

GENERADORES DE INDUCCIÓN EN UN PARQUE EÓLICO DE LABORATORIO

*Manuel Burgos Payán, Miguel Ángel Caballero Gutiérrez,
Manuel Casal Gómez-Camino, Pedro Luis Cruz Romero,
José María Maza Ortega, Juan Manuel Roldán Fernández,
Ángel Luis Trigo García y Antonio de la Villa Jaén*
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Escuela Superior de Ingenieros
Ángel Gaspar González Rodríguez
Departamento de Electrónica
Ingeniería de Sistemas
Escuela Politécnica Superior

RESUMEN

Se describe un trabajo de innovación educativa basado en el diseño y montaje en Laboratorio de una pequeña red “a escala” (en baja tensión) que permite estudiar el impacto de la integración de un parque eólico a la red de transporte y distribución de energía eléctrica, por vía experimental. Un instrumento virtual, desarrollado y puesto a punto para este trabajo, permite la monitorización y control de la red. Este entorno integrado de supervisión y control es la interfase con el usuario, por lo que se ha diseñado de forma que resultara lo más autoexplicativo y amigable posible, de forma que los alumnos no tengan que dedicar tiempo extra para su aprendizaje.

Descriptor: Generadores de inducción, Transitorios electromagnéticos, Instrumentación virtual, Simulación.

ABSTRACT

An educational innovation based on the design and lay-out of a small “scaled” network (low voltage) that allows to study the impact of a wind park integration into the transport and distribution network, in an experimental way. A virtual instrument, developed and tuned for this work, allows the network monitorization and control. This supervision and control virtual instrument is the user interface,

so it has been developed as friendly and self-explanatory as possible. This way, the students have not to expend extra time to learn it.

Key words: Induction generators, Electromagnetic transients, Virtual instrumentation, Simulation.

1. INTRODUCCIÓN

La instalación de parques eólicos destinados al aprovechamiento eléctrico de la energía cinética del viento está incentivada por factores económicos y sociales bien conocidos. El uso de un recurso energético renovable como es el viento presenta indudables ventajas, no obstante, también plantea dificultades de orden técnico que suponen todo un reto para la Ingeniería Eléctrica.

Uno de los problemas que plantea la instalación de un parque eólico es el riesgo de deterioro de la calidad del suministro de la red eléctrica que puede derivarse, básicamente, de tres factores:

- La estructura de las redes de transporte y distribución de la energía eléctrica, principalmente diseñadas, protegidas y operadas para la alimentación de cargas pasivas.
- La naturaleza aleatoria de la fuente de energía primaria, el viento, que dificulta la previsión de la generación y hace que este tipo de instalaciones funcione casi en un continuo régimen transitorio.
- Las características de los generadores de inducción, que son los comúnmente utilizados en este tipo de instalaciones por sus elevadas prestaciones técnico-económicas, que pueden inyectar potencia activa (generador) en el sistema pero siempre consumen energía reactiva (receptor), o sus carencias para controlar la tensión y la frecuencia generadas.

Una central eléctrica de captación de la energía eólica es una planta de alta tecnología con un claro enfoque multidisciplinar en la que convergen los conocimientos teóricos y prácticos de diversas áreas del saber (máquinas eléctricas, mecánica, electrónica de potencia, adquisición y tratamiento de señales, control, etc.). La comprensión de las interacciones entre los diferentes subsistemas que la integran (la turbina eólica, el generador de inducción, el arrancador suave, el equipo de compensación de la energía reactiva, etc.) y su interacción con la red de transporte y distribución a la que vierte la energía generada, requiere esfuerzo y dedicación por parte de los estudiantes. A estas dificultades propias hay que añadir las derivadas de las presiones temporales sobre los programas de las asignaturas y la necesidad de cubrir una gran cantidad de materia en las mismas, que hacen que se deje muy poco tiempo a los alumnos para que puedan integrar adecuadamente el caudal de conocimiento que reciben en las clases.

Las clases prácticas de laboratorio, como es bien conocido, constituyen un importante recurso didáctico en la enseñanza de multitud de materias, de entre las que cabría citar las relacionadas con la ingeniería, en general. Las prácticas de laboratorio constituyen casi el único escenario docente real que permite un trato personalizado con los alumnos (en un ambiente menos formal que las clases magistrales), y constituyen una excelente ocasión para conseguir que participen y se involucren activamente en su propio proceso de aprendizaje. Además, lo hacen de la forma mejor y más perdurable posible: aprenden haciendo, y con retroacción inmediata, tanto para el profesor como para los alumnos.

El laboratorio es, además, el escenario natural en el que los alumnos pueden conseguir un cierto grado de familiaridad con los equipos, dispositivos y técnicas descritas en las clases magistrales. No obstante, la docencia en los laboratorios suponen un consumo de tiempo importante así como la necesidad de disponer de una infraestructura y equipos de laboratorio que pueden ser realmente costosos, especialmente en el ámbito de las máquinas eléctricas.

La utilización de los ordenadores como recurso didáctico es, hoy día, una firme tendencia, especialmente en el área de la Ingeniería Eléctrica que, por sus peculiaridades, es un campo que podría citarse como una buena muestra de ello. Aparte de la potencia de cálculo que permiten, despierta el interés de los alumnos, por lo que suponen un claro estímulo. Enlazando con esta línea de actividad en torno a la utilización de ordenadores en el campo de la docencia de la Ingeniería Eléctrica [1-7], en este trabajo se propone la integración de equipos clásicos de potencia, por un lado, e instrumentación y ordenadores, por otro, que permitan las tareas de control y monitorización.

