

EL USO DEL ORDENADOR COMO INSTRUMENTO PARA ENSEÑAR A MANEJAR SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES

Alfonso Pontes, Julio León, Pilar Martínez, Gerardo Pedrós y M^a. Salud Climent
Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba.
Fa1popea@uco.es

RESUMEN

En este trabajo vamos a presentar el estado de desarrollo de un proyecto de innovación educativa destinado a favorecer el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la formación científica y técnica de los estudiantes de Ingeniería. En concreto este proyecto se ha centrado en la elaboración y aplicación de un software educativo que permita a nuestros alumnos aprender a manejar un sistema de adquisición de datos (SAD) que después será utilizado como instrumento de medida de variables físicas en diversos procesos experimentales. Tras elaborar un primer prototipo del programa hemos comenzado a utilizar esta aplicación como instrumento de enseñanza virtual, en una fase previa al uso real del citado sistema de adquisición de datos por parte de los alumnos, en el desarrollo de experiencias de laboratorio. En este proceso hemos observado que el software elaborado contribuye a que los estudiantes comiencen a familiarizarse con la metodología experimental y el instrumental, antes de pasar a utilizarlo en la realización de experiencias reales.

1. INTRODUCCIÓN

En la educación científico-técnica cada vez están cobrando mayor importancia los procesos experimentales en los que se manejan sistemas de adquisición de datos controlados por ordenador^[1]. Sin embargo, hemos podido observar que a muchos estudiantes de los primeros cursos de Ingeniería les resulta difícil llegar a comprender adecuadamente la naturaleza de los métodos de experimentación y el funcionamiento instrumental de tales sistemas, debido al elevado grado de sofisticación que presentan este tipo de instrumentos.

Con relación a esta temática pensamos que el ordenador, entre otras muchas aplicaciones, también se puede utilizar para diseñar programas de simulación que favorezcan una visión más intuitiva de aquellos procesos experimentales que en su realización manual presentan mayores dificultades de comprensión a nuestros alumnos^[2]. Por tal motivo hemos comenzado a desarrollar un proyecto de trabajo destinado a elaborar un laboratorio interactivo de simulación por ordenador, que ayude a comprender el

fundamento y el modo de utilización de un sistema de adquisición de datos para el desarrollo de experiencias de Física.

En el desarrollo de este proyecto convergen las aportaciones de dos líneas de investigación diferentes: la utilización didáctica de programas de simulación para mejorar el aprendizaje de la Física ^[3] y la utilización de programas de ordenador para controlar sistemas de adquisición de datos experimentales obtenidos mediante distintos tipos de sensores físicos^[4]. Estas líneas de trabajo, que podrían desarrollarse de forma independiente, tienen dentro de este proyecto de trabajo un hilo conductor común que es la utilización de las nuevas tecnologías informáticas en el aprendizaje de la Física universitaria y en la formación científica de ingenieros ^[5].

2. EL ORDENADOR COMO INSTRUMENTO EN EL LABORATORIO DE FÍSICA

Dentro del amplio dominio de la Informática Educativa, el campo de la enseñanza asistida por ordenador (EAO) se centra en el diseño y aplicación de programas de todo tipo, que permitan utilizar el ordenador como ayuda o herramienta complementaria para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de un tema determinado o de una materia concreta^[2]. Pero el ordenador puede utilizarse también en el laboratorio científico como sistema de control de sensores físicos y de adquisición de datos en aquellos experimentos en los que se necesitan un gran número de éstos, pudiendo ser procesados además con programas del propio ordenador^[6]. Tales aspectos se describen con mayor profundidad a continuación.

En la actualidad, los fabricantes de material de laboratorio de Física van incluyendo cada vez mayor número de equipos experimentales que llevan ordenadores acoplados, los cuales recogen y tratan los datos experimentales, a partir de los cuales se pueden realizar simulaciones, construir gráficas que muestran la relación entre variables o realizar cálculos y ajustes de diferente tipo que ayudan al estudiante en el desarrollo de la experiencia. Esta aplicación de los ordenadores puede ser muy útil en la enseñanza experimental de la Física y en la formación de ingenieros, a nivel básico y avanzado, ya que puede servir de introducción al interesante dominio de la automatización que tiene tanta importancia en la Ingeniería moderna^[7].

