



ANEXO I - Capacidades y requerimientos de instalaciones de ensayo del Laboratorio de Sistemas de Energía del INTA en CEDEA

1. Introducción

El Laboratorio de Sistemas de Energía del Centro de Experimentación de El Arenosillo (CEDEA), perteneciente al Área de Energía del INTA, dispone de instalaciones experimental para la evaluación y demostración de tecnologías electroquímicas para el almacenamiento de energía eléctrica, en especial de origen renovable, así como de otras tecnologías asociadas.

Estas instalaciones constan fundamentalmente de bancos de ensayo de baterías y pilas de combustible, que complementan una microrred experimental en la que se combinan sistemas de generación de energía de origen renovable, diversas tecnologías de almacenamiento de esa energía eléctrica, diferentes consumos, tanto móviles (vehículos eléctricos) como estacionarios (la propia red del Laboratorio y cargas eléctricas programables), y los correspondientes sistemas de monitorización, control y gestión de los flujos de energía entre los diferentes componentes de la microrred.

El objetivo de esta instalación se centra en la demostración de tecnologías y componentes necesarios para una adecuada gestión de energías renovables, ajustando la generación a la demanda mediante la utilización de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica. Es una instalación que pretende ser flexible y adaptarse a los requerimientos de diferentes proyectos en los que participa el Laboratorio de Sistemas de Energía del INTA. A continuación se detallan las principales características de los bancos de ensayos de baterías y la microrred experimental.

2. Banco de ensayos de baterías y supercondensadores

La instalación de ensayo de baterías y supercondensadores consta de módulos de medida para muestras de alto voltaje, módulos para ensayos de muestras de bajo voltaje, y una cámara climática. Las características de cada equipo son las siguientes:

a) Módulos de ensayo de canales de alto voltaje

- Número de Canales: 4 canales
- Posibilidades de conexión: los canales permiten conectarse en paralelo sumando la corriente de cada canal, permitiendo una intensidad máxima de 400A. Los canales deberán estar firmemente sujetos al dispositivo a probar. Está posibilidad es válida tan solo para trabajar a corriente constante, voltaje y control de potencia
- Rango de Voltaje (mín. /máx.): 0 a 60V
- Exactitud de control y medida de Voltaje ($\pm 0.05\%$ FSR): $\pm 60\text{mV}$



- Voltaje mínimo a la máxima corriente (100A): 0V
- Impedancia de entrada: $\sim 10G\Omega$
- Máxima Corriente (carga/descarga): 100A
- Resolución de corriente y voltaje: 16 bits
- Rangos de corriente ($\pm 0.05\%$ FSR):
 - Alto: $100A \pm 100mA$
 - Medio: $10A \pm 10mA$
 - Bajo: $1A \pm 1mA$
- Tiempo Subida de Corriente: 3mS. Dado que este es un circuito bipolar, el tiempo de conmutación entre la carga y descarga es NULO.
- Tipo de circuito: Bipolar lineal
- Potencia Continua Máxima por canal: 6000W

b) Módulos de ensayo de canales de bajo voltaje (rango dual)

- Número de Canales: 4 canales.
- Posibilidades de conexión: los canales permiten conectarse en paralelo sumando la corriente de cada canal, permitiendo una intensidad máxima de 40A. Los canales deberán estar firmemente sujetos al dispositivo a probar. Está posibilidad es válida tan solo para trabajar a corriente constante, voltaje y control de potencia.
 - Rango de Voltaje (mín. /máx.): 0 a 5V
 - Exactitud de control y medida de Voltaje ($\pm 0.05\%$ FSR): $\pm 2mV$
 - Voltaje mínimo a la máxima corriente (10A): 0V
 - Impedancia de entrada: $\sim 10G\Omega$
 - Máxima Corriente (carga/descarga): 10A
 - Resolución de corriente y voltaje: 14 bits
 - Permite pulsos con anchura menor a 5 milisegundos
 - Rangos de corriente ($\pm 0.05\%$ FSR):
 - Alto: $10A \pm 4mA$
 - Medio: $100mA \pm 40\mu A$
 - Bajo: $1mA \pm 400nA$
- Tiempo Subida de Corriente: 50-100 μs . Dado que este es un circuito bipolar, el tiempo de conmutación entre carga y descarga es NULO.
 - Tipo de circuito: Bipolar lineal
 - Potencia Continua Máxima por canal: 50W

