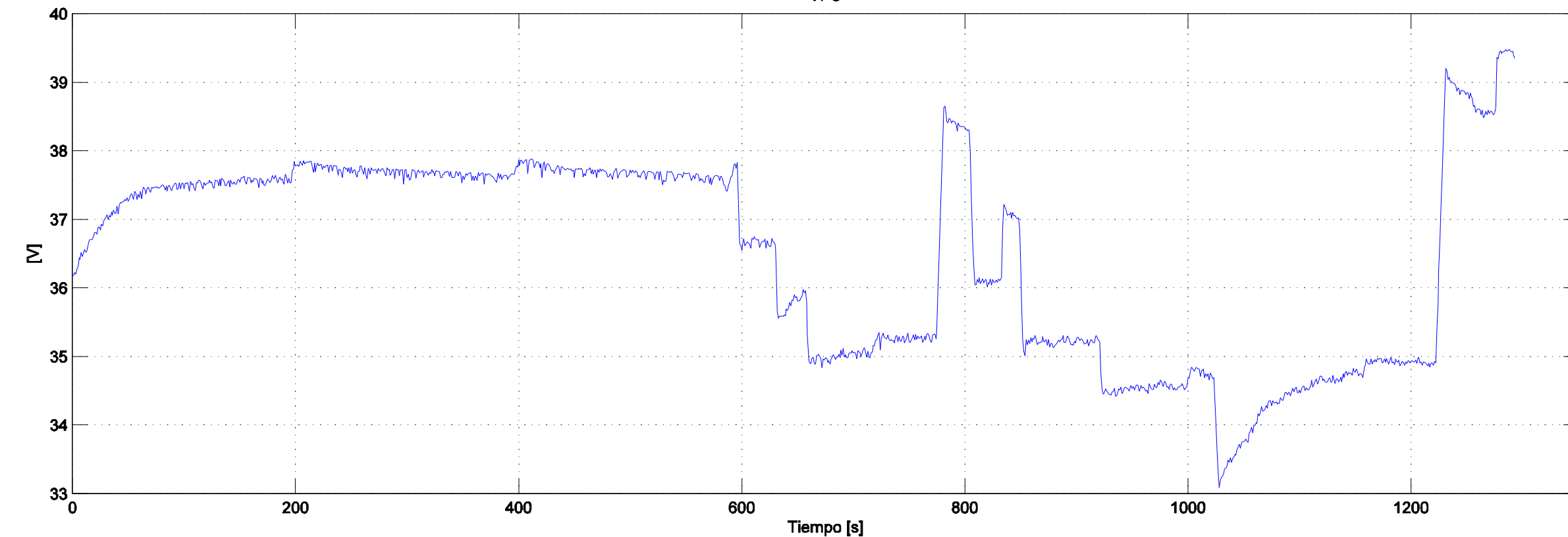
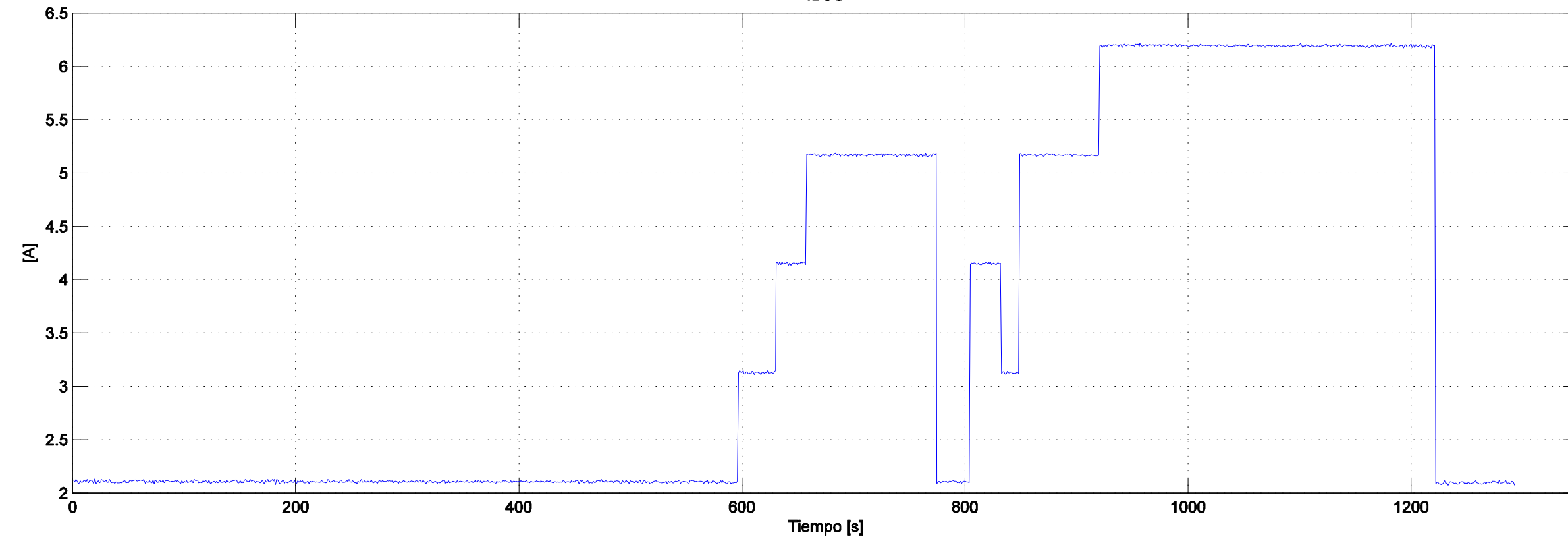
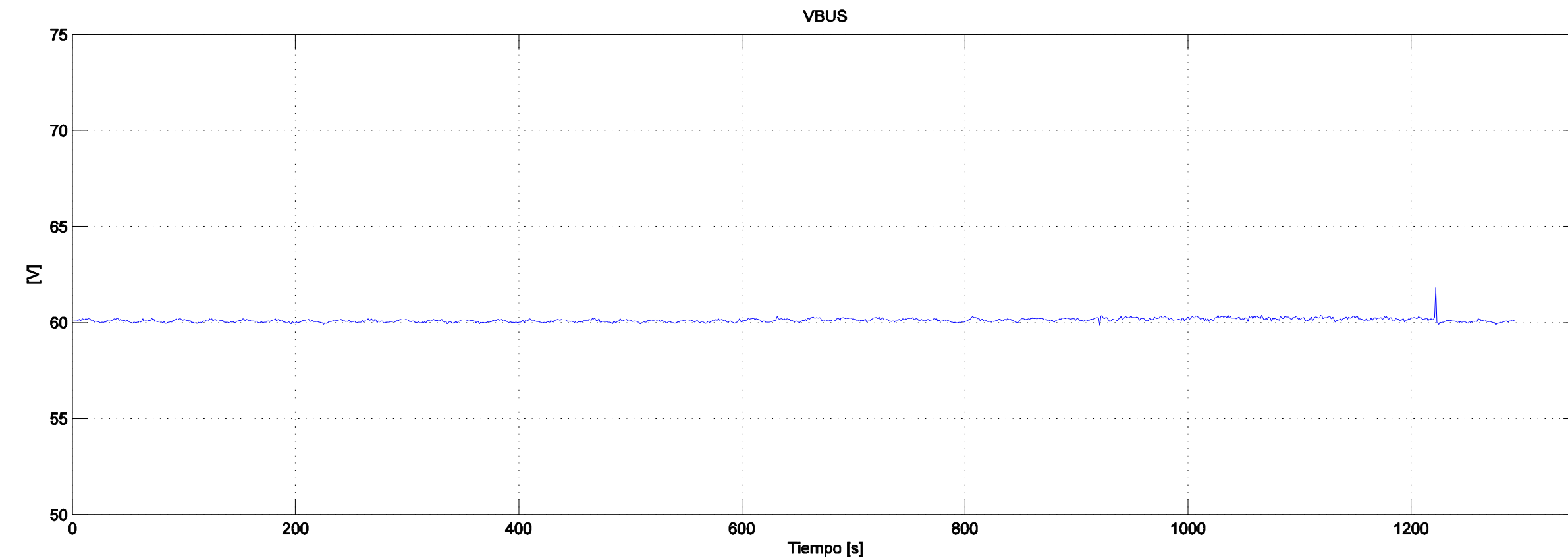
## 4. PLATAFORMA EXPERIMENTAL Y ESTRATEGIA DE CONTROL PROPUESTA