En los últimos años ha tenido lugar un desarrollo importante de los sistemas informatizados para la adquisición y tratamiento de datos experimentales, así como para el control de aparatos e instrumentos, porque se han desarrollado equipos potentes y asequibles que han permitido la incorporación inmediata de estos sistemas al ámbito industrial y científico. Paralelamente, también han aparecido equipos experimentales dirigidos a la enseñanza de carácter científico o técnico que han pasado a formar parte del catálogo de instrumentos de laboratorio. En diversos países avanzados los principales fabricantes de material experimental han desarrollado sistemas de adquisición de datos que ya forman parte de los equipamientos habituales de algunos centros educativos^[4]. En España se han desarrollado varios equipos de adquisición y tratamiento de datos, algunos de ellos bajo el patrocinio de las distintas administraciones educativas, tales como el equipo SADEX producido por ALECOP que es una cooperativa especializada en la fabricación de

material didáctico de tipo experimental. Este equipo tiene varios modos de funcionamiento y, entre otras posibilidades, puede funcionar de forma autónoma (portátil) o conectado al ordenador, con un repertorio de sensores bastante amplio. Los otros equipos de experimentación asistida por ordenador (EXAO) disponibles en el mercado son de fabricantes extranjeros y están comercializados a través de los representantes correspondientes en nuestro país ^[8, 9].

Un sistema de adquisición de datos controlados por ordenador es un dispositivo de medición que permite que los datos obtenidos con sensores de diversas magnitudes físicas sean leídos automáticamente y almacenados por un ordenador ^[1]. El ordenador, provisto de una interfase apropiada y de un programa de adquisición y análisis, permite a su vez procesar y monitorear en tiempo real las variables relevantes del sistema físico en estudio. En muchos laboratorios científico-técnicos, al igual que en las industrias modernas, se utilizan diversas interfases y sensores electrónicos para medir distintos parámetros de cualquier tipo. Tales sensores son los elementos que transforman la magnitud que se desea medir en una señal eléctrica.

En general, cada sensor necesita un pequeño circuito auxiliar para amplificar o ajustar la señal eléctrica. Dicha señal se envía a un circuito más complejo, llamado interfaz o interfase, que la transforma en una secuencia de valores digitales de tensión que el ordenador puede leer, almacenar y procesar. El repertorio de sensores que existe en la actualidad es muy amplio en cualquier equipo experimental asociado a un SAD. De hecho, hay sensores disponibles para medir cualquier magnitud física, química, o biológica imaginable ^[8, 9] y es frecuente encontrar en los laboratorios docentes que utilizan SAD sensores de temperatura, de presión, de conductividad, de medida de pH, de campo magnético, de intensidad luminosa, de posición, etc.

Como se ha indicado antes los sensores o transductores permiten transformar una magnitud de cualquier tipo en una señal eléctrica. Esta señal llega al ordenador que analiza y almacena dicha información, operando en forma digital. Esto significa que la información que se procesa y almacena es una secuencia de números binarios (0 y 1). Asimismo las entradas y salidas del ordenador, es decir, las señales que recibe o envía a través de sus puertos, son también digitales. En cambio, la mayoría de las señales del mundo físico son generalmente continuas en el tiempo, es decir, son señales analógicas como la temperatura, la velocidad, la posición de un móvil, la intensidad de corriente eléctrica, el campo magnético, etc. Por tanto, para que un ordenador digital pueda recibir e interpretar una señal representativa de una variable física, es necesario que exista entre el sensor analógico y el ordenador una interfase que convierta la señal analógica en digital.