Otras características comunes para todos los canales:

- Precisión: $\pm 0.05\%$ FSR (Full Scale Range)
- Modos de Operación:



Ministerio de Defensa

DGAM - SDGPLATIN

Programa ARREDAJO FASE I

Anexo I Capacidades y requerimientos de instalaciones de ensayo LEA – CEDEA - INTA

- Voltaje constante (CV)
- Corriente constante (CC)
- Potencial constante (CP)
- Resistencia constante (CR)
- Rampas de voltaje (Ramp)
- Rampa de Corriente (Ramp)
- Barrido en escalón de Corriente y Tensión
- CC-CV sistema de seguridad y suavizado para pulsos de corriente constante o tensión constante
- Medida de Resistencia Interna DC para todos los canales

c) Cámara climática

- Volumen cámara: 300 litros
- Medidas interiores: 700 x 700 x 625mm (Alto x Ancho x Fondo)
- Medidas exteriores: 1950 x 1000 x 1220 (Alto x Ancho x Fondo)
- Interior fabricado totalmente en acero inoxidable de calidad AISI 316 pulido, satinado, antimagnético, totalmente estanco y sin soldaduras interiores.
 - Exterior en acero galvanizado lacado
 - Aislamiento compuesto por poliuretano sin CFC y paneles de lana de roca mineral.
- Impermeabilidad total y resistencia al ataque corrosivo de ácidos y álcalis
 - Control de temperatura y humedad
 - Temperatura mínima de ensayo de menos cuarenta grados centígrados (-40°C)
 - Temperatura máxima de ensayo de ciento cincuenta grados centígrados (150°C)
 - Estabilidad de la temperatura: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ a $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (en vacío)
 - Precisión de la temperatura: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
 - Rango de humedad de 10 al 98% HR
 - Estabilidad de la humedad: $\pm 1\%$ HR a $\pm 3\%$ HR
 - Precisión de la humedad: $\pm 0.1\%$ HR
 - Control mediante controlador Eurotherm 2604
 - Puerta de apertura frontal con mirilla de observación ubicada y centrada en la puerta y de dimensiones de 400 x 350 mm en multicristal atemperado compuesto por 7 lunas en vidrio securit selladas al vacío. Resistencias en marco de puerta y ventana (anti-vaho): 2 x ± 92 W. Junta de silicona flexible de alta y baja temperatura en todo el burlete para facilitar la hermeticidad del cierre de la puerta. Bisagras cromadas y cierre de ajuste.
 - Puntos de acceso (portholes) para ensayos de muestras conectadas a equipos externos , como puede ser el banco de baterías. Fabricado en silicona de 80 mm de diámetro con tapón estanco para la introducción de cableado eléctrico, termosondas o termómetros, situados tanto en el lateral izquierdo como en el derecho de la cámara climática
 - Base equipada con 4 ruedas multidireccionales.
 - Sistema de calefacción compuesto por elementos calefactores blindados y aleteados, fabricados totalmente en acero inoxidable. Su baja resistencia térmica facilita una rápida respuesta en la transferencia de energía eléctrica a térmica. Potencia calefactora instalada: 3 kW



Ministerio de Defensa

DGAM - SDGPLATIN

Programa ARREDAJO FASE I

Anexo I Capacidades y requerimientos de instalaciones de ensayo LEA – CEDEA - INTA