### Características de la Plataforma

- Pila de Combustible PEM, modelo Nexa de 1200W – 26V de la compañía Ballard®.
- Supercapacitor Bootstrap® de 165F – 48V de Maxwell®
- Convertidores CC/CC elevadores no aislados basados en Pack IGBT Semikron B6CI-75F-40V12 de 1200V – 75A. El asociado a la PC-PEM unidireccional y el del SC bidireccional.
- Carga electrónica programable H&H® de 1800W – 80V.
- DSP TMS320F28335Z de Texas Instruments de 150 MHz, programable a través de Simulink® MATLAB®.
- PC de tiempo real de National Instruments® dónde se encuentra la estrategia de gestión de energía. Programable a través de LabView®.

## 5. RESULTADOS EXPERIMENTALES



## CONCLUSIONES

- ✓ El uso de SCs en FHP basadas en una PC-PEM permiten evitar, a través de una estrategia de gestión de energía adecuada, que esta última sea sometida a variaciones abruptas de potencia, ante cambios en la demanda, preservando su buen desempeño y vida útil.
- ✓ La combinación PC-PEM/SC permite mejorar la respuesta dinámica del sistema, garantizando una rápida respuesta transitoria, para varias aplicaciones.
- ✓ Resultados experimentales para una estructura paralela clásica muestran, para la estrategia de control propuesta, el adecuado desempeño de la FHP, manteniendo una tensión constante en el Bus CC y abasteciendo satisfactoriamente la demanda, sin exigir la PC-PEM.