2. OBJETIVO Y METODOLOGÍA

El objetivo del presente proyecto es el montaje de una plataforma didáctica que permita el análisis teórico-experimental del impacto de la integración de un parque eólico en la red de transporte y distribución de energía eléctrica [8-13]. Dado que no sería realista pretender tener acceso a un parque eólico real, se ha diseñado y montado una pequeña red "a escala", en baja tensión, en el Laboratorio. En ella se reflejan los principales componentes de lo que podría ser una instalación eólica típica, como el generador de inducción, el equipo de arranque (y desconexión) suave, el centro de transformación en media tensión (M.T.) del parque eólico, la batería de compensación de energía reactiva, una carga local en las inmediaciones del parque, la línea aérea de evacuación de energía en M.T., el centro de transformación en alta tensión (A.T.) y la red eléctrica de A.T. Un motor de corriente continua, acoplado al eje de la máquina de inducción, permite simular el par mecánico de la turbina eólica. La Fig. 1 muestra lo que podría ser

el esquema típico de la conexión de una instalación eólica a la red de transporte y distribución de energía eléctrica.

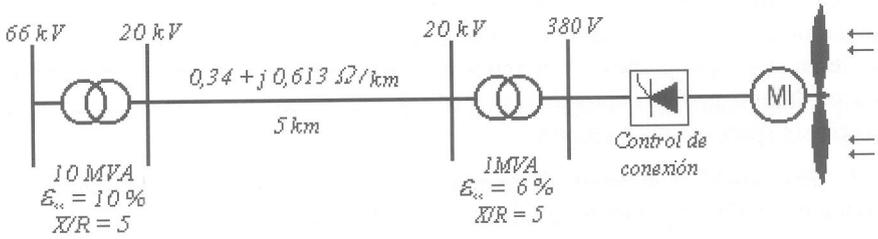


Figura 1. Esquema de la conexión de un parque eólico a la red de transporte y distribución de energía eléctrica.

Para poder estudiar por vía experimental el funcionamiento de la instalación se hace indispensable disponer de un sistema que permita tanto el control como la monitorización y visualización de las principales magnitudes mecánicas y eléctricas en diversos puntos de la red en tiempo real (o casi real), y para cualquiera de los distintos regímenes de funcionamiento, tanto permanente como transitorio. Para ello se ha diseñado y puesto a punto un “instrumento virtual” que facilite las tareas de monitorización y control del sistema. El instrumento virtual se ha desarrollado utilizando *Labview 5.0* y permite tratar y presentar alfanumérica y gráficamente la información capturada (curvas características, análisis espectral de ondas, cálculo de la potencia o el contenido armónico de las diversas ondas, etcétera) [14-15]. Este entorno integrado de supervisión y control es la interfase con el usuario, por lo que se ha diseñado de forma que resultara lo más autoexplicativo y amigable posible. De esta forma, los alumnos no tendrán que dedicar tiempo extra para su aprendizaje. Su diseño es modular, lo que facilitaría una posible ampliación de su funcionalidad, en caso de que fuese necesario.

Una vez identificadas las dificultades y establecidos los requisitos básicos de la actividad a desarrollar y sus limitaciones, se ofreció como trabajo final de carrera a un alumno de Ingeniería Industrial (Plan 64), especialidad Eléctrica [16]. Las tareas a desarrollar han sido múltiples:

- Adaptación del esquema unifilar de un parque eólico convencional al Laboratorio, escalando y modelando los elementos principales del sistema mediante componentes discretos.

- Análisis y definición del equipo de instrumentación y control necesarios (aparatos de medida, osciloscopios, transductores, tarjetas de adquisición de datos, etc.)
- Montaje de una pequeña instalación eólica a escala, adaptado a las condiciones del Laboratorio.
- Diseño y puesta a punto de un instrumento virtual que permita el control y la monitorización de la instalación a escala montada en el Laboratorio.
- Realización de un manual y una serie de ensayos que pudieran servir a modo de ejemplos propuestos para los estudiantes.

La actividad está primeramente enfocada a la asignatura de Máquinas Eléctricas (4º curso de Ingeniería Industrial, intensificación Eléctrica), pero se extenderá, en fases posteriores, a las restantes asignaturas que cubren temas relacionados, especialmente a la de Centrales Eléctricas, Tracción y Accionamientos Eléctricos y Gestión y Calidad de la Energía Eléctrica (5º curso de Ingeniería Industrial, intensificación Eléctrica).

La infraestructura creada servirá de base para otros trabajos teórico-práctico o Proyectos Fin de Carrera. También serviría de base para el futuro desarrollo de seminarios sobre aspectos concretos del funcionamiento de los parques eólicos y de las dificultades que pueden derivarse de su integración en la red.

3. PARQUE EÓLICO. MODELO A ESCALA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

En las instalaciones eólicas típicas, las máquinas de inducción suelen generar en B.T. (380 o 690 V). Esta tensión suele ser transformada a 20 kV en la propia góndola (a lo que se tiende en la actualidad) o al pie de la torre del aerogenerador (o en un centro de transformación que englobe a varios generadores). La energía eléctrica generada es transportada seguidamente a través de una línea aérea o subterránea (ésta es la configuración más utilizada actualmente) hasta la subestación de transformación del parque, que eleva la tensión hasta 66 kV y conecta el parque con el sistema de potencia. La Fig. 1 muestra el sistema de distribución que permite evacuar la potencia generada en el parque hasta el sistema de potencia considerado en este trabajo.

3.1 Modelo a escala

La Fig. 2 muestra el modelo a escala montado en el Laboratorio. Para caracterizar cada uno de los componentes de la instalación representada en la Fig. 1,

se han pasado los valores de sus parámetros característicos reales a una base de 380 V.

