

Infraestructuras

Red de distribución a escala MT..... 2
Red de distribución a escala BT..... 3
Laboratorio de media tensión..... 4

Equipamiento

Electrónica de potencia..... 7
Máquinas eléctricas rotativas..... 9
Almacenamiento energético.....11
Fuentes programables de potencia.....12
Equipos informáticos para Rapid Prototyping y Hardware in the Loop..... 14
Equipos de medida..... 17
Equipos de control, protección y comunicaciones..... 20
Otro equipamiento auxiliar 22
Software.....22

Red de distribución a escala MT

La red que se tiene disponible reproduce a escala (400 V y 100 kVA) la red de referencia de media tensión que se propone en la CIGRE Task Force C06.04.02 Developing Benchmark Models for Integrating Distributed Energy Resources. Dicha red está documentada en las publicaciones técnicas [1]-[3] y en la actualidad está totalmente operativa.

La particularidad de la red propuesta es que permite configurar los flujos de potencia activa y reactiva en cada uno de sus nudos de forma que se puede reproducir cualquier comportamiento de perfiles de carga y/o generación. Esta infraestructura puede ser utilizada para analizar los efectos sobre la red de distribución de diferentes tecnologías que se introducen en la misma. Se podría probar, por tanto, cualquier tecnología en este entorno hardware controlado de laboratorio previamente al despliegue en campo, que siempre conlleva dificultades añadidas y elevados costes asociados.

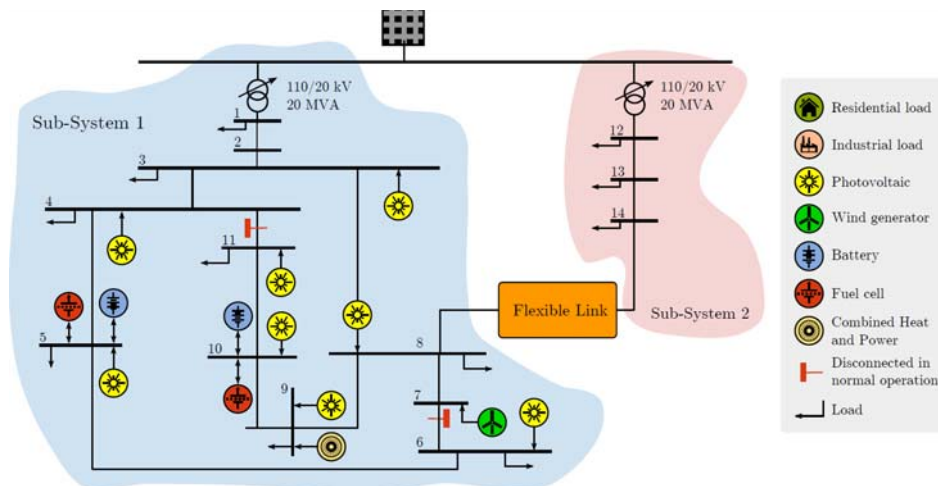


Figura 1: Esquema unifilar de la red de distribución MT a escala.



Figura 2: Red de distribución MT a escala de laboratorio.

La instalación puede ser utilizada para realizar pruebas y validación de:

- Dispositivos electrónicos de potencia utilizados en generación dispersa y/o almacenamiento.
- Algoritmos de control de dispositivos electrónicos utilizados para la integración de renovables, almacenamiento, coche eléctrico, etc.
- Algoritmos de control centralizados del operador de la red de distribución para mejorar la operación en presencia de renovables y almacenamiento.
- Análisis del funcionamiento de la red en isla.

Red de distribución a escala BT

La red que se tiene disponible reproduce a escala (400 V y 60 kVA) la red de referencia de baja tensión que se propone en la CIGRE Task Force C06.04.02 Developing Benchmark Models for Integrating Distributed Energy Resources. A diferencia de la anterior, se trata de una red trifásica a cuatro hilos que puede ser utilizada para realizar pruebas similares a las anteriormente mencionadas.

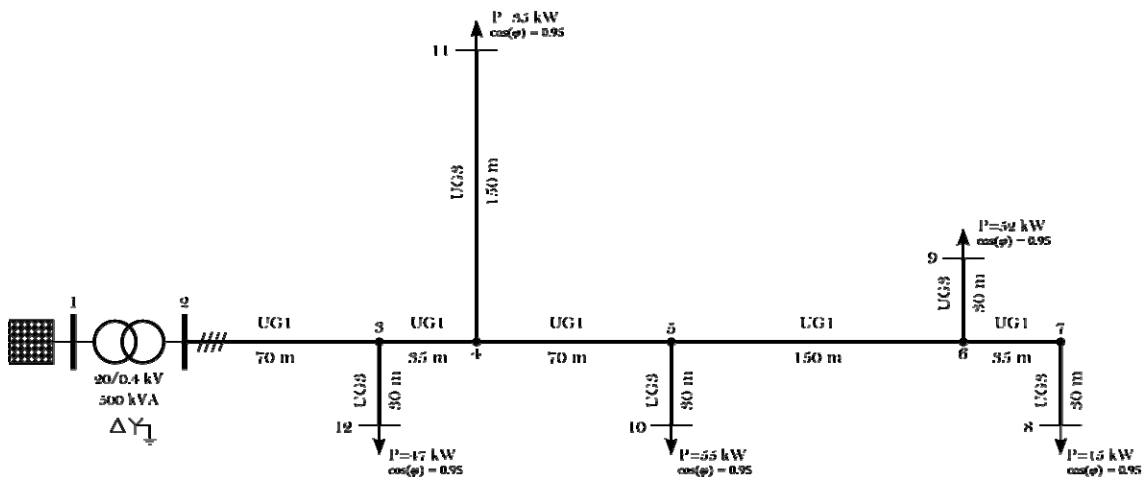


Figura 3: Esquema unifilar de la red de distribución BT a escala.

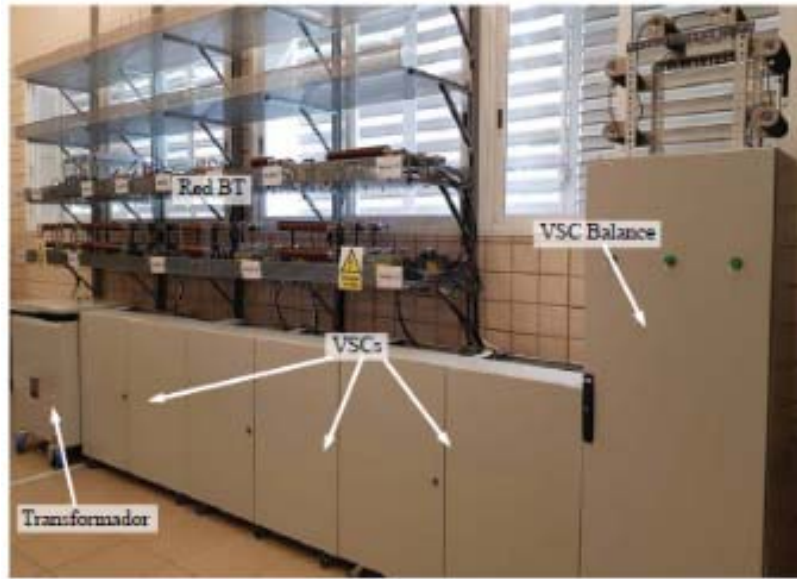


Figura 4: Red de distribución BT a escala de laboratorio.

Laboratorio de media tensión

El grupo de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Sevilla dispone de un laboratorio de media tensión equipado con transformadores secos 20/0.4 kV y 400 kVA de potencia nominal.



Figura 5: Vista del laboratorio de media tensión.



Figura 6. Vista del laboratorio de media tensión.

Esta instalación se combina con un convertidor en fuente de tensión (VSC) con topología back-to-back (400 V y 500 kVA) mostrado en la Figura 7.



Figura 7: Convertidor en fuente de tensión back-to-back 400 V y 500 kVA.

El esquema unifilar de la instalación se muestra en la Figura 8. De esta forma, es posible realizar pruebas a potencia nominal en el CT mediante la recirculación de potencia entre los convertidores con cualquier factor de potencia.

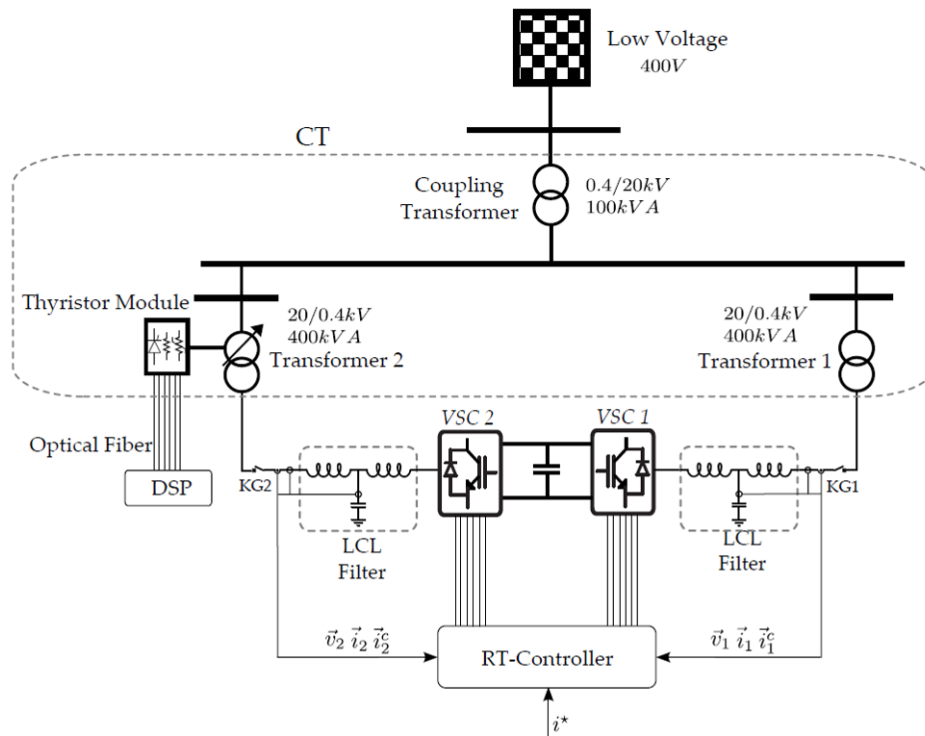


Figura 8: Esquema unifilar de la instalación MT incluyendo convertidor back-to-back

La instalación puede ser utilizada para realizar pruebas y validación de:

- Dispositivos electrónicos de potencia utilizados en generación dispersa y/o almacenamiento con conexión en media tensión.
- Algoritmos de control de dispositivos electrónicos utilizados para la integración de renovables, almacenamiento, coche eléctrico, etc.
- Dispositivos de potencia, control o comunicaciones instalados en centros de transformación convencionales.

Equipamiento de electrónica de potencia

Dispositivo	Tensión	Potencia	Tipo conexión ¹
Emulador universal de carga/generación/almacenamiento a tres hilos (10 uds). (Ver Figura 9).	400 V	20 kVA	Convertidor en fuente de tensión de dos niveles
Emulador universal de carga/generación/almacenamiento a cuatro hilos (6 uds). (Ver Figura 10).	400 V	20 kVA	Convertidor en fuente de tensión de dos niveles
Enlace de continua con topología back-to-back para mallado flexible de la red de distribución (Ver Figura 11).	400 V	100 kVA	Convertidor en fuente de tensión de dos niveles
Enlace de alterna basado en Vector Switching Converter (VeSC) para mallado flexible de la red de distribución. (Ver Figura 12).	400 V	30 kVA	Convertidor AC/AC matricial



Figura 9. Emulador universal de carga/generación/almacenamiento a tres hilos.