- Sistema de humidificación basado en la utilización de un baño de agua controlado electrónicamente con resistencias eléctricas perfectamente aisladas del agua. Potencia calorífica instalada: 1,5 kW
 - Sistema de control con las siguientes características:
 - Nº de programas almacenables en memoria 50
 - 500 segmentos repartibles entre programas
 - Nº de ciclos de 1 a 999 o infinito
 - Optimización de valores de trabajo mediante parámetros PID en frío y en calor
 - Pantalla LED electrónico-digital con teclado alfanumérico que permite visualizar los valores programados así como los valores de consigna. Situación ergonómica de pantalla, interruptores y mandos
 - El sistema permite guardar en memoria no volátil todos los datos programados, no siendo afectados por fallos de corriente
 - Monitorización de la temperatura y la humedad que permite su programación en perfiles mediante tramos en función rampa y estabilización
 - Configuración de alarmas, avisará cuando sobrepase un valor límite de seguridad o por si alguna razón hay algún desvío de las condiciones programadas
 - Lectura de humedad directa en % H.R.

3. Microrred experimental del laboratorio de energía de El Arenosillo - CEDEA

De forma genérica, una microrred es un sistema de generación eléctrica bidireccional que permite la distribución de electricidad desde los proveedores hasta los consumidores, utilizando tecnología digital y favoreciendo la integración de las fuentes de generación de origen renovable, con el objetivo de optimizar la gestión, ahorrar energía, reducir costes e incrementar la fiabilidad.

La microrred del INTA tiene como objetivo principal dar respuesta a estas necesidades de evaluación y validación de diferentes tecnologías, equipos, sistemas y configuraciones, tratando de probar sus prestaciones y fiabilidad en diferentes condiciones de utilización, en condiciones reales de uso en aplicaciones civiles y de Defensa. La microrred experimental del INTA es básicamente un sistema híbrido que integra sistemas de generación eléctrica, sistemas de almacenamiento y diferentes cargas, en AC y DC, conectados mediante un bus interno de 400 VDC nominal, así como conexión a red trifásica de 400VAC, correspondiente a la red que proporciona energía al Laboratorio.

El bus de DC, se encarga de interconectar los equipos con generación y cargas en DC, y viene impuesto por la tensión de operación de un banco de baterías. Los generadores en DC corresponden a varios campos fotovoltaicos, a un aerogenerador y pilas de combustible. Los sistemas de almacenamiento de energía están representados por las baterías y el uso de hidrógeno como vector energético, incluyendo su producción mediante electrólisis alcalina, almacenamiento en baja presión, hidruros metálicos y alta presión, y consumo a través de pilas de combustible.

En cuanto a la demanda, se contempla la interconexión e inyección desde el bus de DC a red mediante un inversor trifásico, así como una carga programable en corriente continua.

Todos los sistemas de generación y demanda están monitorizados con sensores de tensión y corriente, con el objetivo de plantear distintas estrategias de gestión de la energía en base a valores empíricos medidos en tiempo real.