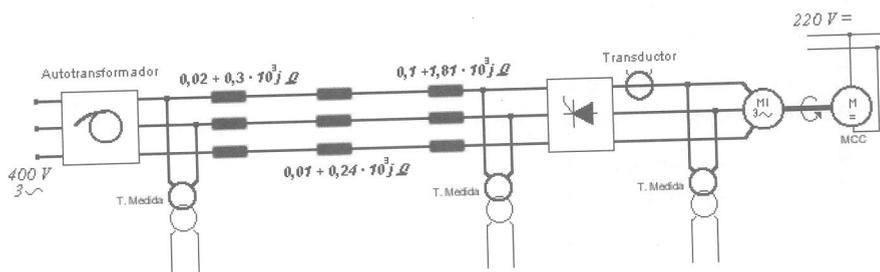


Figura 2. Modelo a escala de la integración de un parque eólico a la red de transporte y distribución de energía eléctrica.

Los modelos adoptados para representar cada uno de los principales componentes de la instalación de potencia en la plataforma a escala son los siguientes:

- **Generador de inducción.** Se ha representado mediante una máquina de inducción trifásica, con rotor en jaula de ardilla, de 380 V, 50Hz, conectada en triángulo, de 600 W de potencia y 1450 rev./min. (cuatro polos).
- **Turbina eólica – viento.** El par mecánico producido al incidir el viento contra las palas de turbina eólica se produce mediante una máquina de corriente continua de excitación en derivación de 200 V, 500 W de potencia y 1500 rev./min.
- **Arrancador suave.** Se ha utilizado un equipo comercial con dos tiristores conectados en oposición por cada fase con conmutación natural.
- **Transformadores.** Se han modelado mediante sus respectivas impedancia de cortocircuito ($Z_{cc} = R_{cc} + j \cdot X_{cc}$).
- **Línea de evacuación de energía.** Se ha modelado mediante una impedancia ($Z_L = R_L + j \cdot X_L$) calculada a partir de los valores típicos de impedancia por unidad de longitud característica de líneas aéreas.
- **El sistema de potencia.** Se parte de un sistema de potencia ideal (potencia de cortocircuito infinita). Se modela una red débil mediante un autotransformador que permite un ajuste de la tensión del punto de conexión y una reducción de la potencia de cortocircuito del sistema de potencia al que se conecta la instalación eólica.

La Tabla I muestra los valores de impedancia típicos de una instalación eólica como la mostrada en la Fig. 1. La Tabla II muestra los valores de las impedancias

utilizados para modelar la instalación de la Fig. 1 en la instalación a escala, en baja tensión, montada en el Laboratorio.

Tabla I. Valores de impedancia de los componentes de una instalación eólica típica.

Componente	Impedancia ($Z = R + j \cdot X$)					
	R (Ω)	X (Ω)	R (m Ω)	X (m Ω)	R (m Ω)	X (m Ω)
Sistema eléctrico	-	-	-	-	-	-
Transformador 10 MVA	8.54	45.71	1.95	9.80	18.84	94.40
Línea aérea (5 km)	0.67	3.07	1.67	7.66	16.12	73.76
Transformador 1 MVA	4.70	23.53	1.17	5.88	113.28	566.39

Tabla II. Valores de impedancia de los componentes de la instalación a escala (380 V).

Componente	Impedancia ($Z = R + j \cdot 2\pi f L$) a 380 V		
	R (m Ω)	L (mH)	X (m Ω)
Autotransformador	330	77.99	490
Transformador 10 MVA	20	0.3	1.88
Línea aérea (5 km)	10	0.24	1.51
Transformador 1 MVA	100	1.81	11.37

La plataforma montada en el Laboratorio consta, además, de los correspondientes equipos de maniobra, protección, control y monitorización, de entre los que cabe citar transformadores de medida, transductores de efecto Hall, divisores de tensión, una tarjeta de adquisición de datos y un PC, así como voltímetros, amperímetros, vatímetros y osciloscopios. La Fig. 2 muestra algunos transformadores de tensión y transductores de efecto Hall, que son una parte de la instrumentación de que está dotada la plataforma. La práctica totalidad de los dispositivos de control y monitorización están integrados en un "instrumento virtual" diseñado y puesto a punto para este proyecto.

3.2 Instrumento virtual

Un instrumento virtual es una herramienta desarrollada mediante programación (software) y que, con ayuda de la tarjeta de adquisición de datos, toma información de campo poniéndola a disposición del usuario a través de un ordenador personal, permitiendo además un tratamiento, procesado y almacenamiento de las señales así obtenidas.

El entorno integrado de medida utilizado (instrumento virtual) consta, básicamente, de un PC y una tarjeta de adquisición de datos *NI AT-MIO-16L9*, con caja de conexiones *SCB-68*. También se han utilizado diversos transductores y adaptadores de señal como transformadores de medida y divisores de tensión, así como transductores de efecto Hall para la medida de intensidades. El instrumento virtual se ha desarrollado utilizando *Labview 5.0*.

Los programas basados en programación gráfica o instrumentos virtuales constan de una interfaz interactiva de usuario, el *Panel Frontal*, y un *Diagrama de Flujo de Datos* que hace las funciones de código fuente. Para este trabajo se han elaborado varios instrumentos virtuales para llevar a cabo las distintas tareas requeridas. Debe notarse que cada uno de los módulos (o sub-instrumento virtual) es, en sí mismo, un instrumento virtual, ya que poseen autonomía propia en cuanto a su ejecución, aunque puedan precisar parámetros procedentes de otros módulos.

