

APLICACIÓN DE LAS DIRECTRICES DEL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN LA DOCENCIA DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS

JUAN CARLOS DEL PINO LÓPEZ

PEDRO L. CRUZ ROMERO

ALEJANDRO MARANO MARCOLINI

ÁNGEL LUIS TRIGO GARCÍA

JOSÉ MARÍA MAZA ORTEGA

MANUEL BURGOS PAYÁN

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

RESUMEN

Se presenta una experiencia docente en la docencia de las asignaturas de Máquinas Eléctricas y Tracción y Accionamientos Eléctricos impartidas en la Titulación de Ingeniero Industrial, con objeto de adecuarlas a las nuevas directrices introducidas por el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES).

Palabras clave: Máquinas Eléctricas, Tracción y Accionamientos Eléctricos, EEES.

ABSTRACT

A teaching experience in Electrical Machines and Electric Drives, subjects which are given in the grade of Industrial Engineering, trying to reach the goals introduced by the European Higher Education Area (EHEA), is presented.

Key words: Electrical Machines, Electric Drives, EHEA.

1. INTRODUCCIÓN

El empleo de máquinas eléctricas en procesos productivos de la industria está muy extendido en la actualidad. Ya sean motores o generadores, existen multitud de aplicaciones en las que se emplea este tipo de máquinas. Principalmente se emplean para dar movimiento a maquinaria encargada de transportar o trasladar diversos tipos de cargas, como por ejemplo cintas transportadoras, elevadores, grúas, etc., así como dotar de movimiento a máquinas herramientas empleadas en los procesos de fabricación, aunque su uso se extiende hasta el ámbito doméstico (lavadoras, frigoríficos, impresoras, automoción, equipos audiovisuales, etc.). Este uso tan extendido de los motores eléctricos se debe a la evolución que ha experimentado en los últimos años, destacando principalmente el motor de inducción. Esta máquina es especialmente más ligera y necesita de un menor mantenimiento que otras, lo que la hace muy atractiva para gran número de aplicaciones. Por otro lado, en las últimas décadas la Electrónica de Potencia ha sufrido un gran avance en cuanto a tecnología y desarrollo, obteniendo una mejora en aspectos tan importantes como la eficiencia energética. Esto ha favorecido en gran medida a una de sus principales aplicaciones: el accionamiento eléctrico de motores de inducción (Mohan, 2002). Por ello, actualmente se ha extendido de forma notable el uso de inversores para el accionamiento y control de este tipo de motores, debido principalmente a su versatilidad, fiabilidad y el ahorro energético que introducen en los procesos. Todo esto lleva a que una de las tareas más comunes a desarrollar por los ingenieros encargados del diseño y puesta a punto de plantas de producción o procesado sea la selección y ajuste de convertidores de potencia, para el accionamiento de motores de inducción.

La teoría básica sobre estos temas se engloba en la intensificación Eléctrica de la titulación de Ingeniero Industrial en las asignaturas de Máquinas Eléctricas de 4º curso, donde se introducen los principios de funcionamiento de las principales máquinas eléctricas empleadas en la actualidad, haciendo especial hincapié en la máquina de inducción, estableciendo los conocimientos básicos que serán empleados en 5º curso en la asignatura de Tracción y Accionamientos Eléctricos, donde se desarrollan los principios teóricos y prácticos en los que se basan los principales dispositivos empleados para el accionamiento y control de motores de inducción: los inversores, con objeto de dar a los alumnos una más completa formación en este tipo de accionamientos tan extendidos en la actualidad. En ambas asignaturas, la docencia se ha basado hasta el momento en plantear una serie de ejercicios y clases prácticas de laboratorio con las que completar los conceptos teóricos impartidos en las clases magistrales. Sin embargo, se da la paradoja que no suelen tratarse con demasiada extensión los aspectos y dificultades de orden técnico que se presentan a la hora de diseñar o seleccionar un accionamiento para una determinada aplicación.

Por otro lado, la futura implantación del Espacio Europeo de Educación Superior (Bologna, 1999) traerá consigo la renovación de la metodología empleada en la enseñanza universitaria. Introduce novedades que buscan una formación mucho más completa y efectiva del alumno, a fin de preparar buenos profesionales que sepan afrontar los retos que encontrarán en su vida laboral, proponiendo conceptos tales como el aprendizaje continuado y la formación en competencias. Es decir, la estrategia educativa se basará en aprender a aprender lo que sea necesario para el desempeño profesional. Esto implica una profunda renovación de la metodología didáctica empleada hasta el momento.

Todas estas circunstancias han sido el punto de partida para proponer una nueva metodología para impartir la docencia y las prácticas de laboratorio de las asignaturas de Máquina Eléctricas y de Tracción y Accionamientos Eléctricos, que durante los últimos cuatro años ha evolucionado priorizando la adquisición de conocimientos más directamente implicados en el proceso de selección y manejo de estos equipos por parte de un ingeniero en la industria, con el fin de paliar algunas de las lagunas técnicas y aptitudinales necesarias para su desempeño profesional. Para ello es necesario dar un enfoque más global de la materia integrando clases magistrales, simulaciones y laboratorio, así como diseñar actividades que induzcan a potenciar actitudes profesionales en el alumno. Para ello se han empleado todos los recursos de los que se disponen: pizarra, herramientas informáticas, entorno de enseñanza virtual WeCT y laboratorio.