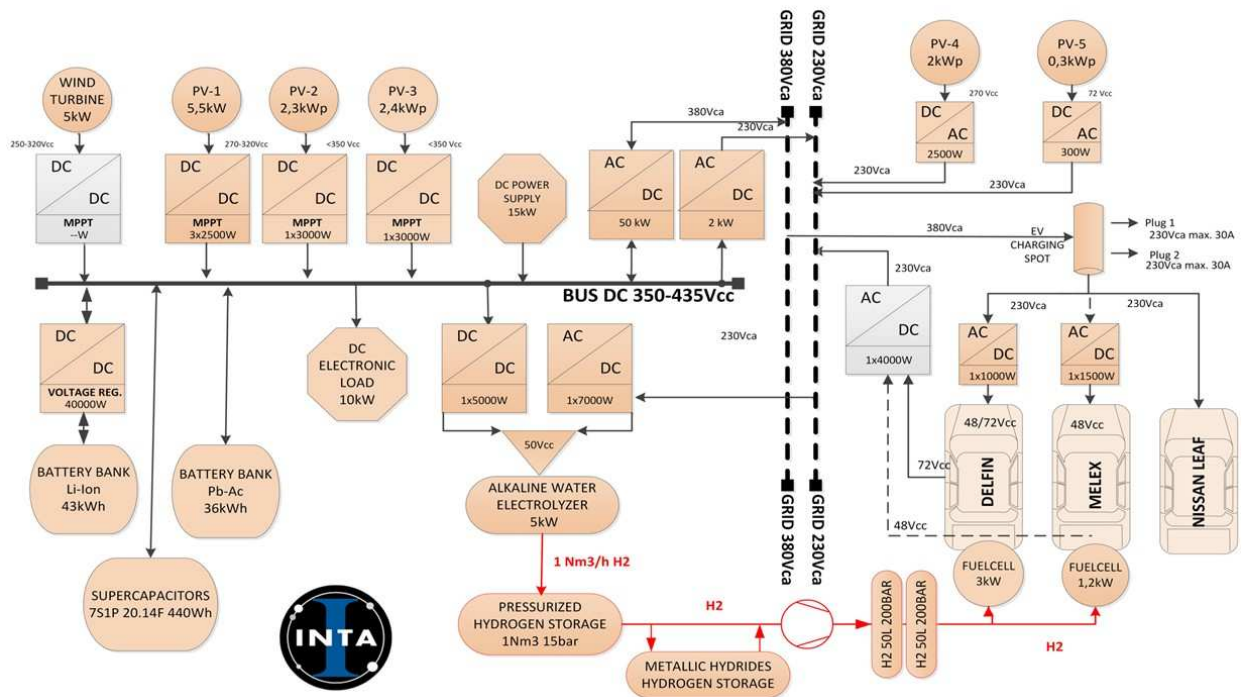


Figura 1: Diagrama de bloques de la microrred de INTA

A continuación se detallan con mayor grado de detalle los principales componentes de la microrred:

a) Generación

- Campo fotovoltaico 1: Compuesto por 136 paneles BP60 de 60 Wp con una potencia total de 5200 Wp. Con una topología que garantiza una tensión de funcionamiento adecuada dentro del rango de trabajo de diseño de los convertidores tipo Boost (200 – 450 V) utilizados para la conexión al bus de la microrred.
- Campo fotovoltaico 2: Se dispone de un campo fotovoltaico de paneles para integración arquitectónica, montados sobre superficie vertical en estructura especialmente diseñada para ello. Dicho campo fotovoltaico se compone de 15 módulos en serie modelo ESF-M-BIPV-GG-P156-40-161W de 161 Wp, teniéndose una potencia total de 2415 Wp.



- Campo fotovoltaico 3: Formado por paneles flexibles, montados sobre superficie inclinada a 37º sobre la horizontal. Dicho campo fotovoltaico se compone de 16 módulos en serie modelo HF135 de 135 Wp, con una potencia total de 2160 Wp.
- Campo fotovoltaico 4: Con paneles montados sobre superficie inclinada a 37º sobre la horizontal. Este campo fotovoltaico se compone de 15 módulos policristalinos en serie modelo SI-ESF-M- P156-125W de 125 Wp. La potencia total es de 1875 Wp.
- Aerogenerador: Se trata de un aerogenerador trifásico de 230 VAC nominales de eje horizontal modelo AERO 5000W de 5 kWp. El aerogenerador dispone de freno electromagnético y método de orientación gracias al uso de un timón-cola. Debido a la tecnología usada, el aerogenerador no dispone de frenado aerodinámico, por lo que es necesario la monitorización de la velocidad del viento, con el objetivo de realizar un control de frenado mediante la variación de carga.
- Fuente de Alimentación Programable: Se trata de una fuente de alimentación de corriente continua de 15kW diseñada para uso en ensayos de laboratorio modelo SGI 500-30D-1C. El rango de tensión de entrada es de 0 a 500V $\pm 0.01\%$ y un rango de corriente de 0 a 30A $\pm 0.05\%$. Permite los modos de trabajo corriente constante, voltaje constante y potencia constante. Los interfaces de comunicación son RS232 y Ethernet. Mediante este equipo es posible simular cualquier fuente de generación de energía, bien renovable bien convencional para proporcionar una mayor flexibilidad de ensayos.