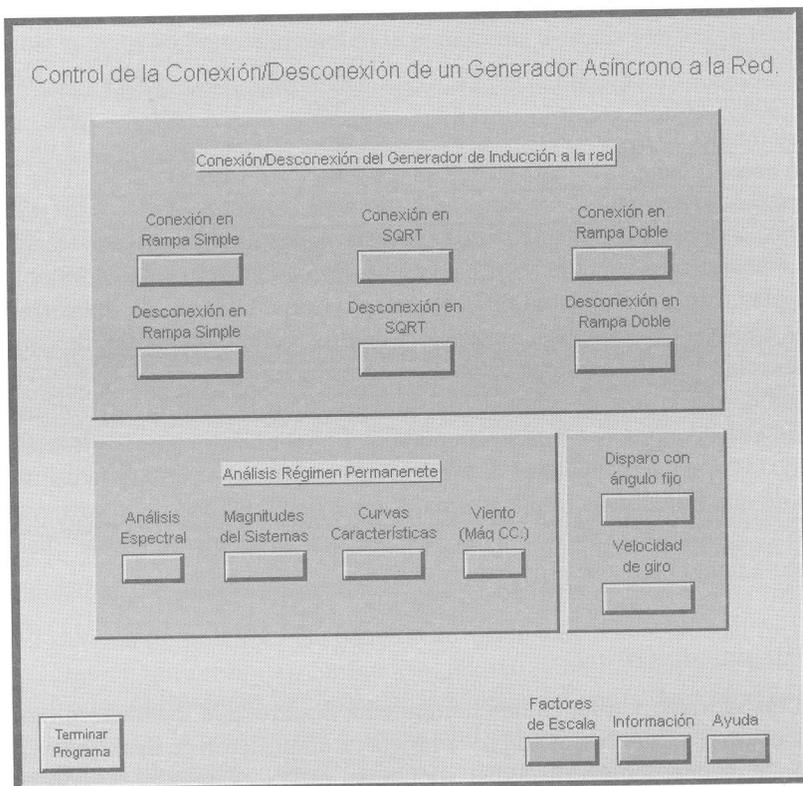


Figura 3. Panel Frontal del módulo principal (*inicio.vi*) del instrumento virtual.

El fichero de la interface principal es el *Inicio.vi*. Al ejecutarse, presentará la pantalla principal que se muestra en la Fig. 3. Desde aquí se tiene acceso a todas las tareas programadas en este instrumento virtual. Se ha dotado a la aplicación de una estructura claramente modular, lo que permite una fácil ampliación y modificación del programa, así como la reutilización de los distintos instrumentos virtuales para otras posibles aplicaciones.

El módulo principal *Inicio*, llama a los demás módulos para que estos ejecuten sus distintas tareas. Estos módulos, al ser activados, presentan su propio panel frontal con las diversas opciones respecto de las tareas a realizar. La estructura generada para conseguir este tipo de interrelación entre estos dos niveles de módulos de la aplicación, se basa en la ejecución de todas las tareas de los subprogramas del nivel inferior dentro de un bucle *while* (Fig. 4), del que no se saldrá hasta activar la variable de salida (botón volver o salir).

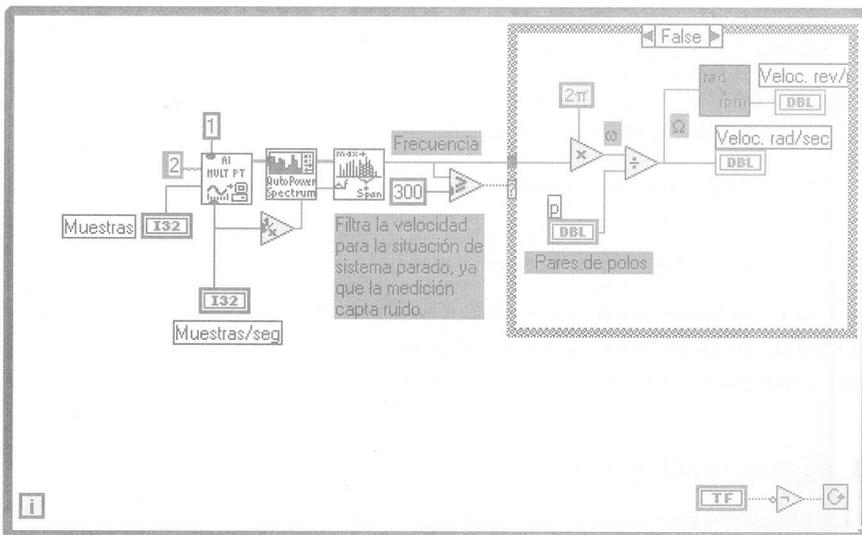


Figura 4. Estructura de subprograma (bucle while).

La filosofía utilizada en la programación permite un funcionamiento dinámico y continuo (no se ha de presionar RUN), que da al usuario sensación de continuidad y dinamismo, pero tiene la limitación de que no permite un trabajo en multitarea entre las distintas opciones del instrumento virtual (debido a la estructura jerárquica y a la imposibilidad de recursividad).

Como puede verse en la Fig. 3, en la parte superior del panel frontal del módulo principal (Conexión/Desconexión del Generador de Inducción a la Red) se encuentran los botones correspondientes al control de las maniobras de arranque y parada, con tres tipos de estrategias de variación temporal de la tensión aplicada:

- Lineal, $(t) = k_1 \cdot t + k_2$.
- Lineal con un cambio de pendiente (dos tramos lineales), $(t) = k_1 \cdot t + k_2$ y $(t) = k_3 \cdot t + k_4$.
- Raíz-cuadrática, $(t) = k_1 \cdot \sqrt{t} + k_2$.