En resumen, la metodología propuesta pretende conseguir un aprendizaje mediante la utilización conjunta de recursos que tradicionalmente no se emplean de manera acoplada y conjunta con un fin común, además de contextualizar la materia con aplicaciones de los distintos conceptos en el mundo profesional.

2. METODOLOGÍA

La propuesta que aquí se detalla pretende mejorar la calidad de la enseñanza, orientando la formación hacia el mundo laboral. Por otra parte, la próxima implantación del EEES exige el desarrollo de nuevas metodologías docentes para una formación más centrada en el alumno. La reforma del sistema educativo universitario está dirigida a garantizar la inserción laboral del titulado. Para ello la actividad docente debe orientarse a la adquisición de las competencias necesarias y hacer realidad la filosofía del aprender a aprender.

De acuerdo con esto, la experiencia que se ha llevado a cabo en las asignaturas de Máquinas Eléctricas y de Tracción y Accionamientos Eléctricos pretende completar

la formación del alumno, integrando en lo posible la teoría con la práctica, a fin de hacerle llegar de una forma más clara, atractiva y contextualizada la materia de las asignaturas implicadas, además de ir introduciendo aspectos que serán de utilidad cuando posteriormente se incorpore al mundo laboral, como son la realización de análisis y selección de componentes para realizar un accionamiento eléctrico, empleando en el proceso novedosas herramientas de cálculo y simulación. La utilización de herramientas informáticas tiene especial interés ya que está orientada a introducir al alumno en el campo de las simulaciones, tan empleadas en la ingeniería y tan poco utilizadas durante el periodo de estudios, y cuya integración con el trabajo experimental de laboratorio refuerza la comprensión del funcionamiento físico del sistema analizado. Por tanto, la metodología propuesta se basa en el diseño de actividades que permitan a los alumnos adquirir dichas competencias, haciendo que el papel del docente pasa a un plano más de orientador de la tarea que de fuente de conocimientos, pasando el testigo a los alumnos que se convierten en agentes activos. En particular, se ha optado por una estrategia didáctica que desarrolla de forma paralela los contenidos teóricos y prácticos, y que a la vez incluye los juegos de rol como herramienta docente, donde se realiza un proyecto colaborativo en el que los alumnos interpretan el papel de ingenieros en una situación profesional realista.

La estrategia propuesta se ha empleado en años anteriores en la asignatura de Tracción y Accionamientos Eléctricos de 5º curso con resultados muy aceptables, y dado que el objetivo final es formar al alumno en el accionamiento de máquinas eléctricas, principalmente del motor de inducción, se consideró razonable extender dicha metodología a la asignatura de Máquinas Eléctricas de 4º curso y que establece muchos de los conceptos básicos que se emplean en la asignatura de 5º curso. Con este punto de vista global del objetivo final que se quería alcanzar, se decidió reorganizar y enfocar algunos aspectos de la docencia de ambas asignaturas como si se tratase de un único temario. Con esta perspectiva fue necesario plantear cuáles podrían ser los objetivos iniciales a alcanzar en cada una de las asignaturas:

- Objetivos en la asignatura de Máquina Eléctricas (4º):
 - * Establecer y afianzar los conceptos básicos necesarios de las máquinas eléctricas, con especial interés en los empleados en la asignatura de 5º curso.
 - * Primera aproximación al trabajo en equipo.
 - * Primera aproximación al manejo de catálogos de fabricantes.
 - * Primera aproximación al uso de herramientas informáticas para la realización de presentaciones y cálculos matemáticos.
 - * Primera aproximación a la exposición pública del resultado de su trabajo.

- Objetivos en la asignatura de Tracción y Accionamientos Eléctricos (5º):
 - * Establecer y afianzar los fundamentos básicos del accionamiento de máquinas eléctricas, enfatizando los aspectos prácticos necesarios en el desempeño profesional.
 - * Consolidar las actitudes del trabajo en equipo.
 - * Completar el manejo de catálogos de fabricantes con el uso de otros idiomas.
 - * Introducción a las herramientas de simulación y adquisición de datos.
 - * Reforzar la experiencia en la exposición de datos frente a un público.

En la elección de estos objetivos se tuvo en cuenta que algunas de las habilidades más valoradas por los empleadores, son la capacidad para aprender, la capacidad de análisis y síntesis y la capacidad para aplicar el conocimiento en la práctica, por lo que con ellos se pretende fomentar las competencias y habilidades que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Competencia y habilidades que se pretenden desarrollar.