¹ Tipo de conexión: qué tipo de control/electrónica se usa para conectar el equipo a la red

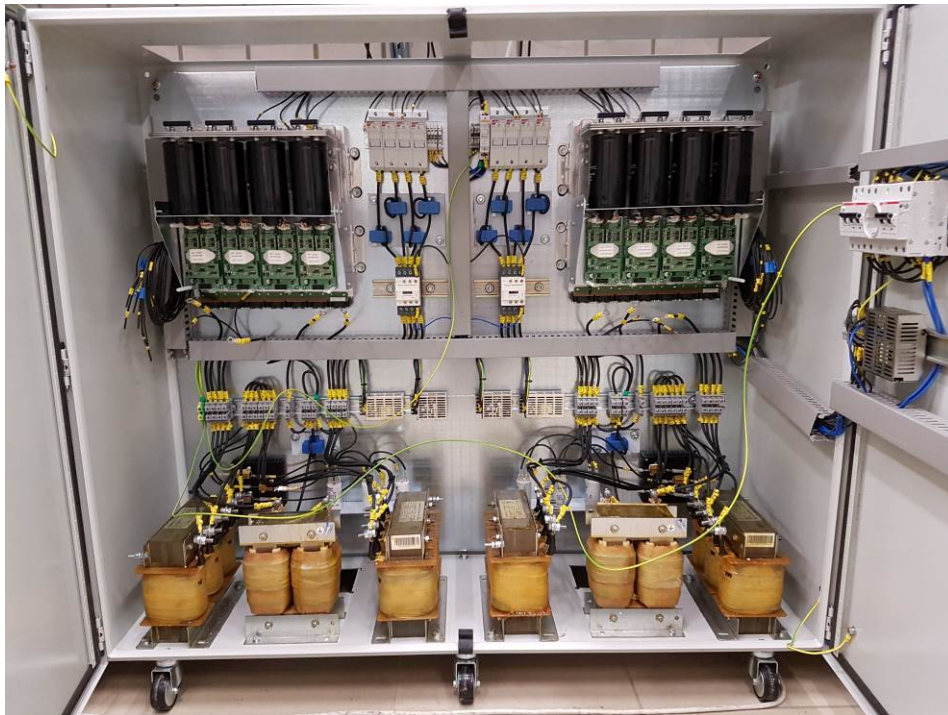


Figura 10: Emulador universal de carga/generación/almacenamiento a cuatro hilos.



Figura 11. Enlace de continua con topología back-to-back para mallado flexible de la red de distribución (400 V y 100 kVA).



Figura 12. Enlace de alterna basado en Vector Switching Converter (VeSC) para mallado de la red de distribución (400 V, 30 kVA).

Máquinas eléctricas rotativas

Dispositivo	Tensión	Potencia
Motores de inducción. (Ver Figura 11).	400 V	1.5, 5.6, 11.2 kW
Motor de imán permanente de flujo axial. (Ver Figura 12).	400 V	15 kW
Motor de imán permanente de flujo radial. (Ver Figura 12).	400 V	15 kW
Generadores síncronos accionados por motores de inducción a través de variador de velocidad (Ver Figura 13).	400 V	25 kVA (3 uds)



Figura 13: Motor de inducción (400 V, 11.2 kW) con freno de corrientes parásitas.

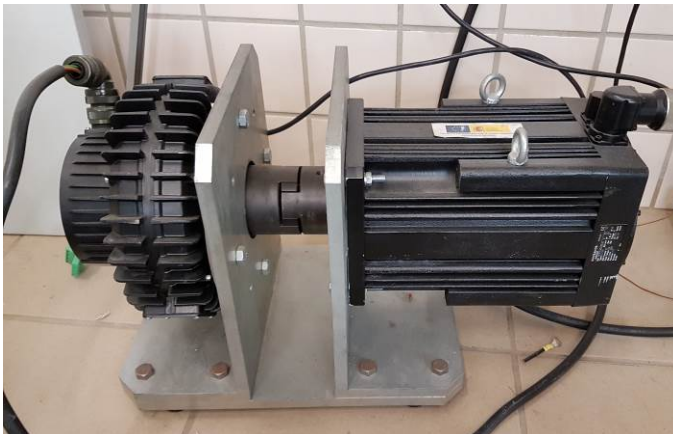


Figura 14: Bancada de motores de imanes permanentes (flujo axial y radial) con convertidores electrónicos asociados.

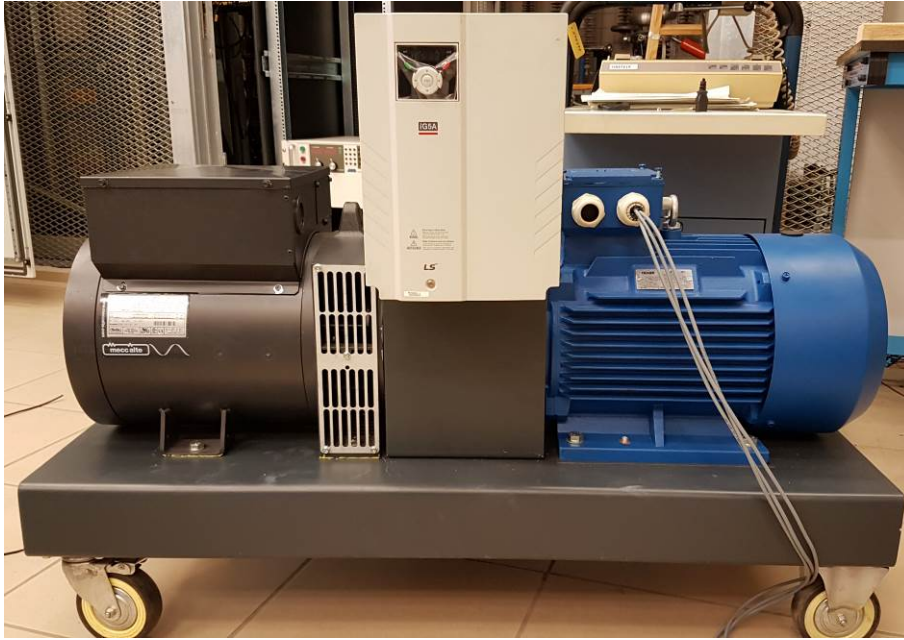


Figura 15. Generadores síncronos accionados por motores de inducción a través de variador de velocidad.

Almacenamiento energético:

Tecnología de almacenamiento	Nivel Tensión	Potencia	Energía
Supercondensador Maxwell. (Ver Figura 14).	125 V 63 F		



Figura 16. Supercondensador Maxwell.

Fuentes de potencia programables:

Tipo	Nivel Tensión	Potencia
Fuente programable Regatron TopCon (ver Figura 17): <ul style="list-style-type: none">• Trifásica a cuatro hilos• Regenerativa• Con posibilidad de operar como amplificador de tensión y/o corriente.	400 V	50 kVA
Fuente conmutada AC Elgar programable trifásica (ver Figura 18) con posibilidad de reproducir: <ul style="list-style-type: none">• Fenómenos de régimen permanente como desequilibrios y armónicos.• Fenómenos transitorios como huecos de tensión y fluctuaciones de tensión (flicker).	400 V	21 kVA
Fuente DC Amrel programable (ver Figura 16).	Hasta 1000 V	30 kW



Figura 17. Fuente Regatron TopCon.



Figura 18. Fuente conmutada AC Elgar programable trifásica.



Figura 19. Fuente DC Amrel programable.

Equipos informáticos para Rapid Prototyping (RP) y Hardware in the Loop (HIL):

Equipo	Capacidad de cálculo o características
Plataforma de control tiempo real para Rapid Prototyping OPAL- RT. (ver Figura 17)	<ul style="list-style-type: none"> • 2 CPU • 32 entradas analógicas • 32 entradas/salidas digitales PWM • 16 entradas/salidas digitales ópticas PWM • Paso de simulación mínimo 10 μs
Plataforma de simulación de sistemas eléctricos tiempo real y Hardware in the Loop OPAL-RT. (ver Figura 18)	<ul style="list-style-type: none"> • 3 CPU • 32 E/S analógicas • 32 E/S digitales PWM • 16 E/S digitales ópticas PWM • Posibilidad de simulación de sistemas de hasta 200 nudos en tiempo real
Plataforma de control en tiempo real para Rapid Prototyping SpeedGoat. (ver Figura 19)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 CPU • 64 entradas analógicas • 16 salidas analógicas • 64 E/S digitales • 12 salidas digitales PWM
Plataforma de control en tiempo real para Rapid Prototyping y Hardware in the Loop SpeedGoat. (ver Figura 20)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 CPU • 64 entradas analógicas • 16 salidas analógicas • 64 E/S digitales • 36 salidas digitales PWM
Plataforma para Hardware-in-the-Loop Typhoon HIL-402 (2 uds). (ver Figura 21)	<ul style="list-style-type: none"> • 4 CPU • 16 entradas analógicas • 16 salidas analógicas • 32 entradas digitales • 32 salidas digitales



Figura 20. Plataforma de control tiempo real para Rapid Prototyping OPAL- RT.



Figura 21. Plataforma de simulación de sistemas eléctricos tiempo real y Hardware-in-the-Loop OPAL-RT.



Figura 22. Plataforma de control en tiempo real para Rapid Prototyping SpeedGoat.



Figura 23. Plataforma de control en tiempo real para Rapid Prototyping y Hardware-in-the-Loop SpeedGoat.



Figura 24. Plataforma para Hardware-in-the-Loop Typhoon HIL-402.

Equipos de medida

Equipo	Características
Osciloscopios Yokohawa DL850 (2 uds.) (ver Figura 22)	<ul style="list-style-type: none"> • 100 MS/s de muestreo en tiempo real. • 20Mhz de ancho de Banda. • 8 canales de entrada. • 16 bits de resolución A/D.
Osciloscopio Fluke 199C (ver Figura 23)	<ul style="list-style-type: none"> • 2.5 GS/s de muestreo en tiempo real. • 200Mhz de ancho de Banda. • Pantalla color. • Dos canales.
Analizadores de calidad de suministro Dranetz PX-5 (2 uds.) (ver Figura 24)	<ul style="list-style-type: none"> • 8 canales, 4 tensiones y 4 intensidades • Pantalla color. • Aplicación AC/DC. • 256 muestras/ciclo.
Analizador de la energía y de la calidad de la energía Fluke 435 (ver Figura 25)	<ul style="list-style-type: none"> • 4 entradas (3+N) acopladas a CC. • 1000 Vrms tensión de entrada. • 6kV máximo de tensión de entrada. • 4MΩ//5pF de impedancia de entrada.
Datalogger Dolphin (ver Figura 26)	<ul style="list-style-type: none"> • 16 entradas analógicas. • 4 entradas digitales. • 4 salidas analógicas. • 8 salidas analógicas.



Figura 25. Osciloscopios Yokohawa DL850.



Figura 26. Osciloscopio Fluke 199C.



Figura 27. Analizadores de calidad de suministro Dranetz PX-5.



Figura 28. Analizador de la energía y de la calidad de la energía Fluke 435.



Figura 29. Datalogger Dolphin.

Equipos de control, protección y comunicaciones

Equipo	Características
RTU RightWon Vizimax (4 uds.)	<ul style="list-style-type: none"> • 32 entradas digitales aisladas. • 16 salidas digitales. • Procesamiento en tiempo real. • 8 entradas analógicas regulables.
RTU SEL-421	<ul style="list-style-type: none"> • Protección de distancia de subciclo. • Operación mono o tripolar. • Líneas de transmisión con compensación serie. • Esquemas de disparo asistidos por comunicaciones. • Bloqueo y disparo de pérdida de sincronismo.
Protección de distancia ZLV Distance (2 unids)	<ul style="list-style-type: none"> • 21/21N protección de distancia para faltas de tierra y fase. • Más de 6 protecciones de zona reversibles • 50SUP Supervisión de sobrecorriente. • 67/67Q/67N Protección direccional de sobrecorrientes.
Protección de distancia ZLS Distance (<ul style="list-style-type: none"> • 87 Protección diferencial • 50Ns/51Ns Protección contra sobrintensidades. • 49 Protección contra sobrecargas.



Figura 30. RTU RightWon Vizimax.



Figura 31. RTU SEL 421.



Figura 32. Protección de distancia ZLV Distance.



Figura 33. Protección de distancia ZLS Distance.