b) Almacenamiento

- Banco de baterías de plomo-ácido: Compuesto por 32 baterías en serie modelo UP-100 (12 V, 100 Ah) de tecnología VRLA-AGM, según curvas de descarga suministradas por el fabricante (Figura 7). La bancada de baterías de plomo ácido se encuentra directamente conectado al bus de DC y es la encargada de mantener la tensión de operación y absorber y ceder energía en primera instancia. La conexión de estas baterías al bus se realiza a través de protecciones tipo fusible e interruptor contactor y magnetotérmico.
- La bancada de baterías de ion Litio, compuesto de baterías de tecnología LiFePo₄, está formada por 75 celdas en serie distribuidas en 5 módulos, con una capacidad energética total de 43.2 kWh. Se encuentra conectada a través de un convertidor buck-boost bidireccional de 40 kW con estrategia de seguimiento de tensión en torno a tensión de diseño del bus de continua. Dicho convertidor cuenta con protecciones contra sobrecorrientes y sobretensiones, y un protocolo de arranque y parada frente a diversos malfuncionamientos. La salida de los convertidores se conecta al bus de DC a través de protecciones tipo fusible e interruptor. De forma análoga, la bancada cuenta con una unidad de protecciones y control compuesta por un módulo BMS (Battery Management System) y una etapa de balanceo de celdas las cuales permiten desconectar, proteger y



corregir desfases excesivos en el balance entre baterías, así como situaciones de sobrecarga o sobredescarga.

- Electrolizador alcalino, compuesto por 30 celdas, con una potencia máxima de 5 kW y un ratio máximo de producción de hidrógeno de 1 Nm³/h. El hidrógeno producido es almacenado en un depósito de baja presión a 15 bar y es usado en la recarga de los vehículos con pila de combustible disponibles en el Laboratorio.

c) Consumo

En este punto se incluye tanto la inyección en red mediante inversores como la utilización de una carga eléctrica programable para emulación de perfiles de consumo, así como los diversos vehículos eléctricos, híbridos a base de baterías y pilas de combustible y eléctrico a batería.

La inyección de energía a la red se realiza mediante un inversor cargador bidireccional trifásico, con aislamiento galvánico. Al ser bidireccional también nos permite su uso como un generador que inyecta energía a la microrred según los criterios establecidos por el usuario. La potencia nominal en corriente continua es de 50kW con un rango de tensión DC de 300V a 720V, y una corriente máxima DC 173A. Su eficiencia es del 96% . Posee diversos modos de protección tales como Conexión inversa Batería, Sobre/Sub tensión AC, Sobre/Sub frecuencia, Sobretensión DC.

La comunicación con el inversor se lleva a cabo mediante servicios TCP/IP:

WEB, usando el puerto 80 y el puerto 5901.

SNMP usando el puerto 161.

ModBus RTU mediante comunicación serie RS-485 y TCP mediante el puerto 502.

Para acceder de forma local mediante Ethernet se podrá hacer uso de un cable cruzado para la conexión directa al pc o mediante un switch.

El equipo inversor cuenta con dos modos de funcionamiento: mediante el panel de control o de forma remota.

El usuario puede acceder a diferentes magnitudes que puede modificar para caracterizar el funcionamiento del inversor.

- Referencia de tensión DC
- Referencia de Potencia Activa P de carga
- Referencia de Potencia Activa P de descarga
- Límite de corriente de carga
- Límite de corriente de descarga
- Referencia de Potencia Reactiva Q



- Marcha/Paro

Para permitir la simulación de perfiles de carga se dispone de una carga electrónica en corriente continua. Dicho equipo dispone de dos rangos de potencia, uno inferior hasta los 1000W y uno superior hasta los 10kW. El rango de tensión es único de 600Vcc. El rango de corriente es dual, de 32A y 320A.

d) Sistema de adquisición de datos y control de la microrred

El sistema de adquisición y control está centralizado en un instrumento virtual desarrollado en la plataforma Labview. Dicho sistema SCADA permite tanto la monitorización de las variables eléctricas de los equipos como la actuación sobre distintos elementos de control que definen el encendido y apagado los mismos o consignas de potencia de trabajo. De manera adicional, se mostrarán todas las alarmas y errores asociados al mal funcionamiento de los distintos equipos, centrándose principalmente en condiciones de baja o alta tensión y corriente de funcionamiento.