Competencias genéricas	Trabajo en equipo
	Obtención de información
	Evaluación, interpretación y síntesis de la información
	Resolución de problemas
	Toma de decisiones
	Comunicación y expresión oral
	Presentación de material técnico ante audiencia
	Manejo de idiomas
	Creatividad
Competencias específicas	Comprensión y conocimiento de conceptos de la asignatura
	Aplicación de tales conocimientos en la resolución de problemas
	Manejo y comprensión de catálogos técnicos
	Instalación y uso de inversores
	Uso de computadores para adquisición y procesado de datos
Realización de simulaciones de control por ordenador	

Para conseguir estos objetivos se estableció un esquema de trabajo común para ambas asignaturas, con cuatro vías a desarrollar paralelamente en el tiempo, y establecidas de tal forma que se complementen entre sí, cuyo cronograma se muestra en la Tabla 2. Básicamente consiste en proponer al alumno una serie de actividades a

desarrollar de forma paralela a la evolución de las clases magistrales, y que están específicamente orientadas a la aplicación y consolidación de los conceptos presentados en la teoría, así como a la adquisición de las competencias citadas anteriormente. De esta manera se busca potenciar el trabajo continuado del alumno a lo largo del cuatrimestre, estableciendo actividades que le hagan la asignatura más atractiva dotándola de un trasfondo más profesional que el mostrado hasta el momento en el resto de asignaturas de la titulación.

Tabla 2. Cronograma de sesiones programadas.

Mes 1	Mes 2	Mes 3
Desarrollo normal de la teoría mediante clases magistrales		
Introducción	Documentación y análisis	Presentaciones
Laboratorio	Cálculos y análisis	
	Simulación Análisis	

En concreto se proponen tres tipos de actividades, cuyo cronograma es establecido en base a la evolución del temario en las clases magistrales y del desarrollo de las propias actividades propuestas. Tanto para la asignatura de Máquinas Eléctricas de 4º curso como para Tracción y Accionamientos Eléctricos de 5º se establecieron los siguientes tipos de actividades:

- Trabajo de documentación y análisis: El objetivo de la actividad es dotar al alumno de práctica en la selección y manejo de información técnica de comerciales y fabricantes de maquinaria, así como la adquisición de las competencias descritas anteriormente, fomentando el papel activo del alumno. En concreto se propone a los alumnos la realización de una situación profesional realista en la que simulan competir por la adjudicación de un proyecto, para lo cual es necesario realizar una primera sesión introductoria para establecer las condiciones de realización del ejercicio. En ella se establecen grupos de dos personas a las que se les asigna un fabricante determinado, indicándoles que el ejercicio consiste en obtener información del fabricante a cerca del equipo objeto de estudio (motor de inducción para Máquinas Eléctricas de 4º y un inversor para la asignatura de Tracción y Accionamientos Eléctricos de 5º), con el fin de estudiar y analizar la documentación encontrada para la realización final de una presentación ante el resto de alumnos y el profesor en la que presentarán las principales características y ventajas del equipo propuesto. Para ello deberán realizar una labor de investigación para la resolución del problema práctico. Esta sesión introductoria se establece al

inicio del cuatrimestre con el fin de que las tareas de documentación y análisis se realicen de forma paralela al desarrollo de la teoría, de modo que los contenidos expuestos en las clases magistrales les sirvan para comprender la información que van obteniendo de los fabricantes. De esta manera el alumno ejercita y pone en práctica los conocimientos teóricos adquiridos, además de introducirse en el ámbito de la investigación y desarrollar sus habilidades expositivas y de comunicación.

- Sesiones de laboratorio y simulación: Esta segunda actividad está orientada al análisis y comprensión de los conceptos teóricos y prácticos desarrollados en clase, así como de la información que están analizando de los fabricantes. Los alumnos dispondrán de dos sesiones complementarias de laboratorio. Ambas sesiones están enfocadas a modo de talleres complementarios de autoaprendizaje, en las que, aún existiendo un cierto guión preestablecido, los alumnos pueden realizar las actividades y cuestiones que crean necesarias a fin de completar y aclarar aspectos relacionados con la elaboración de los trabajos asignados. En la primera trabajan con un puesto de pruebas dotado con el equipo objeto del estudio (motor de inducción en Máquinas Eléctricas de 4º y un inversor para la asignatura de Tracción y Accionamientos Eléctricos de 5º), adquiriendo y analizando las principales señales y magnitudes del sistema, comprobando, además, las distintas funciones del equipo. En la segunda práctica realizan simulaciones en ordenador de algunas de las características principales del elemento de estudio. Los datos obtenidos tanto en los talleres como en las sesiones de simulación se incluirán en la presentación final como hipotéticos resultados de pruebas realizadas al equipo estudiado, a fin de dar a los trabajos un enfoque más profesional. La importancia de estos talleres de autoaprendizaje y simulación estriba principalmente en dar la posibilidad al alumno de poner en práctica los conocimientos que está adquiriendo de forma práctica, dotándolos de un trasfondo orientado a la experiencia laboral, haciendo más atractiva la asignatura.

Finalmente, los trabajos desarrollados son expuestos por los alumnos representando el papel de técnicos de los fabricantes adjudicados, en sesiones en las que el resto de alumnos junto con el profesorado valoran los trabajos presentados a través de un cuestionario y seleccionan al fabricante que realizará el proyecto final. La nota final del trabajo será la media de la puntuación dada por los profesores con la media obtenida de los alumnos. Estas valoraciones afectan a la nota final del parcial en un porcentaje relevante (puntuación del examen hasta 8 puntos y trabajos hasta 2 puntos). Estas sesiones además proporcionan un entorno adecuado para el debate entre los participantes.