Otro equipamiento auxiliar

Equipo	Características
Transformador trifásico 40 kVA (2 uds.)	<ul style="list-style-type: none">• Primario 400V.• Secundario con tomas (240V 280V 320V 360V).• Yd5.• 50 Hz.
Transformador trifásico 30 kVA (2 uds.)	<ul style="list-style-type: none">• Primario 400V.• Secundario con tomas (240V 280V 320V 360V).• Yd5.• 50 Hz.
Transformador trifásico 20 kVA (2 uds)	<ul style="list-style-type: none">• Primario 400V.• Secundario con tomas (240V 280V 320V 360V).• Yd5.• 50 Hz.
Banco de resistencia 1	<ul style="list-style-type: none">• 2500W 5000W 7500W 10000W• 4 x 100Ω
Banco de resistencia 2	<ul style="list-style-type: none">• 1500W 3000W 4500W 6000W• 3 x 96,257Ω
Variador de tensión trifásico	<ul style="list-style-type: none">• 16.5 kVA• Entrada 400V• Salida 0V – 400V

Software

Disponible licencia de los siguientes programas informáticos:

- MATLAB
- CAPE
- COMSOL
- DIGSILENT
- PSCAD
- PSS-E
- CYMDIST
- GAMS
- PowerWorld

Instalaciones y equipamiento disponible en UPV/EHU

Contenido

Infraestructuras.....	¡Error! Marcador no definido.
Laboratorio de I+D en Ingeniería Eléctrica	2
Laboratorio de Investigación en Electrónica de Potencia	2
Laboratorio de investigación en Compatibilidad Electromagnética	5
Laboratorio de investigación en Vehículo Eléctrico	8
Laboratorio de Sistemas Eléctricos	9
Laboratorio de Fotovoltaica	10
Equipamiento	11
Equipo simulador de líneas de transporte	11
Equipo simulador generador DFIG	12
Equipo simulador de bombeo hidráulico	12
Equipo simulador de acoplamiento a red de generador asíncrono.....	13
Equipo simulador de instalación de energía solar fotovoltaica aislada	14
Banco de caracterización de supercondensadores.....	14
Banco de ensayo de vehículo híbrido con pila de combustible	15
Banco de ensayo para el análisis de celdas de baterías.....	16
Banco de ensayo de motor Stirling	16
Sistema de Cogeneración	17
Pila de combustible 1200 W.....	17
Túnel de viento.....	18
Impresora 3D.....	19
Aerogenerador “Archimedes”	20
Máquinas eléctricas rotativas	20
Fuente de potencia programable:.....	21
Equipo para prototipado rápido y HIL.....	22
Emulador de paneles fotovoltaicos.....	24
Equipamiento de medida	25
Equipos de control y protección	25
Otros equipos:.....	26
Herramientas software	27

Laboratorio de I+D en Ingeniería Eléctrica

En este laboratorio se dispone del equipamiento especificado en la siguiente sección: Equipo simulador de líneas de transporte, Equipo simulador generador DFIG, Equipo simulador de bombeo hidráulico, Equipo simulador de fotovoltaica aislada, Banco de caracterización de supercondensadores, Banco de ensayo de vehículo híbrido con pila de combustible, Banco de ensayo para el análisis de celdas de baterías, Banco de ensayo de motor Stirling, Equipo Energía Solar Térmica, Sistema de Cogeneración, Pila de combustible 1200W, Túnel de viento



Figura 1. Vista general del laboratorio de I+D.

Laboratorio de Investigación en Electrónica de Potencia

Laboratorio con equipamiento específico para pruebas de inyección de potencia activa y reactiva a red y control avanzado de parámetros de máquinas eléctricas. Estas máquinas pretenden emular el comportamiento de generadores undimotrices y la topología de aerogeneradores DFIG.



Figura 2. Vista general del laboratorio de electrónica de potencia.

Consistente en:

EKIPAMENDUAREN AZALPENA DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	MARKA / MOTA MARCA / MODELO	OHARRAK OBSERVACIONES
BANCADA DE MOTOR DE INDUCCIÓN 1 7,5 kW	M2AA 132 M4 380	La bancada incluye el Motor de Inducción, el Motor Síncrono, el encoder incremental, el sensor de par, y la plataforma mecánica.
ARMARIO DE POTENCIA ELÉCTRICA 1	ARMARIO RITTAL	En el armario consta de un rectificador trifásico, bus de continua, inversor para control de motor de inducción, inversor para control de motor síncrono, autómatas, tarjeta FPGA y tarjeta de tiempo real DS1103 de DSPACE.
BANCADA DE MOTOR DE INDUCCIÓN 2 3,5 kW	M2AA 100 LB 4	La bancada incluye el Motor de Inducción, el Motor Síncrono, el

		encoder incremental, el sensor de par, y la plataforma mecánica.
ARMARIO DE POTENCIA ELÉCTRICA 2	ARMARIO RITTAL	En el armario consta de un rectificador trifásico, bus de continua, inversor para control de motor de inducción, inversor para control de motor síncrono, autómatas, tarjeta FPGA y tarjeta de tiempo real DS1103 de DSPACE.
BANCADA DE MÁQUINA DE INDUCCIÓN DOBLE BOBINADO 7,5 kW	FLSB 160M4 B3	La bancada incluye el Máquina de Inducción de rotor bobinado, el Motor Síncrono, el encoder incremental y la plataforma mecánica.
ARMARIO DE POTENCIA ELÉCTRICA 3	ARMARIO RITTAL CON PUERTA DE CRISTAL	En el armario consta de un rectificador trifásico, bus de continua, inversor para control de motor de inducción, inversor para control de motor síncrono, autómatas, tarjeta FPGA y tarjeta de tiempo real DS1103 de DSPACE.
EQUIPO DE TIEMPO REAL DS1006	PX10 DESKTOP 3.5 ME 9011D-05-001-1	El equipo consta de una tarjeta de tiempo real DS1006 de DSPACE.
RACK INDUSTRIAL NI PXI-1042Q	NI PXI-1042Q	Equipo de tiempo real PXI-1042Q de National Instruments.
TARJETA DE EVALUACIÓN TRIBOARD TC-1130	TARJETA TRIBOARD TC-1130	

MOTOR SÍNCRONO 1	Control Technics 142U2C300BACAA165240	
INVERSOR DE MOTOR SÍNCRONO	Control Technics SP1406	
VARIADOR DE VELOCIDAD 1	Semicron	Variador de velocidad para máquinas eléctricas.....
VARIADOR DE VELOCIDAD 2	Semicron	Variador de velocidad para máquinas eléctricas.....
KIT DE DSP 28335	TMS320F28335 Experimenter Kit	Cada uno de los 8 kits incluye: una tarjeta de evaluación Dockin Station, una tarjeta de control DSP28335, CD de instalación de software, cable USB-JTAG para conexión PC-tarjeta de evaluación.
TARJETA DE CONTROL DSP 28069	EVAL, INSTASPIN, CONTROL CARD	Cada una de las 2 Tarjetas de control DSP28069 es enchufable en la tarjeta de evaluación Dockin Station.

Laboratorio de investigación en Compatibilidad Electromagnética

Laboratorio con equipamiento para la realización de diferentes estudios de impacto en la red procedentes de conexiones de nuevos equipos. Utilizando el equipamiento disponible es posible realizar ensayos para precertificación en el ámbito de: emisiones EMI conducidas y radiadas, emisiones de armónicos de corriente, inmunidad ante descargas electrostáticas (ESD), inmunidad ante ráfagas (Burst), inmunidad ante ondas de choque (Surges), inmunidad ante huecos de tensión, rigidez dieléctrica, etc.

EKIPAMENDUAREN AZALPENA DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	MARKA / MOTA MARCA / MODELO	OHARRAK OBSERVACIONES
EQUIPOS DE MEDICIÓN		

ANALIZADOR DE ESPECTROS	ADVANTEST R3131	INSPECCIÓN DE SEGURIDAD ELECTRICA 25/4/2003 **POSIBILIDAD DE GESTIÓN MEDIANTE SOFTW EMIPAK
OSCILOSCOPIO	HAMEG HM303.3	OSCILOSCOPIO ANALÓGICO 30MHz
OSCILOSCOPIO	LECROY 104Xi	1GHz OSCILLOSCOPE
ANALIZADOR DE REDES	ADVANTEST R3754A	10kHz 150MHz
GENERADORES		
AC POWER SOURCE / ANALYZER	AGILENT / 6812B	
TRANSIENT IMMUNITY TEST STATION	HAEFELY ECOMPACT4	
GENERADOR DE TRANSITORIOS	HAEFELY PEFT4010	

GENERADOR / ANALIZADOR	POWERTEK gp 102	calibrado el 31/07/03
DC POWER SUPPLY	TOPWARD ELECTRONICS tps 4000	
OTROS		
ANALIZADOR DE DIELECTRICO HYPOTULTRA III	ASSOCIATED RESEARCH 7650	calibrado 20/04/09
PISTOLA DE DESCARGAS	HAEFELY pesd1610	testado 2/10/09
CARGA ELECTRONICA DC	AGILENT 6050A	
ADAPTADOR DE IMPEDANCIAS (LISN)	SCHAFFNER mn2050d	

Laboratorio de investigación en Vehículo Eléctrico

Laboratorio de vehículo eléctrico integrado por el vehículo Zest con posibilidad de diferentes estudios como la validación experimental de algoritmos de control a instalar en las placas de control vectorial y topologías de convertidores asociadas. Adicionalmente, se dispone del vehículo Twizy de Renault.



Figura 3. Vehículo eléctrico ZEST.

Además, se dispone de una segunda placa de control vectorial y el correspondiente motor, instalados en un banco de ensayo para validación previa a posteriores modificaciones.

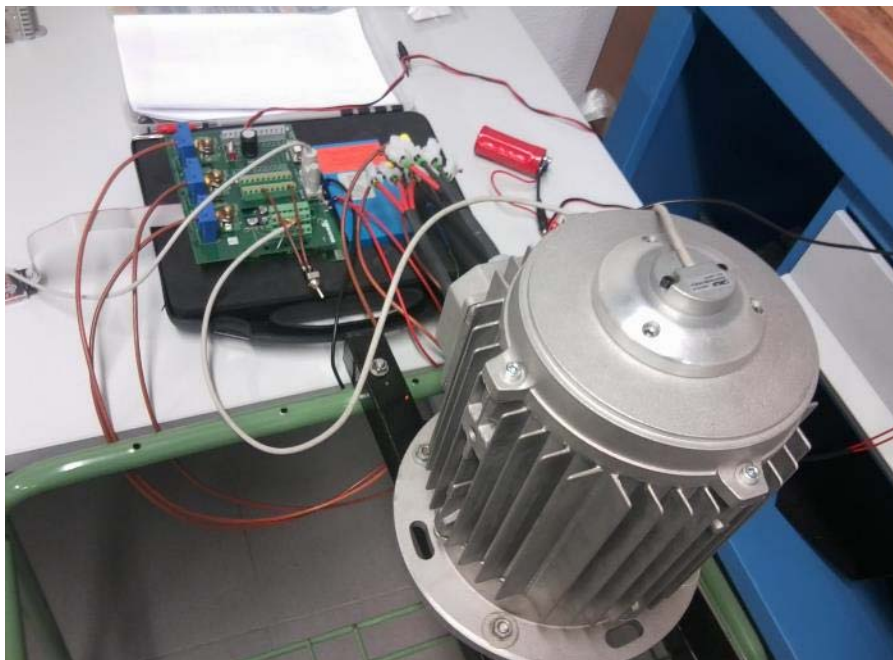


Figura 4. Bancada de motor con control vectorial

Laboratorio de Sistemas Eléctricos

Laboratorio de simulación de sistemas eléctricos en tiempo real. Permite simular sistemas eléctricos de transporte y distribución y acoplar la simulación a hardware externo para realizar pruebas y validación de:

- Algoritmos de control centralizados y distribuidos para operación de redes de transporte y distribución.
- Dispositivos electrónicos de potencia utilizados en generación dispersa y/o almacenamiento.
- Algoritmos de control de dispositivos electrónicos utilizados para la integración de renovables, almacenamiento, coche eléctrico, etc.
- Ensayo y validación de algoritmos de protección, control y medida.

La instalación cuenta con dos bancos de ensayos. Uno para ensayos HIL de sistemas de protección control y medida y otro para ensayos HIL de sistemas de generación distribuida y/o almacenamiento.

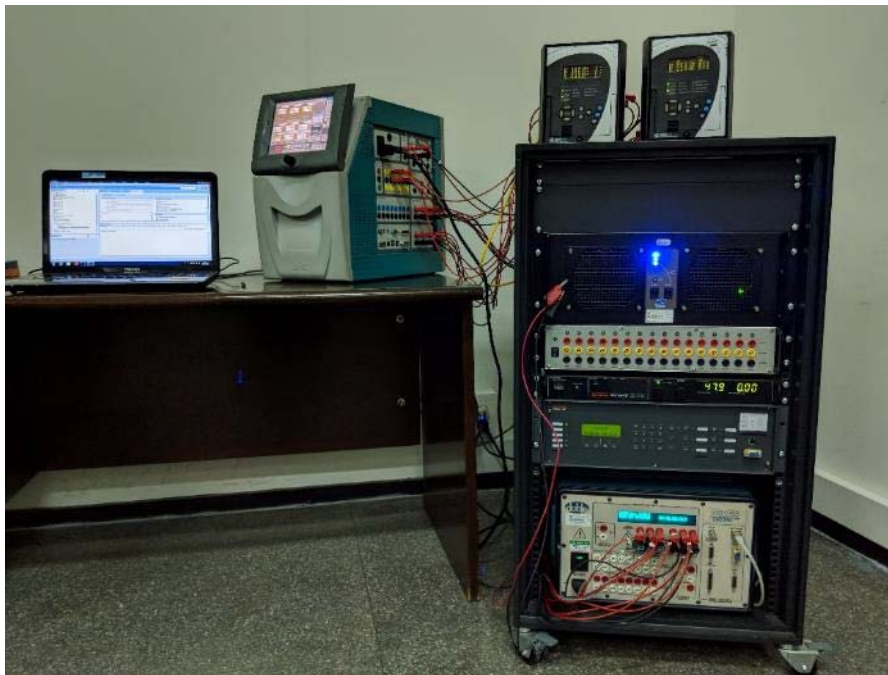


Figura 5. Banco de ensayos HIL de sistemas de protección, medida y control.