En la parte central izquierda pueden verse los botones correspondientes al funcionamiento en régimen permanente, que ofrece cuatro opciones básicas:

- Análisis espectral
- Magnitudes del sistema
- Curvas características
- Viento

En la parte central derecha se ofrecen dos opciones adicionales correspondientes al funcionamiento en régimen permanente:

- Funcionamiento de la máquina de inducción con ángulo de disparo constante
- Funcionamiento con velocidad constante

En la parte inferior derecha aparecen tres botones. El primero de ellos permite el ajuste de los factores de escala de los transductores, el segundo ofrece información a cerca del instrumento virtual y el tercero es el típico botón de ayuda.

3.3. Algunos resultados experimentales

La plataforma de ensayo montada en el Laboratorio permite la realización y el análisis de ensayos tanto en régimen permanente como transitorio, que pueden agruparse conforme a la siguiente relación:

- Régimen Permanente
 - Curvas características
 - Análisis espectral (contenido armónico en tensión e intensidad)
 - Detección ángulo crítico de control del arrancador suave
 - Efecto de la variación de la tensión

- Régimen Transitorio

- Conexión brusca del generador de inducción a la red (partiendo del reposo y de velocidades próximas a la de sincronismo)
- Conexión suave (partiendo del reposo y de velocidades próximas a la de sincronismo)
- Desconexión suave
- Variación de la velocidad del viento y ráfagas

La Fig. 5 muestra una curva Magnitud -Velocidad, concretamente Potencia -Velocidad, obtenida en régimen permanente y tras ir variando los puntos de trabajo (velocidad) desde 1400 rev./min. (funcionamiento como motor) hasta 1560 rev./min. (generador).

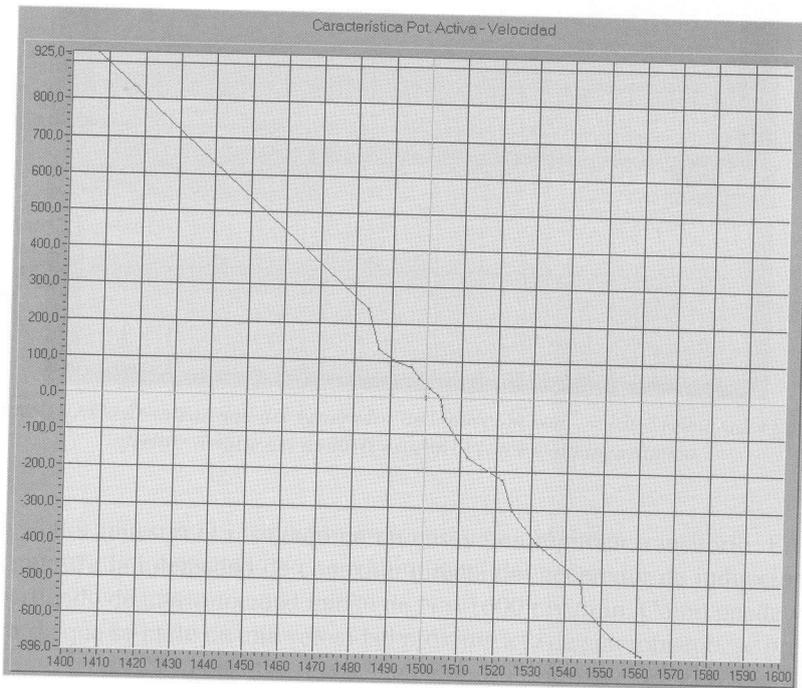


Figura 5. Curva característica Potencia activa (W) - Velocidad (rev./min.).

La Fig. 6 muestra un ejemplo de utilización del módulo de adquisición múltiple. En ella pueden verse la onda de intensidad en una fase y la tensión de línea en tres puntos diferentes del circuito: la red de alimentación, a la entrada del arrancador suave y en las bornas del generador de inducción.

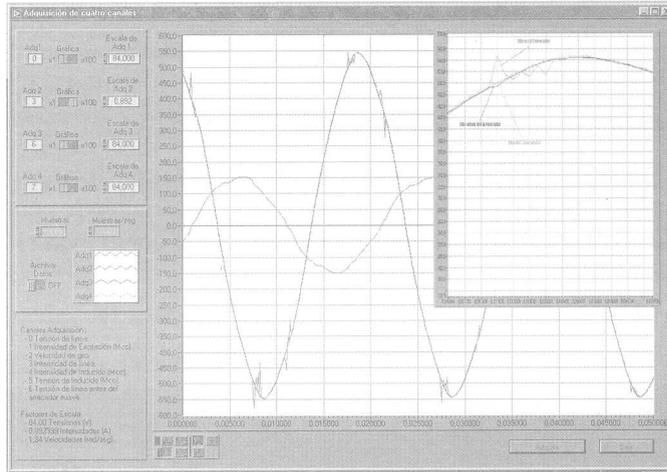


Figura 6. Adquisición múltiple. Intensidad (verde) y tensión AB en la red (amarillo), antes del arrancador suave (rojo) y en el generador de inducción (azul).