Por otro lado, y con el fin de facilitar el desarrollo de las tareas propuestas proporcionando documentación y aclarar las dudas que van surgiendo durante la realización del caso práctico, se solicitó a la Universidad de Sevilla la apertura en el entorno virtual WebCT de cursos asignados a las asignaturas de Máquinas Eléctricas y Tracción y Accionamientos Eléctricos. En dicho entorno se proporcionó toda la documentación relacionada con los trabajos y ejercicios propuestos, así como la habilitación de un foro y un chat en el que profesor y alumnos participan en el planteamiento y resolución de las dudas que surgieron tanto en los trabajos como en la teoría, proporcionándose así un entorno para el debate. En la documentación aportada y las consultas realizadas también se incluyen aclaraciones y recomendaciones a la hora de preparar y realizar la exposición pública de los trabajos. De esta manera se crea a su vez una base de datos de cuestiones y dudas que sirve de consulta para el resto de grupos. A su vez, el entorno virtual fue de gran ayuda al profesorado para la elaboración de encuestas de opinión acerca de la nueva metodología, así como la creación de estadísticas del uso que habían hecho los alumnos de dicho entorno. Todo ello con el fin de analizar y comprobar la aceptación que este método había tenido por parte de los alumnos.

Para poder llevar a cabo esta metodología fue necesario un trabajo previo ampliamente multidisciplinar, lo que exigió la intervención y coordinación de profesores de las distintas asignaturas involucradas en la actividad. Entre las tareas realizadas se encuentran:

- Hacer una evaluación del temario para valorar qué aspectos son adecuados para presentarse de un modo u otro. Además, realizar las adaptaciones oportunas en cuanto a cronología y contenidos.
- Diseño de actividades complementarias a las clases magistrales con las que implicar al alumno en su proceso de aprendizaje, como la simulación de experiencias profesionales mediante actividades de trabajo en grupo, o el uso de idiomas.
- Adaptar el trabajo en el laboratorio a las nuevas necesidades, tanto en contenidos como en desarrollo de los mismos. Principalmente, diseño de nuevos montajes a modo de taller de autoaprendizaje y evaluación de los temas desarrollados en las nuevas actividades introducidas.
- Creación de los contenidos para el entorno de enseñanza virtual, así como de los materiales y aplicaciones informáticos necesarios para la docencia y desarrollo de las distintas actividades propuestas.
- Contextualizar las situaciones prácticas para hacerlas más cercanas y atractivas.

Por último, destacar que esta experiencia proporciona información para establecer y valorar el trabajo realizado y competencias a potenciar en la futura implantación del EEES.

3. DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

El desarrollo de la experiencia se realizó de acuerdo al cronograma de la Tabla 2, en el que se establece un calendario para realizar paralelamente en el tiempo las distintas actividades propuestas. Concretamente cabe destacar las siguientes fases:

- Sesión de introducción.
- Ensayos en laboratorio.
- Simulación mediante PC.
- Realización de exposiciones.

Dado que el esquema de trabajo es el mismo tanto para la asignatura de Máquinas Eléctricas como para la de Tracción y Accionamientos Eléctricos, a continuación se procede a la descripción detallada de las tareas realizadas en la asignatura de Tracción y Accionamientos Eléctricos de 5º curso, comentando las diferencias respecto a la asignatura de Máquinas Eléctricas de 4º al final del apartado.

3.1. Sesión introductoria

Para establecer las bases de la actividad, se realiza una primera sesión de introducción. Al comienzo de la misma se desarrolla una sesión teórica en la que se introducen términos y conceptos técnicos relativos a las características principales a tener en cuenta en la selección de un convertidor de potencia, aspectos que todavía no han llegado a desarrollarse en las clases teóricas. Con ello se pretende facilitar la comprensión de la información que encontrará el alumno en su trabajo. Una vez realizada la sesión de introducción teórica se procede a exponer el caso práctico que deben resolver. Como se indicó anteriormente, el ejercicio propone una situación realista. En particular, se plantea una puesta en escena en la que la gerencia de un complejo hotelero decide realizar mejoras en las siguientes instalaciones: Ascensores y elevadores, sistema de climatización y control de accesos y puertas automáticas. Para ello deciden instalar de inversores para el accionamiento de motores de inducción de las mismas y convocan un concurso para adjudicar la ejecución del proyecto a una empresa. Concretamente las empresas seleccionadas y la instalación asignada a cada una de ellas se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Instalación asignada a cada empresa.

Instalación	Empresas
Ascensores y elevadores	O y S
Sistema de climatización (HVAC)	A y D
Control de accesos y puertas automáticas	C y T

El papel de los alumnos en esta puesta en escena es la de técnicos de cada fabricante. En esta sesión introductoria se establecen grupos. Para hacer más verosímil el ejercicio propuesto, a cada grupo (fabricante) se le facilitan datos tanto de la máquina a accionar como de las condiciones en las que se desea realizar la instalación del convertidor, quedando muy definido el modelo concreto (dentro de la gama) más adecuado para cada tipo de instalación, que deberá ser convenientemente identificado mediante su código de selección. Los principales datos de partida para cada caso son: tipo de instalación, alimentación disponible, potencia nominal del motor a accionar, nivel de protección IP, dimensiones y peso máximo, protecciones incorporadas y opcionales, filtros incluidos y opcionales, opciones de frenado, tipo de control y opciones de programación y comunicación.