Figura 6. Banco de ensayos HIL de sistemas de generación distribuida y almacenamiento.

Ambos bancos comparten el simulador en tiempo real. Se dispone a su vez de 3 maletas de ensayo de relés para ensayos en lazo abierto.

Laboratorio de Fotovoltaica

Laboratorio de ensayo de instalaciones fotovoltaicas aisladas y conectadas a red, con y sin almacenamiento. Permite realizar pruebas y validación de:

- Módulos fotovoltaicos.
- Inversores.
- Sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a red
- Algoritmos de control de dispositivos electrónicos utilizados para la integración de generación fotovoltaica.



Figura 7. Vista general del laboratorio de fotovoltaica.

Equipamiento

Equipo simulador de líneas de transporte

El equipo del que se dispone modela líneas de 150 km o 300 km aérea y subterránea siendo posible la simulación con diferentes cargas en el extremo final. También posibilita la integración de un transformador reductor. La alimentación de la línea se produce a partir de una máquina síncrona actuando como generador o de una fuente de alimentación trifásica. Se disponen de 14 módulos que permiten la expansión de la misma.

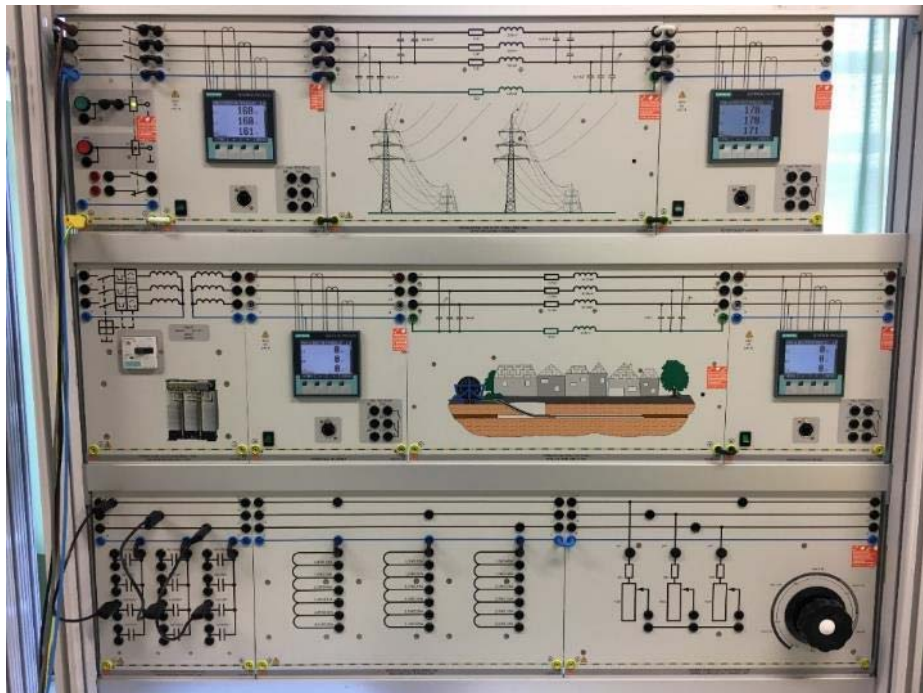


Figura 8. Simulador de líneas de transporte

La instalación puede ser utilizada para:

- Demostración o adquisición de datos del efecto Ferranti en diferentes estudios
- Influencia de la impedancia (compleja) en el funcionamiento de la línea
- Influencia de la impedancia en el funcionamiento de generador síncrono

Equipo simulador generador DFIG

El equipo modela un aerogenerador con tecnología DFIG conectado a una red y simula huecos de tensión del 20-80% en el punto de conexión, posibilita la conexión de un transformador partiendo de una máquina asíncrona.



Figura 9. Simulador DFIG

La instalación puede ser utilizada para:

- Afección a generador de huecos de tensión
- Validación de algoritmos de control ante huecos de tensión

Equipo simulador de bombeo hidráulico

El equipo instalado modela una central de bombeo hidráulico con carga variable y dispone de monitorización y adquisición de datos para su registro en pc. La máquina síncrona acoplada actúa de generador / motor.

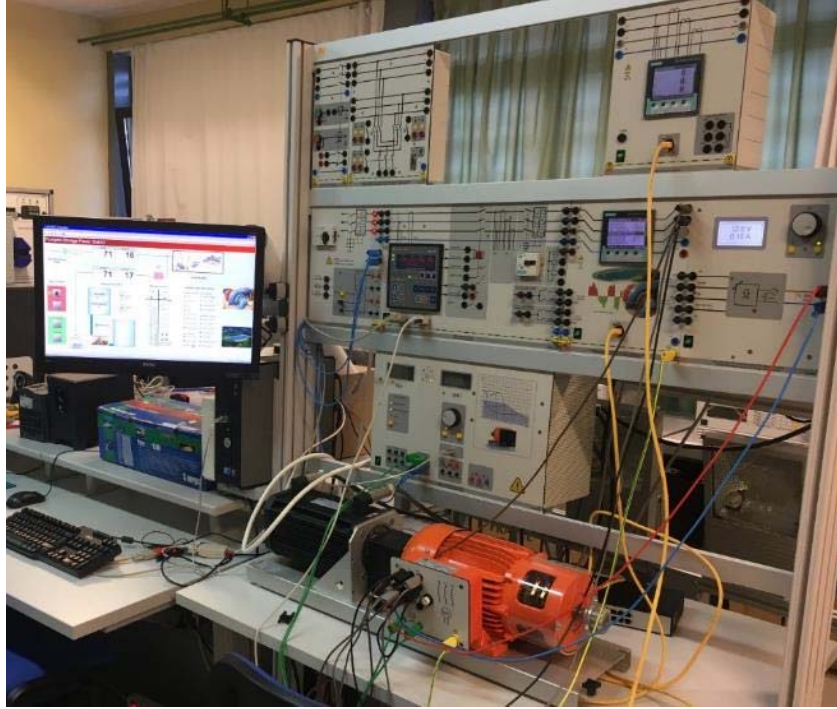


Figura 10. Simulador de bombeo

La instalación puede ser utilizada para:

- Afección a generador/motor de diferentes eventos
- Validación de algoritmo de control en este tipo de instalaciones

Equipo simulador de acoplamiento a red de generador asíncrono

El equipo instalado modela una instalación con acoplamiento a red y capacidad de inyección de potencia a partir de una máquina asíncrona.

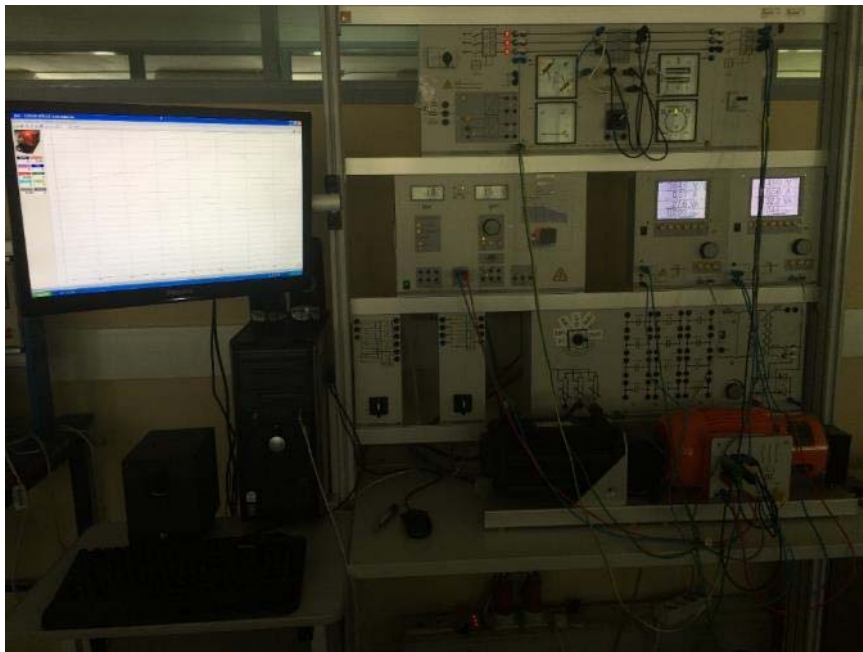


Figura 11. Simulador de generador síncrono

Equipo simulador de instalación de energía solar fotovoltaica aislada

El equipo instalado modela una instalación fotovoltaica aislada con almacenamiento en baterías. La generación puede ser modelada o acoplada externamente. Se disponen de 12 módulos.



Figura 12. Simulador de fotovoltaica aislada

La instalación puede ser utilizada para:

- Análisis de influencia de diferentes cargas
- Validación de algoritmos de control de micro-red

Banco de caracterización de supercondensadores

Se dispone de un banco para la caracterización de supercondensadores en base a su carga/descarga consistente en:

- Supercondensadores
- Osciloscopio Fluke
- Fuente corriente continua de hasta 50 A



Figura 13. Banco de caracterización de supercondensadores

Banco de ensayo de vehículo híbrido con pila de combustible

- El equipo consta de una reproducción a escala de un vehículo híbrido de hidrógeno y baterías de ion litio.

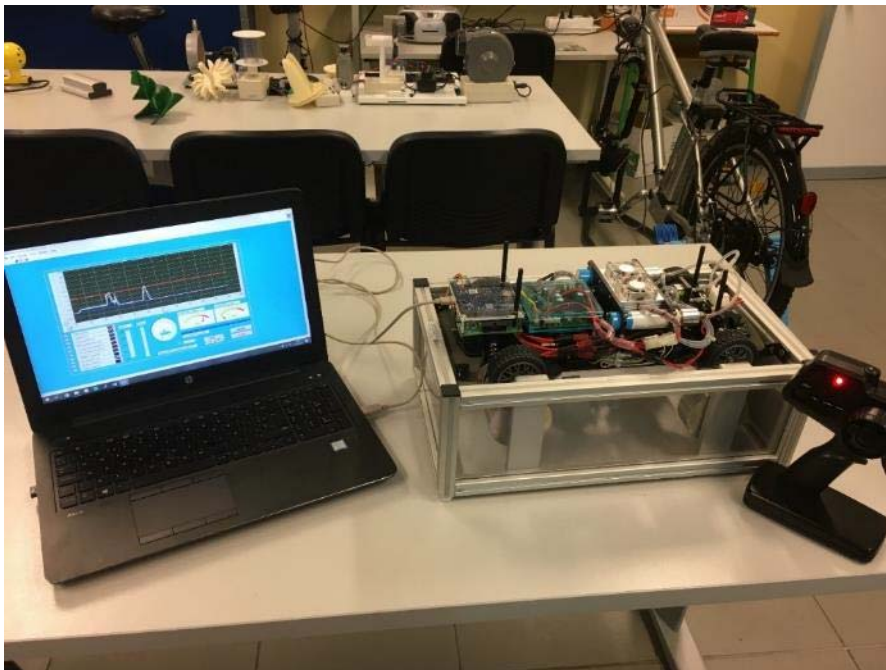


Figura 14. Banco de ensayo de vehículos híbridos

El equipo puede ser utilizado para:

- Validación de algoritmos de control
- Adquisición de datos a lo largo de un funcionamiento especificado
- Comparación

Banco de ensayo para el análisis de celdas de baterías

- Cargador / Descargador de baterías Graupner Polaron EX Combo Azul
- Analizador de baterías Fluke-BT521 con monitorización de temperatura
- Celdas de Ion Litio