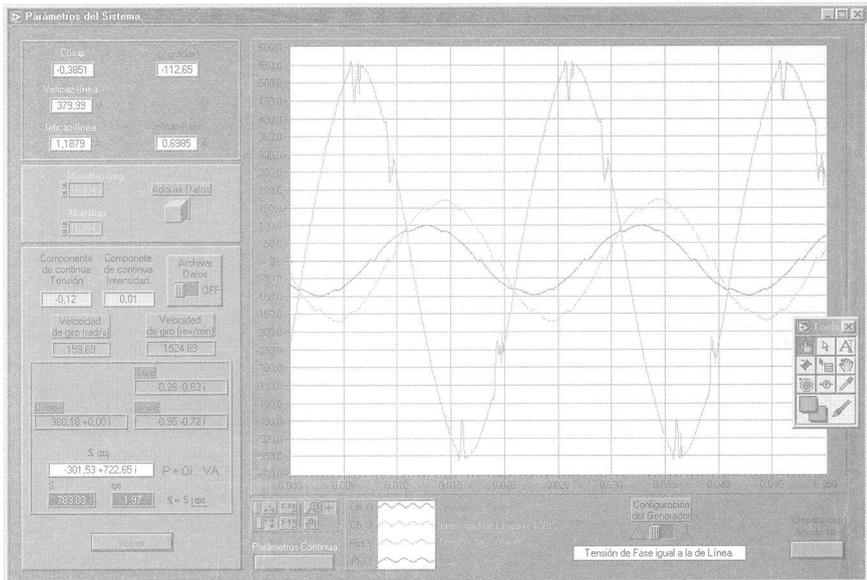


Figura 7. Funcionamiento en régimen permanente con $\theta = 130^\circ$ (generador).

Las Fig. 7 y 8 ilustran el funcionamiento del generador de inducción con el arrancador suave funcionando con un ángulo de disparo $\alpha = 130^\circ$. La primera muestra otra adquisición múltiple con el efecto del recorte en las ondas de tensión e intensidad producido por el funcionamiento del arrancador suave. En la segunda puede verse un ejemplo de utilización del módulo de análisis espectral.

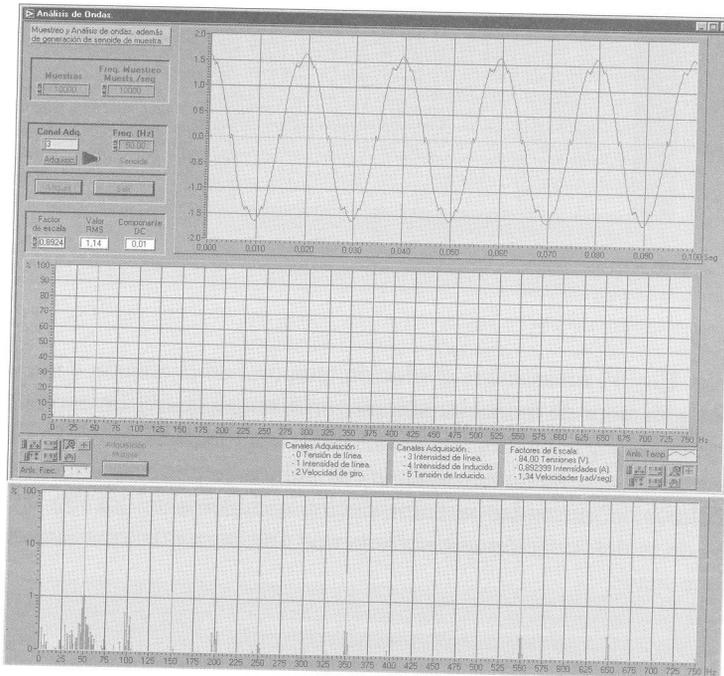


Figura 8. Onda de intensidad del generador de inducción con $\alpha = 130^\circ$ (generador). Parte inferior: detalle del análisis espectral con escala logarítmica.

La Fig. 9 muestra el resultado de un ensayo en régimen transitorio. En concreto muestra la intensidad de conexión directa del generador de inducción a la red, partiendo de una velocidad inicial de $N = 1600$ rev./min. Como puede verse, a pesar de que se parte de una velocidad próxima a la de sincronismo, se produce una fuerte punta de intensidad que se atenúa posteriormente, en el régimen permanente.

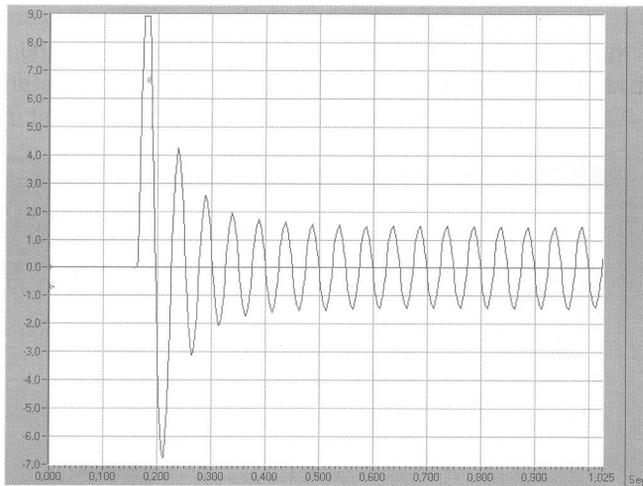


Figura 9. Intensidad de conexión directa del generador de inducción con $N = 1600$ rev./min.

Las Fig. 10 y 11 muestran la evolución temporal de la tensión e intensidad en bornas del generador de inducción durante un arranque suave en la que el ángulo de disparo sigue una evolución temporal de tipo raíz-cuadrática. En la primera de ellas puede verse que, aunque la máquina de inducción parte ahora del reposo, los picos máximos de intensidad se han reducido notablemente. La Fig. 11 muestra un detalle de la deformación que sufre la onda de intensidad durante el proceso de arranque suave.