Por otro lado, se establecen en esta sesión los contenidos mínimos que debe incluir la presentación, dejando la posibilidad a los ponentes (alumnos) de incorporar otros más. Con esto se pretende dotar de una cierta uniformidad a las presentaciones y facilitar su comparación, además de establecer un guión que les ayude en la gestión de la documentación utilizada. Estos contenidos fueron seleccionados teniendo en cuenta su utilidad para permitir la evaluación de los convertidores, así como la comparación entre los mismos. Concretamente se estableció el siguiente índice:

1. Breve presentación inicial de la compañía.
2. Gama de convertidores para motores de inducción trifásicos de baja tensión, indicando rango de potencias y tipos de cargas aplicables.
3. Presentación y desarrollo del modelo propuesto para la instalación seleccionada, indicando al menos las siguientes características:
 - * Herramientas de programación y parametrización (ejemplo).
 - * Tipos de control/es empleado/s en el convertidor.
 - * Posibilidades de comunicación.
 - * Posibilidades de frenado.
 - * Protecciones que incorpora.

- * Posibilidad de filtros RFI (Radiofrequency Interference).
- * Otras opciones.
- * Principales diferencias con otros fabricantes.

Asimismo, se introducen una serie de normas y recomendaciones para la correcta realización de presentaciones, tanto desde el punto de vista de la creación de transparencias como la exposición oral, ya que, aún siendo alumnos de 5º curso, para la mayoría de ellos es la primera vez que se enfrentan a un trabajo de estas características. También se hace hincapié en que se valorarán tanto el aspecto de la presentación como el contenido de la misma, haciendo énfasis en la presentación de la información de manera completa, clara y concisa.

Finalmente, se establece el calendario de fechas para la realización de las presentaciones, así como el reparto de los grupos en ambas sesiones y el orden de sus exposiciones. Se estimó que el tiempo necesario para la realización del ejercicio no debía ser inferior a un mes, a fin de que los alumnos dispongan tiempo suficiente para la recopilación de información y realización del trabajo.

3.2. Ensayos en laboratorio

Como ejercicio complementario al caso práctico propuesto, se realiza una sesión de laboratorio a modo de taller de autoaprendizaje en la que se llevan a cabo diversos ensayos con un inversor real. Esta práctica tiene los siguientes objetivos:

- El manejo de un inversor por parte de los alumnos, analizando su constitución, instalación, parametrización y funcionamiento como accionamiento de un motor de inducción.
- Análisis cualitativo y captura de las principales señales del sistema mediante tarjeta de adquisición conectada a un PC.
- Análisis de las señales adquiridas mediante MATLAB.

Con ello se brinda a los alumnos la oportunidad de comprobar y poner en práctica algunos de los aspectos que deben evaluar en el proceso de selección del inversor de la instalación asignada. Para ello, antes de la realización de la práctica, se les entrega una memoria que contiene un resumen de la descripción de los principales aspectos del inversor utilizado, así como del montaje y ensayos a realizar. También se les entrega una copia del manual completo del inversor para que se familiaricen con el lenguaje técnico. El montaje realizado puede verse en la Figura 1.

Al comienzo de la sesión se realizan algunas consideraciones sobre las principales características que destaca el manual del inversor, como son:

- El esquema interno del equipo, comprobando que es un inversor en fuente de tensión y observando la situación de cada uno de sus componentes en el mismo (puente rectificador, condensador y puente inversor).
- Terminales para realizar la conexión de la alimentación trifásica o monofásica.
- Descripción de algunas de las señales de entrada y salida analógicas y digitales que dispone explicando su utilidad.
- Funcionamiento del panel de control frontal (puesta en marcha y parada, variación de velocidad, cambio del sentido de giro, programación de parámetros).
- Análisis de algunos de los principales parámetros programables, como el selector del parámetro a visualizar en la pantalla, rampas de aceleración y frenado, selección del modo de control de la frecuencia, selección del modo de control, introducción de características del motor accionado, códigos de fallo, etcétera.

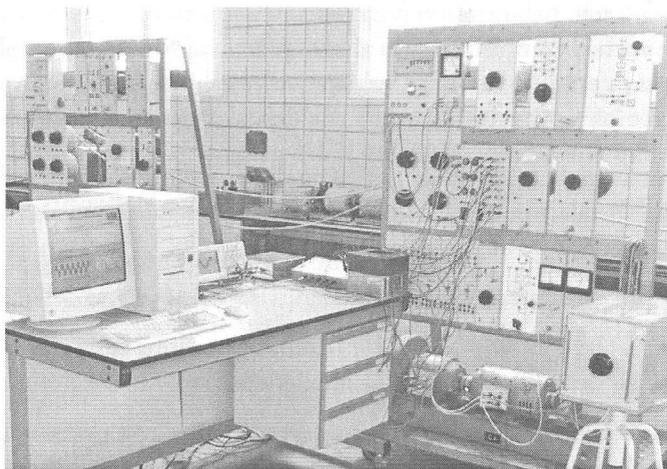


Figura 1. Montaje de la práctica.