Figura 15. Equipos para análisis de celdas de ion litio

Banco de ensayo de motor Stirling

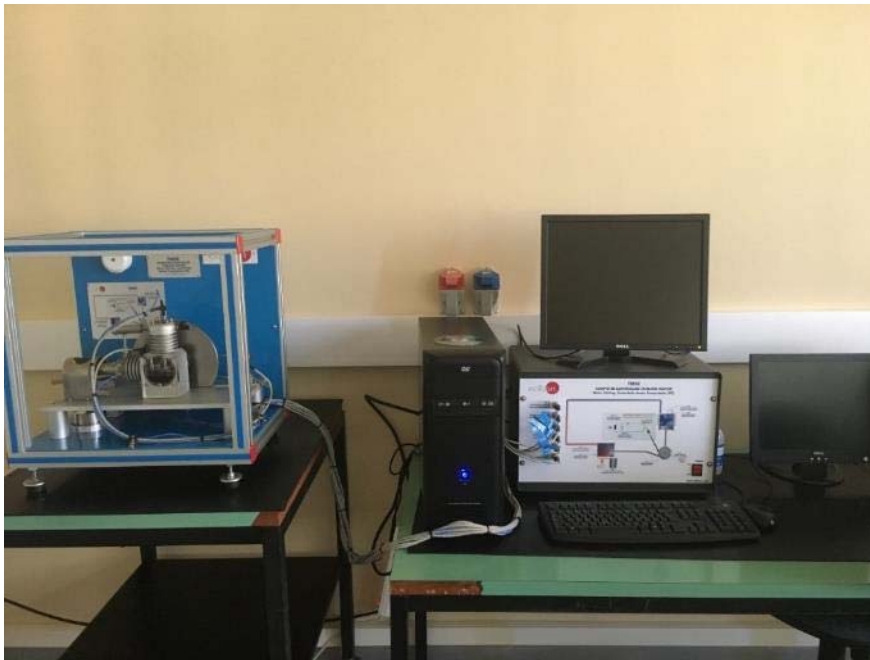


Figura 16. Banco de ensayo de motor Stirling

Se dispone de un motor Stirling con monitorización y registro en pc de diferentes magnitudes como temperaturas, tensión, corriente, etc.

El equipo puede ser utilizado para:

- Adquisición de datos frente a un perfil especificado

- Validación de algoritmos de optimización

Sistema de Cogeneración

El equipo modela un sistema de cogeneración basado en pila de combustible con monitorización y registro vía pc de diferentes variables como temperatura, corriente, tensión, caudal de hidrógeno, ... y conexión a carga electrónica

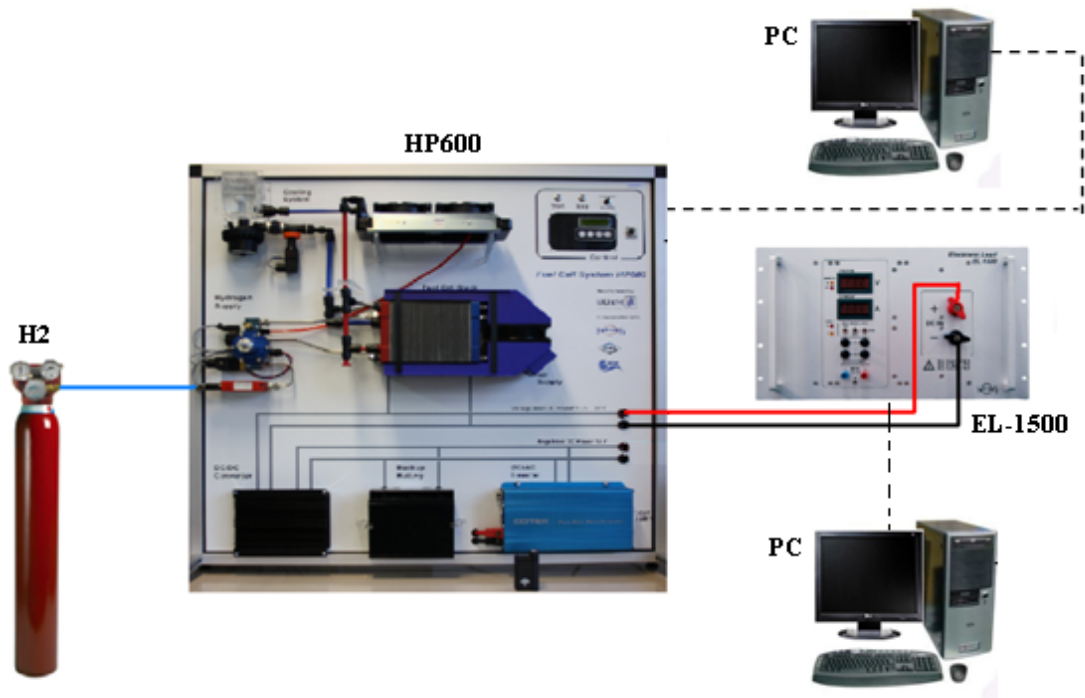


Figura 17. Banco de ensayo de pila de combustible

El equipo puede ser utilizado para:

- Análisis de funcionamiento de micro-red y de pila de combustible independiente
- Validación de algoritmos de control

Pila de combustible 1200 W

Se dispone de dos equipos: Montaje de pila en armario rack con inversor y equipo de potencia asociado, y una segunda pila idéntica sin integrar para ser sometida a diferentes ensayos.



Figura 18. Banco de ensayo pila de combustible Nexa de Ballard

Túnel de viento

Equipo para validación y ensayo de prototipos.



Figura 19. Tunnel de viento

Impresora 3D

Se disponen de 3 impresoras 3D que pueden ser utilizadas para prototipado y ensayos experimentales de diferentes diseños.



Figura 20. Impresoras 3D

Aerogenerador “Archimedes”

El modelo se trata de Aerogenerador de eje horizontal Liam F1 de 1.5 kW instalado en la azotea del edificio.

El equipo puede ser empleado para:

- Estudios de conexión a red
- Ensayo de topologías de convertidores



Figura 21. Aerogenerador Archimedes

Máquinas eléctricas rotativas

Se dispone de diferentes máquinas eléctricas rotativas (síncronas, asíncronas, imanes permanentes) para montaje en bancadas con frenos de corrientes parásitas y variadores de velocidad para emular diferentes tipos de cargas mecánicas rotativas.

Se dispone de una bancada con una máquina asíncrona de rotor bobinado con bobinado accesible en diferentes puntos para ensayos de faltas entre espiras. Este equipo puede ser empleado para:

- Caracterización de corrientes de falta
- Ensayo de algoritmos de detección y protección

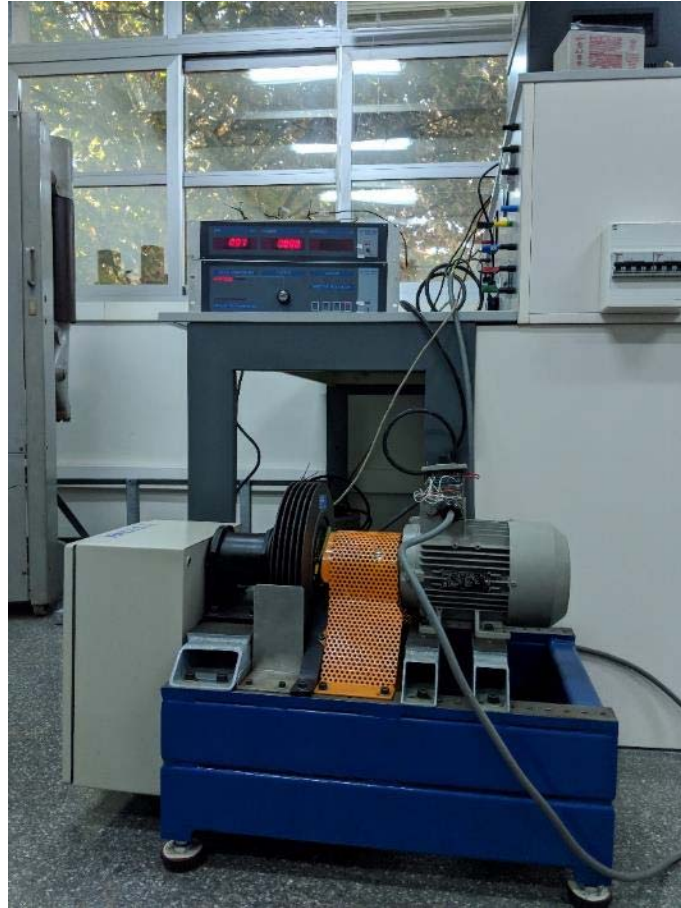


Figura 22. Bancada máquina de inducción con espiras accesibles

Fuente de potencia programable:

Fuente programable Pacific Power AMX-320T, trifásica 400 V a cuatro hilos de 2 kVA. Regenerativa con posibilidad de control externo mediante simulador en tiempo real para configuración de ensayo HIL.



Figura 23. Fuente AMX-320T.

Equipo para prototipado rápido y HIL

Simulador en tiempo real de OPAL-RT (12 CPU – 2 activadas) con panel interfaz HVIP para interconexión de sistemas de protección y control hasta 250 Vcc.



Figura 24. Simulador OPAL Wanda 4U.

Amplificador Doble F6150 con 6 canales de corriente (15A-75VA) y 6 canales de tensión (150V-75VA) y emulación de batería hasta 250 Vcc. Tanto los canales de tensión como los de corriente se pueden combinar para aumentar rangos y potencia. El amplificador se gobierna externamente mediante el RTDS.

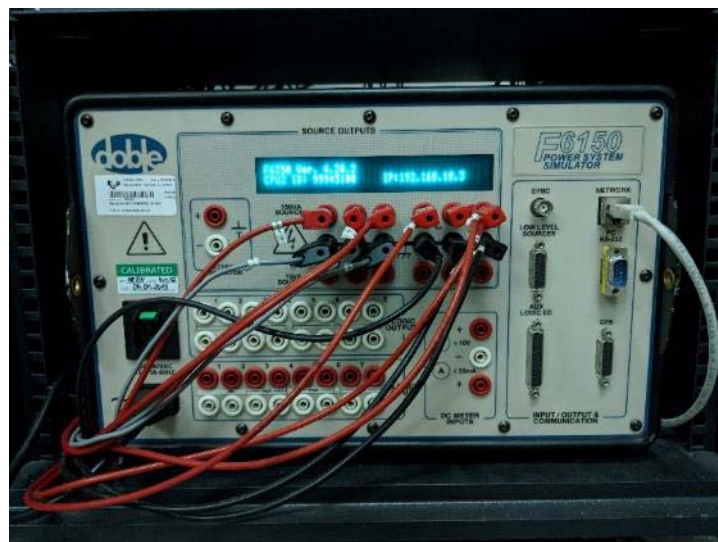


Figura 25. Doble F6150

Maleta de ensayo OMICRON CMC 256 plus con 6 canales de corriente (12.5A-80VA) y 4 canales de tensión (300V-100VA) y emulación de batería hasta 250 Vcc. Tanto los canales de tensión como los de corriente se pueden combinar para aumentar rangos y potencia. Canales analógicos de baja señal para ensayo y calibración de equipos de medida.

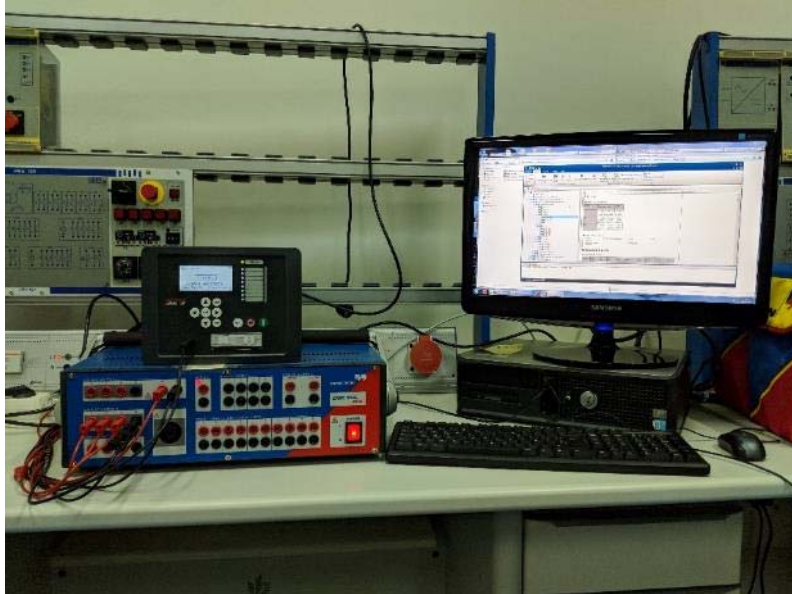


Figura 26. CMC 256 plus

Maleta de ensayo OMICRON CMC 156 con 3 canales de corriente (12.5A-40VA) y 3 canales de tensión (125V-50VA) y emulación de batería hasta 250 Vcc. Tanto los canales de tensión como los de corriente se pueden combinar para aumentar rangos y potencia. Canales analógicos de baja señal para ensayo y calibración de equipos de medida.