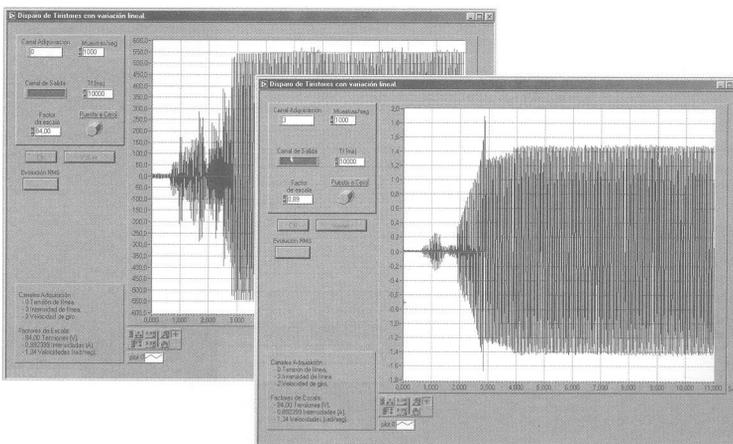


Figura 10. Evolución temporal de la tensión e intensidad en bornas del generador de inducción durante un arranque con evolución raíz-cuadrática del ángulo de disparo.

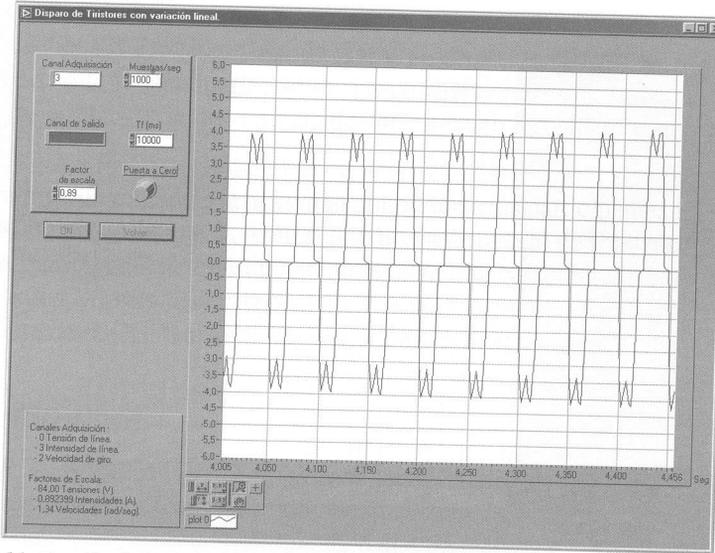


Figura 11. Detalle de la evolución temporal de intensidad en el generador de inducción durante un arranque suave.

Finalmente, la Fig. 12 ilustra la evolución temporal de intensidad en el generador de inducción durante una desconexión en doble rampa, mientras la Fig. 13 muestra la variación temporal de la intensidad en el generador de inducción durante una ráfaga de viento. Este efecto se consigue variando la velocidad de funcionamiento con la máquina de corriente continua.

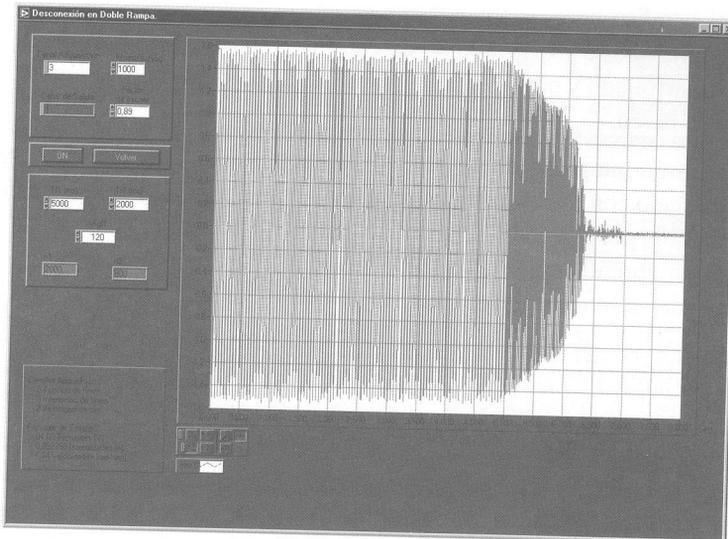


Figura 12. Detalle de la evolución temporal de intensidad en el generador de inducción durante una desconexión en doble rampa.

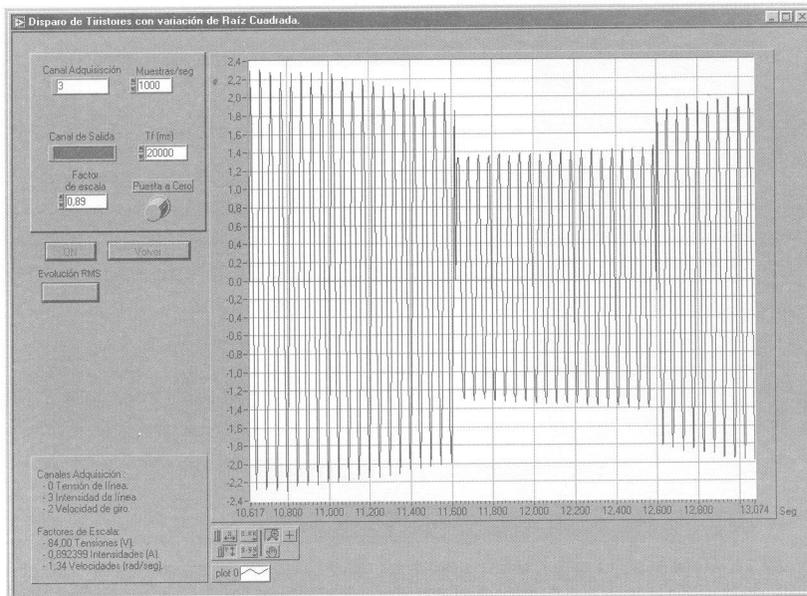


Figura 13. Variación temporal de la intensidad en el generador de inducción durante una ráfaga de viento (efecto simulado con una máquina de corriente continua).