Existe toda una familia de dispositivos electrónicos que realizan esta conversión y se conocen con el nombre genérico de Conversores Analógico a Digital (ADC). A veces es útil realizar la operación inversa, es decir, transformar una señal digital en analógica. Los dispositivos que realizan esta operación se denominan Conversores Digital a Analógico (DAC). Algunas versiones comerciales de interfases vienen provistas de un ADC con amplificadores y multiplexores. Estos últimos permiten usar el mismo amplificador y ADC para tomar datos de varias señales simultáneamente. Desde luego también es necesario disponer de algún software o programa de control, que permita

configurar el sistema, elegir la tasa de adquisición de datos, los rangos admisibles, la finalización de la adquisición, etc. El máximo número de señales que un sistema de toma de datos puede adquirir en forma simultánea define el número de canales del mismo ^[1].

Algunas veces tratamos señales del mundo físico que son discretas, por ejemplo, aquellas que vienen de un fotointerruptor, una llave, el ratón de un ordenador, etc. En estos casos no es necesario usar un ADC y la señal se puede adquirir directamente por alguna compuerta estándar del ordenador (puertos serie o paralelo). Algunos modelos de interfaces disponen de un cierto número de entradas digitales que, si bien no requieren de un ADC, están integradas en el mismo dispositivo de adquisición para unificar el control y adquisición de datos. En una placa de adquisición la precisión de la conversión depende de la resolución del ADC o número de bits de la misma, y de la linealidad de la conversión efectuada. La ganancia del amplificador de entrada y los corrimientos de la señal de entrada (offset) también afectan la precisión del sistema de adquisición de datos. En el proceso de digitalización se crea una señal digital D (que se transfiere al ordenador) a partir de una señal analógica A (que proviene del sensor) y la relación entre ambas responde a una ecuación física expuesta en los manuales sobre el tema ^[7].

La utilización de sistemas informáticos de adquisición de datos y sensores para mejorar la enseñanza experimental de la Física ofrece interesantes posibilidades en el campo de la formación de ingenieros, debido a que permite desarrollar trabajos de diferente nivel formativo, tales como la realización de experiencias sencillas de laboratorio con fines docentes en los primeros cursos de los estudios de Ingeniería (donde se trata de familiarizar a los alumnos con el uso de los sensores y los programas de tratamiento de datos que proporcionan los equipos comerciales). Por otra parte, el uso de técnicas de simulación y control puede dar lugar al desarrollo de proyectos fin de carrera y la realización de investigaciones avanzadas relacionadas con la construcción de nuevos sensores, el diseño de interfaces o la elaboración de programas de ordenador, utilizando herramientas de programación de carácter general, o específicamente orientadas al diseño de aplicaciones relacionadas con temas de automatización y control de sistemas físicos o electrónicos.

El sistema de adquisición de datos que estamos utilizando en el desarrollo de esta parte del proyecto es el que proporciona la empresa PASCO ^[9], junto con un amplio conjunto de sensores y demás instrumentos de laboratorio incluidos en el mismo equipo experimental. Para utilizar dicho sistema es necesario conocer la forma en que se conectan al SAD los distintos sensores y saber utilizar los programas de ordenador que suministran los fabricantes, con el fin de diseñar experiencias de Física que puedan ser realizadas por los alumnos de los primeros cursos de Ingeniería, que es el objetivo que nos interesa alcanzar en esta parte de la investigación. Sin embargo el manejo de tales herramientas informáticas y experimentales no resulta fácil de entrada a nuestros alumnos, debido a que se trata de un equipo relativamente sofisticado. Por tal motivo, es por lo que hemos elaborado un sistema tutorial y un programa de simulación, que ayude a los alumnos a superar tales dificultades.

3. DISEÑO DE UN PROGRAMA DE SIMULACIÓN PARA APRENDER A MANEJAR UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Tras describir la naturaleza de los sistemas de adquisición de datos experimentales, y su importancia para la enseñanza de la Física experimental, a continuación vamos a exponer el proceso seguido en la primera fase de este proyecto de investigación docente, que se ha centrado en desarrollar, a modo de prototipo inicial, una aplicación informática que permita simular el funcionamiento del sistema de adquisición de datos citado anteriormente, cuando se conecta a un sistema de sensores que permiten medir un amplio conjunto de variables en diversas experiencias de Física y Electrónica. Dicha aplicación consta de varias partes o módulos que se describen a continuación:

3.1. Tutorial

En este módulo se tiene acceso a un documento interactivo donde el usuario puede consultar todos los temas fundamentales sobre los sistemas de adquisición de datos, así como los aspectos más importantes sobre los laboratorios virtuales, las prácticas guiadas y las animaciones. Tales contenidos se exponen con un nivel de formulación conceptual que pueda ser comprendido por alumnos de los últimos cursos de bachillerato y de primer curso de la universidad. Como puede observarse en la figura 1, en realidad se trata de un hipertexto integrado por cuatro partes diferentes que se describen a continuación.