Figura 27. CMC 156

Maleta de ensayo SMC Mentor 12 con 6 canales de corriente (25A-100VA) y 6 canales de tensión (150V-100VA) y emulación de batería hasta 250 Vcc. Tanto los canales de tensión como los de corriente se pueden combinar para aumentar rangos y potencia. Los canales de

tensión son conmutados, pudiendo configurarse como canales de corriente. Amplificadores de bajo nivel. Tarjeta de red para ensayos IEC 61850.



Figura 28. Mentor 12

Emulador de paneles fotovoltaicos

Fuente DC programable con opción de emulación de paneles fotovoltaicos para ensayo y caracterización de inversores en isla y conectados a red.



Figura 29. Sistema de emulación de paneles

Equipamiento de medida

Se dispone de diferentes equipos para medidas eléctricas (tensión, corriente, potencia, calidad de onda, etc)

Elemento	Modelo
Osciloscopio Digital	Tektronix TDS 210
Generador de pulsos (Hasta 2MHz)	GDF 232 MHz
Analizador de redes, 4 pinzas aamperimétricas 80i-100s+4 cocodrilos de tensión	Fluke 435
Analizado de redes 100MS/s 6 canales	Yokogawa PZ4000
Analizador de redes eléctricas	Fluke 430
2 Multímetros digitales	GDM 8034
Camara termográfica	Fluke Ti32
3 sondas de temperatura PT100 SEM203P 0/100°C	PT100 SEM203P
10 sensores de corriente DHR 200 C420 (4-20mA)	DHR 200 C420

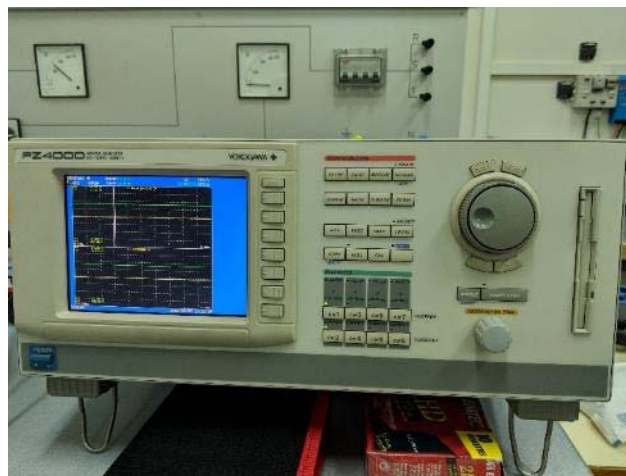


Figura 30. Yokogawa PZ4000

Equipos de control y protección

Se dispone de equipos de protección y control de diferentes fabricantes.

Modelo	Fabricante	Cantidad
Protección de distancia ZLV Distance	ZIV	1
Protección de alimentador IDV	ZIV	1
Protección de distancia REL 511	ABB	1

Protección diferencial de línea REL 551	ABB	1
Protección de línea PL-50AT	Team Artech	3
Protección de feeder F650	GE	1
Protección de transformador T60	GE	1
Protección de transformador 345	GE	4
Protección de feeder 350	GE	4
Protección de motor 339	GE	4



Figura 31. Equipos de protección y control

Otros equipos:

Adicionalmente, se dispone de los equipos que se especifican y que son utilizados en diferentes ensayos:

Elemento	Modelo	Potencia
Inversor	GP-12	300 W
3 Inversor cargador	Victron Multiplus Compact 12	700 W
3 Inversores 3KVA	Quattro	3 kVA
2 variadores de frecuencia	Siemens MM420	1.5 kW

Variador de frecuencia	Siemens MM440	1.1 kW
Electrolizador	NMH2 500	300 VA
3 cargas electrónicas	CHROMA	1.8 kW
Fuente de alimentación	TPS-4000	
Accionamiento Control Techniques Unidrive SP		1.1 kW
Motor de imanes permanentes Control Techniques		0.84 kWh
2 baterías AGM 12-90 Ah		
2 baterías AGM 12-165 Ah		
Battery Monitor	BMV-600	
Braking resistor	Siemens NM4	2.4kW
EMC Filter	Siemens NM4 (47-63 Hz)	
2 motores monofásicos	ALECOP AL- 106 1CV	

Laboratorio de sistemas eléctricos (laboratorio de ordenadores con software)

- a. 4 nuevas licencias tipo Research de DigSilent PowerFactory
- b. 1 licencia comercial de DigSilent PowerFactory
- c. 15 nuevas licencias de investigación de PSS/E
- d. 1 licencia comercial de PSS/E
- e. 2 licencias de investigación de PSCAD

Contenido

1. Laboratorio de I+D: Máquinas Eléctricas y Accionamientos.....	3
Máquina de DC con ventilador acoplado.....	5
Convertidor SKS-22F.....	5
Fuente de DC encargada de alimentar el bus de continua.....	5
Fuente de DC encargada de la alimentación del circuito de excitación.....	5
Encoder acoplado al eje de la máquina de DC.....	6
Máquina de inducción de seis fases asimétrica.....	6
Convertidores de tensión instalados en el nivel inferior del armario.....	6
nterior del armario eléctrico de la etapa de inyección a red.....	6
2. Laboratorio de I+D Electromagnetismo y Transferencia Inductiva	6
3. Laboratorio de sistemas eléctricos (laboratorio de simulación).....	7
4. Laboratorio de I+D: Domótica.....	8
5. Otro Equipamiento.....	8
Fotovoltaica.....	8
Equipo simulador de líneas de transporte	8
Equipo simulador generador DFIG.....	9

1. Laboratorio de I+D: Máquinas Eléctricas y Accionamientos

El objetivo de este laboratorio es emular un sistema de conversión energía eólica multifásico tolerante a fallos. Un esquema general del mismo se muestra en la siguiente figura.

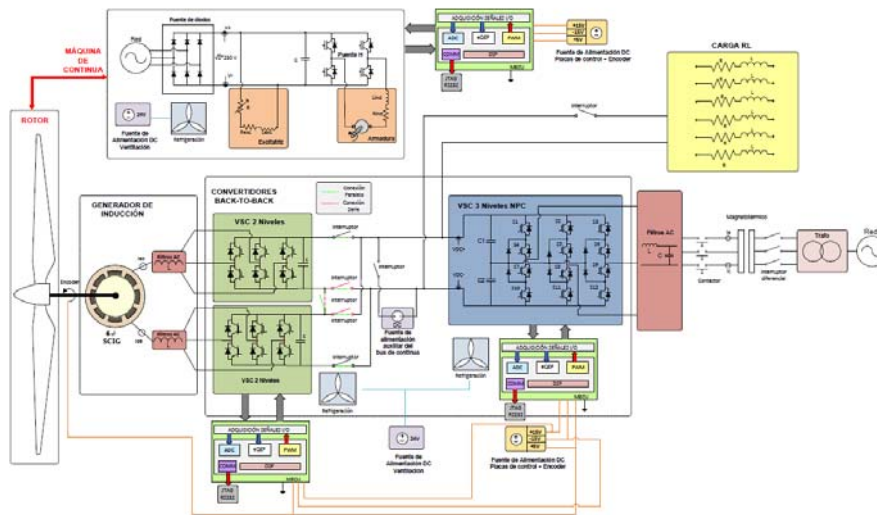


Figura Esquema del sistema experimental

Como la muchas de las aplicaciones industriales actuales, se trata de un sistema experimental multidisciplinar que incluye distintas ramas de la ingeniería como son la ingeniería eléctrica, la ingeniería electrónica o la ingeniería de sistemas y automática, entre otras. En una descripción inicial del sistema experimental implementado se deben destacar las tres etapas principales dentro del proceso de conversión. El objetivo de la primera de las etapas es emular el par proporcionado por el viento mediante una máquina de DC y su correspondiente sistema de control. De esta forma se puede ensayar el resto del sistema sin necesidad de utilizar un túnel de viento.



Figura Esquema del sistema experimental

Algunos de los equipamientos más relevantes se citan a continuación.

--	--



Máquina de DC con ventilador acoplado.



Convertidor SKS-22F.



Fuente de DC encargada de alimentar el bus de continua.



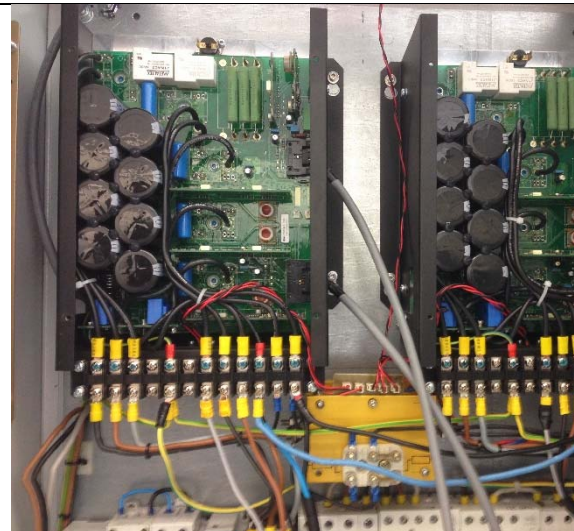
Fuente de DC encargada de la alimentación del circuito de excitación.



Encoder acoplado al eje de la máquina de DC.



Máquina de inducción de seis fases asimétrica.



Convertidores de tensión instalados en el nivel inferior del armario.



Interior del armario eléctrico de la etapa de inyección a red.

2. Laboratorio de I+D Electromagnetismo y Transferencia Inductiva

En este laboratorio se llevan a cabo actividades relacionadas con aplicaciones industriales de electromagnetismo y en concreto con cargadores para vehículos eléctricos basados en la inducción magnética

A continuación se relaciona equipamiento relevante en este laboratorio

- Teslámetro de sobremesa

- Fuente de alimentación regulable ca/cc
 - Multímetro digital de mano
 - Sonda de Hall axial
 - Bobinas de Helmholtz
 - Juego de solenoides de varias medidas y valores Juego de espiras varias
 - Teslámetro manual
 - Medidor de campo eléctrico
 - Medidor de campo magnético en tres ejes
- Cargador de Vehículo Eléctrico inductivo



3. Laboratorio de sistemas eléctricos (laboratorio de simulación)

En este laboratorio se llevan a cabo las tareas de investigación de

Equipamiento

- a. 2 Licencias de investigación de DigSilent PowerFactory
- b. 2 licencias de investigación de PSS/E
- c. 2 licencias de investigación de PSCAD

- d. 1 Licencia Power World
- e. 10 Licencia GAMS

4. Laboratorio de I+D: Domótica

Se dispone infraestructura y equipamiento para las actividades relacionadas con las domótica y gestión de la energía en el hogar.

Equipamiento



5. Otro Equipamiento

Fotovoltaica

Laboratorio de ensayo de instalaciones fotovoltaicas aisladas y conectadas a red, con y sin almacenamiento. Permite realizar pruebas y validación de:

- Módulos fotovoltaicos.
- Inversores.
- Sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a red
- Algoritmos de control de dispositivos electrónicos utilizados para la integración de generación fotovoltaica.

Equipo simulador de líneas de transporte

El equipo del que se dispone modela líneas de 150 km o 300 km aérea y subterránea siendo posible la simulación con diferentes cargas en el extremo final. También posibilita la integración

de un transformador reductor. La alimentación de la línea se produce a partir de una máquina síncrona actuando como generador o de una fuente de alimentación trifásica.