4. CONCLUSIONES

Se ha diseñado y montado una pequeña red “a escala”, en baja tensión, que permite el estudio experimental del impacto de la integración de un parque eólico a la red de transporte y distribución de energía eléctrica. Un instrumento virtual, también desarrollado y puesto a punto para este trabajo, permite la monitorización y control de la red.

Este entorno integrado de supervisión y control es la interfase con el usuario, y se ha diseñado con dos directrices principales: que resultará lo más autoexplicativo y amigable posible (de forma que los alumnos no tengan que dedicar tiempo extra para su aprendizaje) y que fuese modular (para que facilitase una posible ampliación de su funcionalidad, en caso de que fuese necesario).

Otro factor a tener en cuenta es la actitud tan positiva que suelen presentar los alumnos hacia la utilización de ordenadores en sus trabajos. Esto convierte al ordenador en un recurso didáctico que desempeña también un papel de motivación muy importante a la hora de que una innovación como la que se propone tenga una respuesta favorable por parte del alumnado. También hay que tener en cuenta que con el desarrollo de este tipo de actividades se transmite a los alumnos el interés por parte del profesorado en mejorar la calidad de la docencia que imparte.

La infraestructura creada para este proyecto servirá de base para otros trabajos teórico-prácticos o Proyectos Fin de Carrera. También serviría de base para el futuro desarrollo de seminarios sobre aspectos concretos del funcionamiento de los parques eólicos y de las dificultades que pueden derivarse de su integración en la red.

La valoración global de la actividad por parte de los participantes ha resultado muy satisfactoria. Además, la realización de este Proyecto de Innovación ha ofrecido a los participante la oportunidad de realizar una colaboración entre Departamentos de dos Universidades de nuestra Comunidad Autónoma, lo que redundará en la mejora de la Calidad de la Docencia impartida por ambos.

5. REFERENCIAS

- BURGOS PAYÁN, M.(1991). *Mejora de una Práctica de Laboratorio Utilizando un Ordenador*, I Congreso Internacional sobre calidad de la enseñanza Universitaria, Puerto de Santa María, del 6 al 8 de marzo de 1991, pp. 26-35.
- BURGOS PAYÁN, M., CASAL GÓMEZ-CAMINERO, M. y IZQUIERDO MITCHELL, C. (1993). *Mejora de una Práctica sobre Máquinas de Inducción Utilizando un Ordenador*, Revista de Enseñanza Universitaria, No. 5, Junio 1993, pp. 57-67.
- BURGOS PAYÁN M., GONZÁLEZ RODRÍGUEZ Á.G. y VALLEJO SAURA M.A. (1994). *Generadores de Inducción en las Prácticas de Laboratorio*, Revista de Enseñanza Universitaria, No. 7-8, Junio-Diciembre 1994, pp. 87-101.
- BURGOS, M., CASAL, M., CRUZ, P., GONZÁLEZ, A.G., IZQUIERDO, C. y VALLEJO, M.A. (1997). *Resolución de Problemas de Máquinas Eléctricas con Matlab*. Revista de Enseñanza Universitaria, Número extraordinario 1997, pp. 47-56.
- CABALLERO GUTIÉRREZ, M.A. (2003). Estudio Teórico-Experimental de Transitorios en Parque Eólicos, Proyecto Fin de Carrera, Dpto. Ingeniería Eléctrica de la Univ. de Sevilla.
- CASAL GÓMEZ-CAMINERO, M., BURGOS PAYÁN, M., CRUZ ROMERO, P., GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, A.G. y IZQUIERDO MITCHELL, C. (1998). *Monitorización y Control del Arranque de una Máquina de Corriente Continua*. Revista de Enseñanza Universitaria, Número extraordinario 1998, pp. 113-124
- GOLE, A.M., NAYAK, O.B., SIDHU, T.S. y SACHDEV, M.S. (1996). *A Graphical Electromagnetic Simulation Laboratory for Power Systems Enginee-*

ring Programs, Iee trans. On power systems, Vol 11, No. 2, May 1996, pp. 599-606.

GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, A.G., BURGOS PAYÁN, M. y IZQUIERDO MITCHELL, C. (2001). *PSCAD Based Simulation of the Connection of a Wind Generator to the Network*. Proc. 2001 IEEE Porto Power Tech, Vol 4.

GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, A. G., BURGOS PAYÁN, M. y IZQUIERDO MITCHELL, C. (2002). *Improving Soft-Starting of Induction Generator*, in Proc. ICEM 2002, Vol. 4, Bruges.

GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, A.G., BURGOS PAYÁN, M., TRIGO GARCÍA, A.L., ROLDÁN FERNÁNDEZ, J.M. y IZQUIERDO MITCHELL, C.(2003). *The Improvement of Induction Generator Soft-Start*, Actas del 8º Congreso Hispano-Luso de Ingeniería Eléctrica. Lisboa: 2003.

LÁZARO, A.M. (1997). *Labview. Programación Gráfica para el Control de Instrumentación*. Madrid: Paraninfo.

ROBERT, H. BISHOP (2000). *Labview 6i Manual (Student edition)*, National Instruments, Prentice Hall.

ROLDÁN FERNÁNDEZ J.M.(2003). *Análisis y Simulación de Transitorios en Parque Eólicos*, Proyecto Fin de Carrera, Dpto. Ingeniería Eléctrica de la Univ. de Sevilla.

VALLEJO SAURA, M.A., GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, Á.G. y BURGOS PAYÁN M. (1998). *Cuaderno Informático para Prácticas de Ingeniería Eléctrica*, Revista de Enseñanza Universitaria, No. 12, 1998, pp. 37-52.

Página de la Asociación Danesa de la Industria Eólica. <http://www.windpower.org>

Página de la Asociación Europea de Energía Eólica. <http://www.ewea.org>