La finalidad de este software es la integración y control de todos los equipos que forman la micro red experimental, de tal forma que sirva de soporte para el ensayo e implementación de diferentes configuraciones y algoritmos de control y gestión de la energía eléctrica.

4. Requerimientos y especificaciones de sistemas y equipos de almacenamiento de energía para su evaluación en las instalaciones de ensayo.

Las instalaciones de ensayo anteriormente descritas permiten la evaluación de diferentes tecnologías electroquímicas de almacenamiento de energía a nivel de celdas de baterías, packs, módulos y sistemas. Las celdas individuales y packs de celdas de baterías, con o sin BMS, se evalúan en bancos de ensayo, con diferentes perfiles estándar de carga-descarga acordados con el fabricante o usuario final, y utilizándose si es preciso la cámara climática si los procedimientos de ensayo definidos lo requieren.

En estos ensayos, las tensiones e intensidades mínimas, nominales y máximas de las muestras a ensayar deberían estar cubiertas por los rangos de operación de los módulos de alto y bajo voltaje anteriormente descritos.

Si se requiere el uso de la cámara climática, deberá tenerse en cuenta las dimensiones útiles de la misma para la ubicación de muestras, así como los parámetros que se deban monitorizar en el banco de ensayo (tensión, intensidad, temperaturas, etc.)

En todo caso se acordarán con el suministrador de la muestra las condiciones y procedimientos de ensayo, prestando especial atención a los requerimientos de seguridad en esta operación.



Ministerio de Defensa

DGAM - SDGPLATIN

Programa ARREDAJO FASE I

Anexo I Capacidades y requerimientos de instalaciones de ensayo LEA – CEDEA - INTA

En el caso de módulos de baterías y sistemas completos, habitualmente con su propio sistema de monitorización y control, la evaluación de prestaciones del mismo se realizaría en la microrred experimental. Se contemplan dos opciones:

- a) Integración directa en corriente continua, con una conexión al bus de 400 VDC de tensión nominal.

En este caso, el sistema de almacenamiento de energía debe disponer de un convertidor DC/DC bidireccional que adapte la tensión de salida del módulo o sistema de baterías a la tensión de operación del bus de la microrred, con unas características similares a las que se detallan para el convertidor DC/DC conectado a las baterías de ion litio ya integradas en la microrred. Se deben proporcionar las protecciones tipo fusible y un interruptor específico de corriente continua para aislar el elemento a ensayar de la microrred en caso necesario.

- b) Integración en AC (trifásica o monofásica), con una conexión a la red del Laboratorio a la que está conectada la microrred.

En este caso, el sistema debería disponer de un inversor-rectificador DC/AC, que conecte la salida DC de las baterías a la red en alterna del Laboratorio, de forma que mediante balances de entrada y salida neta de energía se garantice la integración con los sistemas de generación de origen renovable de la microrred. Este convertidor debería permitir el control de la intensidad de salida y entrada, permitiendo la simulación de perfiles de generación y consumo.

Se deben proporcionar como mínimo las protecciones tipo interruptor diferencial y tipo magnetotermico en los rangos de trabajo del inversor-rectificador. Igualmente se requiere instalación de protección tipo fusible e interruptor específico de corriente continua entre sistema de almacenamiento de baterías y el inversor-rectificador.

En ambos casos, el sistema de almacenamiento de energía debe estar instalado en un armario o container para su ubicación en el exterior del edificio que alberga a la microrred, con un grado de protección mínimo IP65.

El sistema de control y monitorización del sistema de almacenamiento de energía será el responsable del primer nivel de control sobre la operación de dicho sistema de almacenamiento de energía. Este sistema de control y monitorización debe poder integrarse en el SCADA de la microrred, al objeto de poder efectuar los balances de energía de entrada y salida del sistema, y monitorizar aquellos parámetros relevantes para la caracterización del sistema. Para ello es preferible la disponibilidad de protocolo de comunicación Modbus TCP/IP.