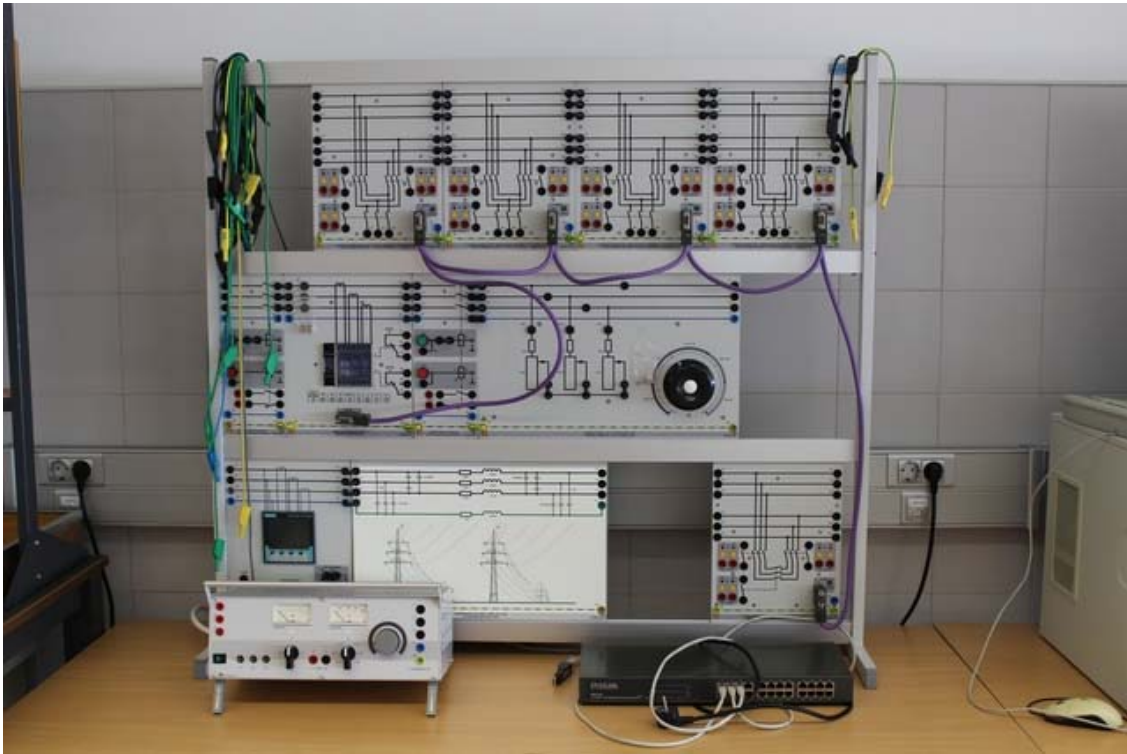


Figura 1. Simulador de líneas de transporte

La instalación puede ser utilizada para:

- Demostración o adquisición de datos del efecto Ferranti en diferentes estudios
- Influencia de la impedancia (compleja) en el funcionamiento de la línea
- Influencia de la impedancia en el funcionamiento de generador síncrono

Equipo simulador generador DFIG

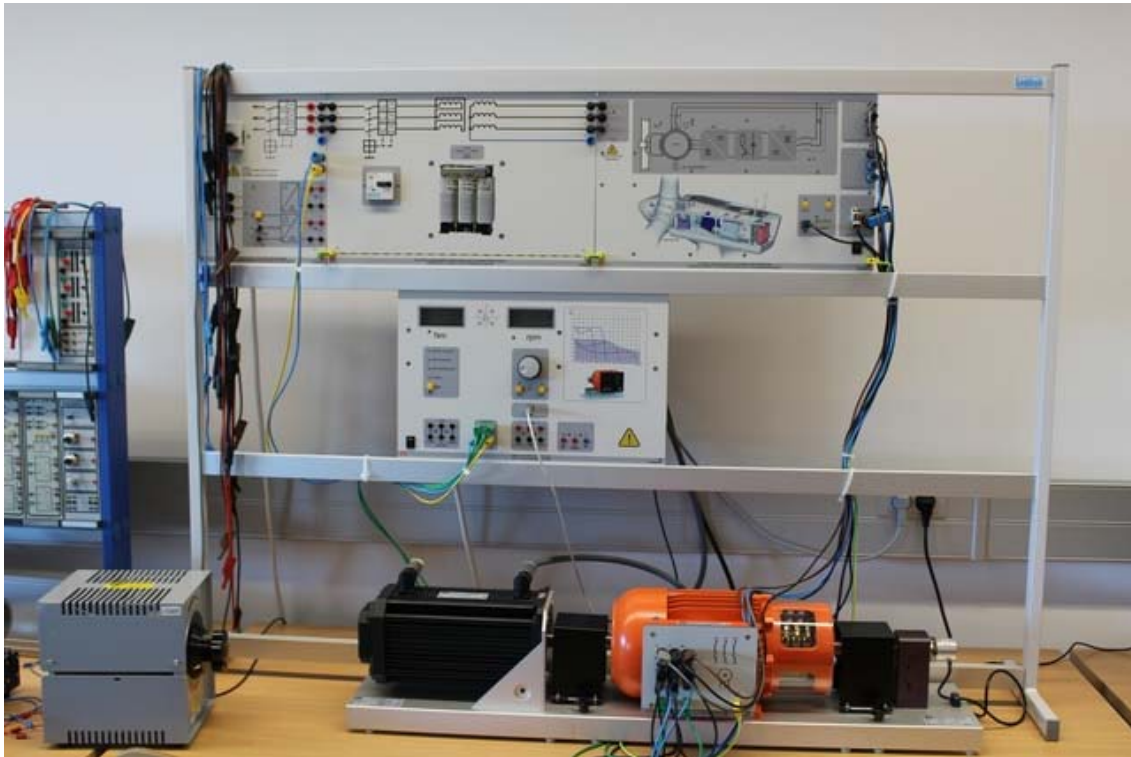


Figura 2. Simulador DFIG

Figura 3. Simulador de fotovoltaica aislada

La instalación puede ser utilizada para:

- Análisis de influencia de diferentes cargas
- Validación de algoritmos de control de micro-red

INDICE

Infraestructuras	2
Laboratorio de sistemas fotovoltaicos	2
Laboratorio de sistemas eólicos	4
Laboratorio de sistemas eléctricos y conexión a red	5
Laboratorio de automatización de sistemas eléctricos	7
Equipamiento	9
Equipos informáticos para Rapid Prototyping y Hardware in the Loop	9
Fuentes programables de potencia	10
Emuladores de red, cargas y generadores de perturbaciones	11
Analizadores de red, scopecorders y osciloscopios	13
Almacenamiento energético	15
Plataformas de diseño de control digital	16
Software y BBDD	17

Laboratorio de sistemas fotovoltaicos

En el laboratorio de sistemas fotovoltaicos es una infraestructura que permite realizar trabajos de investigación relativos al:

- Diseño de convertidores para sistemas fotovoltaicos de alta eficiencia
- Diseño de sistemas de control interactivos con la red eléctrica
- Análisis y ensayos de plantas fotovoltaicas a escala trabajando en red o en sistemas aislados

En este laboratorio se dispone de.

- Plantas fotovoltaicas reales de 20kW y 15kW de potencia pico conectadas y a red y con acceso a conexión DC y AC para ensayo
- Fuentes con capacidad de emular paneles fotovoltaicos
- Plataformas de simulación en tiempo real
- Plataformas de control basadas en DSP y dSpace
- Emuladores de red
- Bancada de generación síncrona
- Bancos de almacenamiento de energía (Supercap y batería)
- Convertidores de potencia instrumentados para ensayo de diferentes estrategias
- Cargas programables
- Sistemas de medida y control avanzados
- Estación metereológica con pirheliómetro y piranómetro integrados



Planta fotovoltaica 20kW paneles policristalinos y monocristalinos



Etapa de conversión de planta fotovoltaica 20kW & Instalación experimental de paneles de concentración

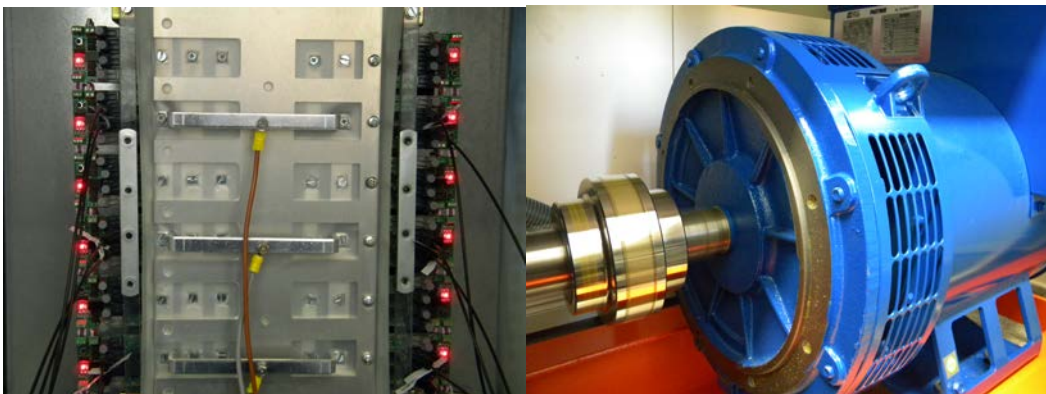
Laboratorio de sistemas eólicos

En el laboratorio de sistemas eólicos es una infraestructura que permite realizar trabajos de investigación relativos al:

- Estudio de diferentes técnicas de control para las diferentes topologías de aerogeneradores existentes
- Estudio del comportamiento de los sistemas eólicos conectados a red en caso de falla en la red eléctrica
- Diseño de sistemas de control avanzados para turbinas eólicas
- Análisis de impacto en redes eléctricas
- Diseño de nuevos equipos y técnicas de control para la mejora de la integración en redes de alta penetración renovable

En este laboratorio se dispone de.

- Bancadas de ensayos motor/generador para DFIG y síncrona
- Emulador de viento
- Fuentes DC reversibles en potencia en el rango de 100 a 200kW
- Fuentes DC lineales
- Bancada de generación síncrona de 30kW
- Emuladores de red
- Bancos de almacenamiento de energía (Supercap y batería)
- Convertidores de potencia instrumentados para ensayo de diferentes estrategias
- Plataformas de simulación en tiempo real
- Plataformas de control basadas en DSP y dSpace
- Cargas programables
- Sistemas de medida y control avanzados



Convertidor experimental multinivel en laboratorio de test de sistemas eólicos y emulador de turbina eólica

Laboratorio de sistemas eléctricos y conexión a red

En el laboratorio de sistemas eléctricos y conexión a red es una infraestructura que permite realizar trabajos de investigación relativos a:

- La integración de sistemas de generación renovable en redes con alta penetración de este tipo de tecnologías
- Diseño de sistemas FACTS
- Diseño y análisis de equipos destinados a la mejora de la calidad de potencia
- Diseño de convertidores y técnicas de control avanzadas
- Control de sistemas aislados y microrredes
- Nuevas topologías de sistemas de conversión de potencia
- Análisis de técnicas de control orientadas a mejorar la estabilidad de la red eléctrica
- Integración de sistemas de almacenamiento de energía
- Interacción entre sistemas de carga eléctrica y redes de distribución

En este laboratorio se dispone de.

- Red flexible instrumentada en baja tensión con potencia de ensayo de 200kW
- Plataformas de simulación en tiempo real
- Emuladores de red, generadores de huecos de tensión y armónicos
- Cargas programables discretas y electrónicas
- Fuentes DC reversibles en potencia en el rango de 100 a 200kW
- Fuentes DC lineales
- Bancada de generación síncrona de 30kW
- Bancos de almacenamiento de energía (Supercap y batería)
- Convertidores de potencia instrumentados para ensayo de diferentes estrategias
- Sistemas de medida y control avanzados
- Sistema de medición centralizado en SCADA



Convertidor de conexión a red 100kW en laboratorio de ensayo



Emulador de red con bancada síncrona

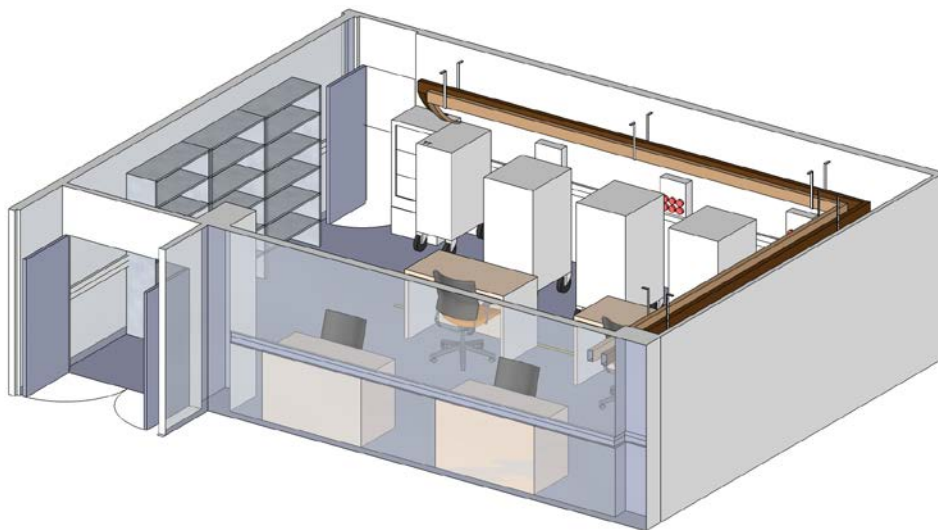
Laboratorio de automatización de sistemas eléctricos

En el laboratorio de automatización de sistemas eléctricos es una infraestructura que permite realizar trabajos de investigación relativos al:

- Diseño de sistemas de control distribuidos en redes eléctricas
- Diseño de sistemas de demanda activa
- Diseño de sistemas de monitorización y control para plantas de generación
- Diseño y procesado de datos de plataformas basadas en la integración de Smart-meters
- Integración de técnicas de control avanzadas de plataformas de uso masivo en redes eléctricas
- Procesado avanzado de grandes volúmenes de datos
- Análisis de diferentes técnicas de análisis de datos masivos (BD)

En este laboratorio se dispone de.