Seguidamente se procede a la descripción del puesto de trabajo montado en el laboratorio (Figuras 1 y 2). En él se dispone de un inversor Siemens Micromaster 400, alimentado a tensión trifásica de 380 V, 50 Hz, para accionar un motor AEG

de inducción trifásico de 600 W. Para la realización de ensayos con el motor en carga, éste acciona a su vez un generador de corriente continua que alimenta una carga resistiva variable, con la que se controla el par resistente del motor de inducción. Durante la realización de la práctica será necesario adquirir, medir y representar las tensiones e intensidades del sistema, para lo cual es necesario el uso de sensores de efecto Hall para las intensidades y un adaptador de tensiones. Ambos instrumentos adaptan las magnitudes reales a un rango entre -5 V y +5 V, con el fin de representar sus formas de onda en un osciloscopio con facilidad. Con esto también se consigue adaptar el nivel de estas señales al admisible por la tarjeta de adquisición de datos, con la que se realizará la adquisición de dichas señales para su monitorización y análisis mediante PC. Con este mismo objetivo se adquiere igualmente una de las salidas programables del convertidor, a través de la cual se informa del valor de algunas de las magnitudes del sistema.

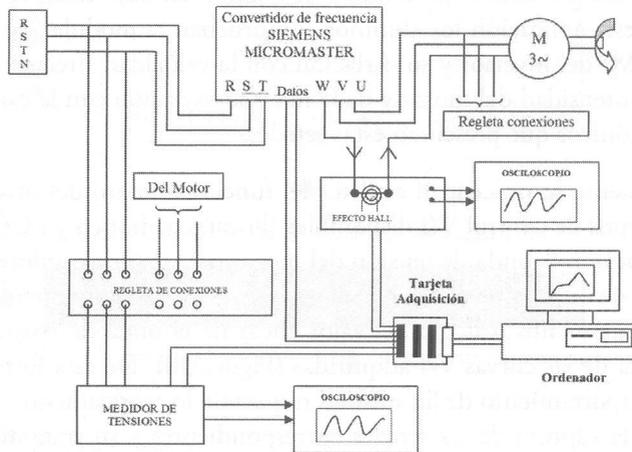


Figura 2. Esquema del montaje realizado.

En primer lugar, se realiza la adquisición de las tensiones e intensidades del convertidor y motor mediante la tarjeta de adquisición de datos. Para ello disponen de un programa desarrollado mediante el programa Softwire que permite capturar las formas de onda de las tensiones e intensidades citadas. Este entorno también realiza el análisis de armónicos de dichas ondas, además de presentar la evolución del par al variar la carga accionada (Figura 3a).

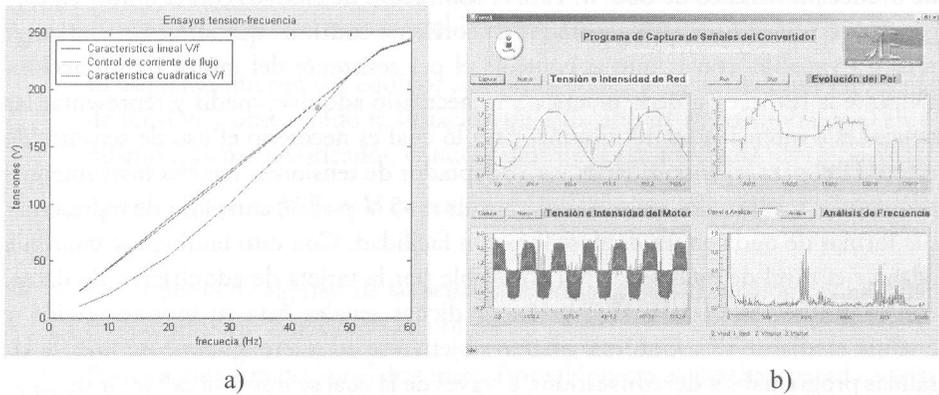


Figura 3. a) Programa de adquisición de señales. b) Curvas V/f adquiridas.

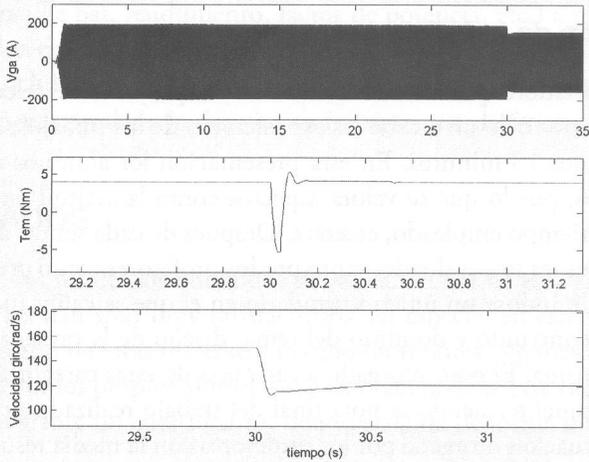
El programa presenta la posibilidad de guardar en hoja Excel las capturas realizadas. Con esta aplicación los alumnos comprueban la modulación de anchura de pulsos (PWM) del inversor y su variación con la velocidad (frecuencia), las formas de onda de intensidad del motor y de la red y su variación con la carga, así como el nivel de armónicos que presentan estas señales.

Seguidamente se procede al análisis del funcionamiento del inversor para cada uno de los tipos de control V/f disponibles (lineal, cuadrático y FCC). Para ello los alumnos capturan la onda de tensión del motor para distintos valores de frecuencia en cada uno de los modos de control citados, para posteriormente realizar mediante Matlab el tratamiento (cálculo del valor eficaz de la onda de tensión) y representación gráfica de las curvas V/f adquiridas (Figura 3b). De esta forma se verifica el correcto comportamiento de las mismas respecto a lo teóricamente esperado. Igualmente, con la captura de las señales correspondientes y su tratamiento computacional, puede realizarse una estimación de la potencias absorbida y cedida por el inversor para el cálculo de su rendimiento. El resultado de estos ensayos se añade al proyecto de selección del inversor como hipotéticos resultados de ensayos realizados al modelo propuesto, a modo de verificación de sus características.

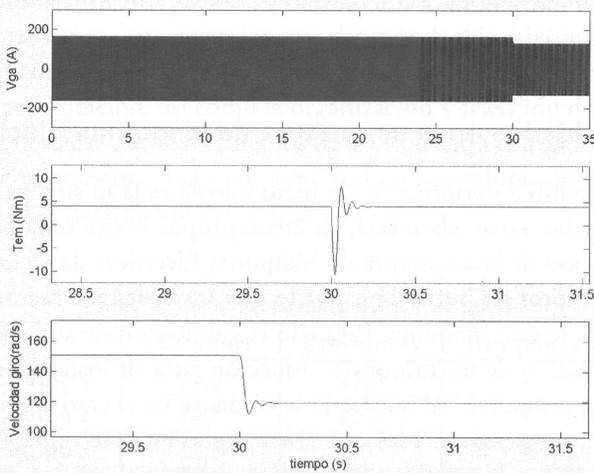
3.3. Simulación en PC

La siguiente práctica busca completar la anterior mediante el análisis y comparación del comportamiento del control V/f en bucle abierto y en bucle cerrado

mediante la herramienta de simulación de Matlab denominada Simulink. Para ello, los alumnos tienen información de los principales parámetros del sistema, así como el modelo dinámico del motor de inducción en el control en bucle abierto, debiendo obtener el diagrama del sistema en bucle cerrado.



a)



b)

Figura 4. a) Control V/f en bucle abierto. b) Control V/f en bucle cerrado.

Posteriormente deben ejecutar ambos casos para unas condiciones dadas, y proceder a la comparación y análisis de ambas soluciones en cuanto al error de velocidad, sobreoscilación de par y velocidad, y tiempo de amortiguamiento de par y velocidad (Figura 4). Las conclusiones obtenidas de estos análisis son también incluidas en el proyecto de selección del inversor como resultados de simulaciones realizados con el modelo elegido, a fin de completar los ensayos anteriores.

3.4. Exposición de trabajos

Una vez finalizado el periodo de realización del proyecto de selección y los ensayos de laboratorio se llevan a cabo las exposiciones de los trabajos, con un tiempo establecido de unos 15 minutos. En esta presentación los alumnos desempeñan el papel de técnicos, por lo que se valora aspectos como la actitud en la exposición, claridad y rigor, tiempo empleado, etcétera. Después de cada sesión de presentación los alumnos ponentes son evaluados tanto por los profesores como por el resto de sus compañeros, utilizándose un único formulario en el que se califican tres categorías fundamentales: contenido y dominio del tema, diseño de la presentación y comunicación de la misma. El peso otorgado a cada una de estas categorías es del 50, 30 y 20% respectivamente, siendo la nota final del trabajo realizado por el alumno la media de la puntuación otorgada por los profesores con la media resultante del resto de compañeros. Para motivar y gratificar el trabajo continuado realizado durante la elaboración de los proyectos, la nota final del cuatrimestre se estipuló como la suma de la nota del examen (valorada con un máximo de 8 puntos) y la nota del proyecto (valorada con un máximo de 2 puntos).

3.5. Particularidades en la asignatura de Máquinas Eléctricas

Como se comentó anteriormente, la metodología es la misma para las dos asignaturas involucradas, salvo, claro está, las tareas propuestas en cada una de ellas. En particular, en el caso de la asignatura de Máquinas Eléctricas de 4º curso, el equipo de estudio es el motor de inducción, por lo que los ejercicios fueron enfocados al análisis y estudio de esta máquina. Para ello la simulación de situación profesional se basó en la selección de un motor de inducción para su instalación en un determinado proceso productivo. Al igual que se comentó en el caso anterior, se establecieron grupos de dos personas a las que se les asignó un determinado fabricante de motores de inducción, de cuya documentación deben realizar una exposición en la que tienen que “vender” su producto. Así mismo, se diseñaron las correspondientes experiencias de laboratorio y simulación, en este caso orientadas a analizar y simular

las principales señales involucradas en el funcionamiento de dicha máquina. En concreto se dispuso un puesto de pruebas donde realizar los principales ensayos de funcionamiento de la máquina de inducción (ensayos de vacío, en carga, de rotor bloqueado, arranque directo, arranque en estrella-triángulo, etc.), analizando los valores y características de las principales magnitudes del sistema. Así mismo, se propuso un ejercicio de simulación en la que los alumnos debían realizar diversas representaciones gráficas de las principales curvas características de los motores de inducción (curva de par, rendimiento, factor de potencia, etc.) a partir de los datos obtenidos de los ensayos en laboratorio con la máquina real. Los resultados obtenidos fueron incluidos en los trabajos de exposición final, que fueron realizados y evaluados de forma similar a lo descrito en la asignatura de 5º curso.