- Plataformas de simulación en tiempo real
- Microred automatizada en plataforma de control Vijeo de Schneider
- Red flexible instrumentada en baja tensión con potencia de ensayo de 200kW
- Cargas programables discretas y electrónicas
- Fuentes DC reversibles en potencia en el rango de 100 a 200kW
- Convertidores de potencia con capacidad de emular diferentes modos de operación
- Bancos de almacenamiento de energía (Supercap y batería)
- Emuladores de red
- Sistemas de medida y control avanzados
- Sistema de medición centralizado en SCADA de dos edificios públicos del campus



Distribución del Laboratorio de automatización de sistemas eléctricos



Laboratorio de automatización de sistemas eléctricos & Interface de usuario del laboratorio

Equipos informáticos para Rapid Prototyping y Hardware in the Loop

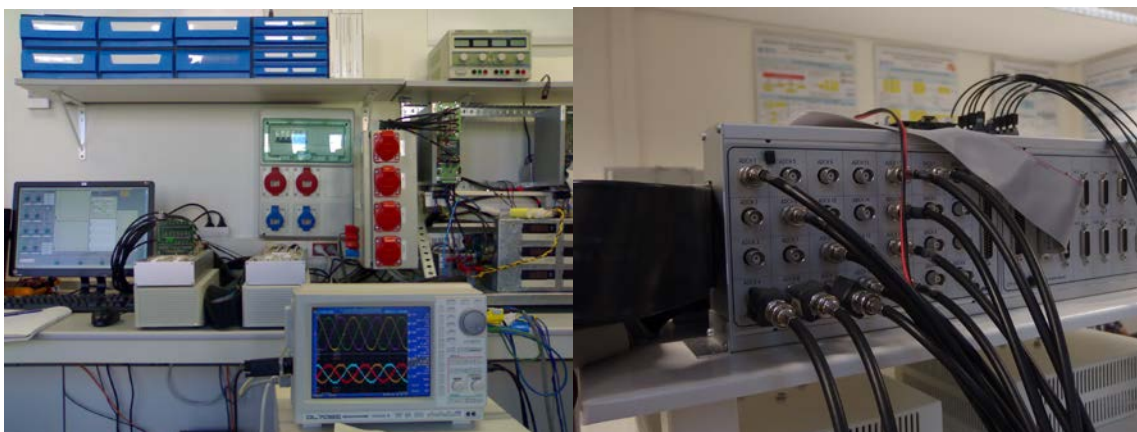
Simulador en tiempo real	OP4510
2 unidades de simulación RT Typhoon	Typhoon HIL 600
unidades de simulación RT Typhoon	Typhoon HIL 402
Control dSPACE	CP1103
Simulador en tiempo real OPAL-RT	OPAL-RT OP5600



Simulador en tiempo real OPAL 4510 y OPAL 5600



Simulador en tiempo real Typhoon HIL 400 y Typhoon HIL 600



Plataforma dSpace para hacer rapid control prototyping

Fuentes programables de potencia

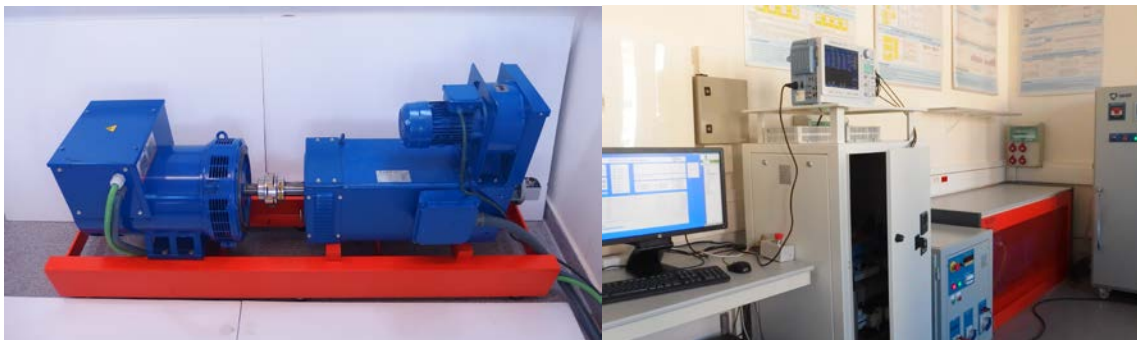
Fuente trifasica regulable+Fuente DC 1000 V	SEER+Magna-Power
Fuentes 2x1000 V	Magna-Power
Fuente programable Regatron 1000 V 80 A 64 kW	Regatron
Fuente DC 1000 V	Magna-Power
Fuente trifasica programable 3x7 kW alterna	Puissans
Fuente de AC programable	Chroma
Carga programable AC	Chroma
Fuente DC 4 cuadrantes regulable+emulador 80 kW	Regatron



Fuente Regatron de 32kW; Fuente 3kW Magna Power y fuente controlable AC 15kW – Amplificador lineal Puissance Plus 21kW

Emuladores de red, cargas y generadores de perturbaciones

Emulador de red con generador sincrónico	Desarrollo SEER 25 kVA
Carga programable RLC 30 kVA	Desarrollo SEER 30 kVA
Generador de huecos 25 kVA	Desarrollo SEER
3x Cargas regulables 10 kW	SEER
Generador de armónicos 63 A	SEER
Banco de cargas resistivas 5 kW	SEER
Convertidores back to back 2x10 kW+ control dSPACE	2xCP1103
Carga RLC de 30 kVA	SEER
Fuente trifásica regulable 25 kVA	SEER
Generador huecos de tensión 100 kVA	SEER
Fuente DC 900 V 100 kW	SEER



Bancada síncrona de 30kW



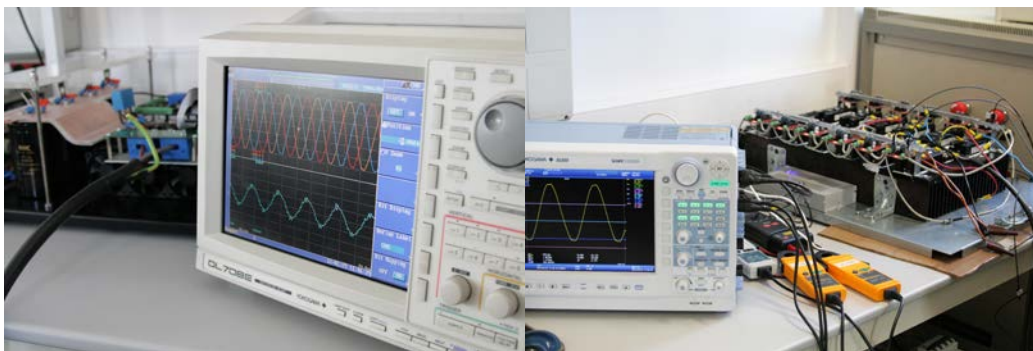
Emulador de red con bancada síncrona



Ensayo de convertidores contra emulador de red

Analizadores de red, scopecoders y osciloscopios

2xOsciloscopio	Rigol MSO4024
Vatímetro/registrador	PX8000
Osciloscopio	DL850
Osciloscopio	TPS 2014B
Osciloscopio	DL708
Analizador de red trifásico	NRGLab
Vatímetro trifásico de precisión	PZ4000



Scopecoders de Yokogawa (PX8000 y DL750)



Sistemas de media- Vatímetros industrial PM8000 y ION 7650 de Schneider Electric



Scopecorder de Yokogawa y osciloscopio Rigol (DL 708 y DL850)



Osciloscopio Rigol multicanal y Tektronix

Almacenamiento energético

Equipo de super condensadores 500 V 63 F+ Convertidor+Control DSP	SEER
Sistemas de baterías Pb+Conveticidor +Control DSP	SEER



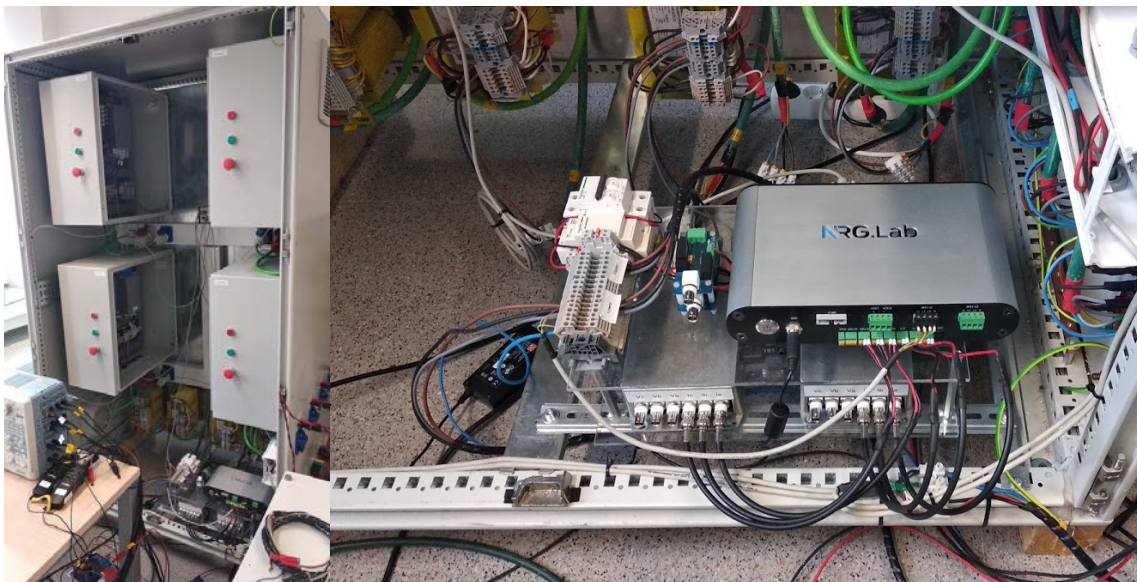
Banco de supercondensadores 50kW y convertidor de DC-DC que procesa su potencia



Banco de baterías y convertidor de conexión a bus DC 650V

Plataformas de diseño de control digital

Convertidor 10 kW + Control dSPACE	CP1103
Convertidores Back to Back 5 kW+Control dSPACE+DSP	CP1103
Convertidos control corriente 10 kW + Control dSPACE	CP1103
Convertidores Back to Back 5 kW+Control dSPACE	CP1103
4xConvertidores 5 kW en red+Sist. Comunicaciones	SEER
3xConvertidores 100 kW	NRG.Lab PC 100



Microred de 4 x 2kW controlado por controladora central DSPBox NRG.Lab

Software y BBDD

Al margen del software habitual necesario para el normal desarrollo de la actividad en un centro destinado a la docencia/investigación/transferencia en el ámbito de los Sistemas de Energía Eléctrica se dispone del siguiente programario específico:

- MATLAB
- DIGSILENT
- PSCAD
- PSIM (powersym)
- Virtual HIL Typhoon
- Neplan
- LabView (NI)

Asimismo se dispone de acceso las siguientes bases de datos específicas del área:

- CIGRE (<https://e-cigre.org/>)
- IEEEExplore (<https://ieeexplore.ieee.org/>)
- Elsevier (<https://www.sciencedirect.com>)

Por no tratarse de infraestructuras singulares no se menciona la evidente presencia de los equipos informáticos necesarios para desarrollar toda la actividad, que van ligados tanto a los sistemas de simulación como a las diferentes plataformas de control existentes mencionadas en apartados anteriores. En este punto solo mencionar que aquellos sistemas destinados a simulación, con necesidades de cómputo altas, están instalados en workstations multi-núcleo.