4. RESULTADOS

En general, los resultados obtenidos de la realización de esta experiencia en los últimos tres años han sido muy satisfactorios, en especial en este último curso, ya que se han aplicado mejoras respecto a los años anteriores, algunas de las cuales fueron propuestas por los propios alumnos. La valoración de la experiencia la realizaron los alumnos mediante un cuestionario, siendo acogida de forma muy positiva.

Un análisis de los trabajos mostró que todos los grupos siguieron el guión que se les facilitó inicialmente, aunque localizando la información de manera ligeramente diferente. Incluso, en algunos casos se añadió información adicional. También, a diferencia de otros años, una posterior comparación con la documentación que manejaron puso de manifiesto un alto ejercicio de reflexión previa sobre los contenidos a incluir en la presentación, así como la organización y selección de los mismos. Por otro lado, cabe destacar que los resultados de la evaluación realizada por los alumnos a sus compañeros presenta una gran similitud con la valoración de los profesores (Tabla 4), siendo generalmente más críticos.

Tabla 4. Valoración de trabajos de 0 a 32 puntos.

	Alumnos	Profesores	Diferencia (%)
Equipo 1	24,6	25,6	-3,91
Equipo 2	24,5	25,2	-2,78
Equipo 3	18,5	19	-2,63
Equipo 4	23,1	22,4	3,13
Equipo 5	24,9	22,9	8,73
Equipo 6	22,5	24,5	-8,16

Otro aspecto importante a evaluar era la influencia de la experiencia en el examen parcial. Se ha observado un descenso en el número de suspensos que ha pasado de un 50% del curso anterior a un 25% en este curso, lo cual podría deberse a la mayor motivación que mostraron los alumnos al proporcionar la experiencia una perspectiva más realista de los contenidos de la asignatura. Además, el peso de la nota otorgado a los trabajos redujo finalmente al 15%.

Tabla 5. Encuesta de evaluación de la actividad.

Test cualitativo puntuado de 0 a 10	
Motivación	8,75
Cooperación	9,79
Rol activo	8,13
Creatividad	7,71
Aprendizaje por descubrimiento	7,29
Adecuación de la metodología	6,04
Atención profesor	7,13
Utilidad de e-mail y foro	8,13
Impresión global	8,75

Después de la realización de las presentaciones se llevo a cabo una encuesta de evaluación de la actividad, puntuada de 0 a 10, en la que se incluían aspectos relativos a la motivación, actitudes de cooperación, rol activo del alumno, actitudes creativas, aprendizaje por descubrimiento y adecuación de la metodología. También se les pidió valorar la atención prestada por el profesorado y la utilidad de las vías de comunicación empleadas para la resolución de dudas (Tabla 5). Analizando los resultados de la misma, se concluye que la experiencia ha sido más interesante y educativa que las prácticas convencionales, a pesar del esfuerzo realizado. Además, se demuestra que el trabajo en equipo ha funcionado y los alumnos están satisfechos con el mismo. Asimismo, ven muy positivo la realización de presentaciones para el perfeccionamiento de sus habilidades comunicativas, y que éste trabajo esté valorado en el cómputo final del parcial. Finalmente, valoran de forma positiva la atención prestada por el profesor, así como la utilidad del correo electrónico y el foro como vías para la resolución de dudas.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado una actividad de innovación en la docencia de los Accionamientos Eléctricos, con el objetivo de que el alumno conozca las principales carac-

terísticas de los convertidores y máquinas comerciales, de modo que les facilite su elección según la aplicación. En las experiencias realizadas hasta la fecha, el grado de satisfacción obtenido por los alumnos es bastante alto, principalmente en términos de trabajo en equipo y en calidad de los conocimientos adquiridos. El trabajo desarrollado con esta metodología les parece más interesante que el de las prácticas convencionales, ya que se ven más motivados por estar orientada a la actividad laboral y, por supuesto, estar mejor valorada en la nota final de la asignatura. Al ser alumnos de últimos cursos, también valoran las capacidades obtenidas para las comunicaciones en público. Finalmente, la valoración de la metodología se considera bastante positiva desde los puntos de vista del alumno y profesor, en cuanto al logro de los objetivos. Por tanto, se puede concluir que la experiencia ha sido satisfactoria, abriendo nuevas vías para el desarrollo de experiencias que ayuden a realizar la transición al EEES en esta y otras asignaturas de la especialidad.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad de Sevilla el apoyo prestado a los profesores noveles dentro del programa de formación de profesores noveles, así como a través de la dotación de ayudas a la innovación en la docencia.

6. BIBLIOGRAFÍA

MOHAN, N., UNDELAND, T. M., ROBBINS, W. P. (2002). *Power Electronics: Converters, Applications and Design*. John Wiley & Sons Inc.

Joint Declaration of the European Ministers of Education (1999), "*The European Higher Education Area – Bologna Declaration*".