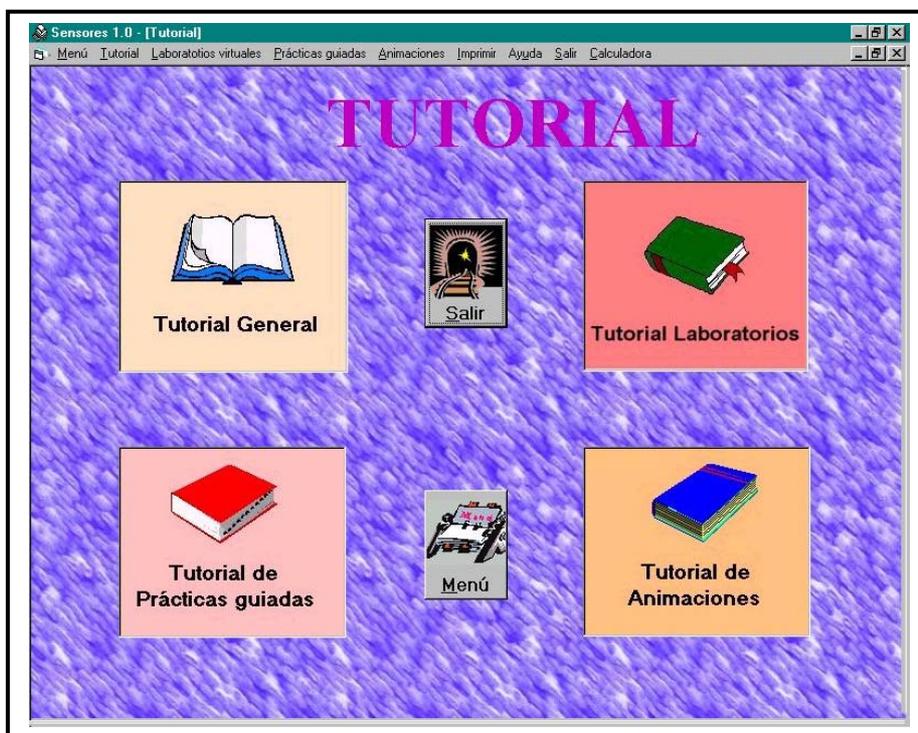


Fig.1: Ventana de acceso a las diversas partes del módulo tutorial.

En primer lugar existe un *Tutorial general*, donde se representan, con ayuda de dibujos y esquemas, los conceptos básicos del tema y las configuraciones más conocidas sobre sistemas de adquisición de datos. A continuación se dispone de un *Tutorial del laboratorio virtual*, donde se presentan los objetivos de las experiencias que se implementan en el módulo de laboratorios virtuales, se exponen los fundamentos teóricos de cada experiencia simulada, se aconsejan unos pasos a seguir en la realización de cada experimento virtual y, por último, se exponen las conclusiones que se derivan del experimento. También existe un *Tutorial de prácticas guiadas*, donde se presentan los objetivos de las experiencias que se implementan en el módulo de prácticas guiadas y se explica el procedimiento que debe seguirse para realizar una práctica real con ayuda del sistema de adquisición de datos y de los sensores o elementos físicos que sean necesarios. Por último, se dispone de un *Tutorial de las animaciones*, donde se presentan los objetivos y características de cada una de las aplicaciones prácticas de los sensores que se implementan en el módulo de animaciones, se exponen los fundamentos teóricos de cada aplicación y se explica la función de los diferentes controles relacionados con la ejecución de cada animación.

3.2. Módulo Laboratorios Virtuales

En este módulo se incluyen una serie de experimentos simulados, como el que se muestra en la figura 2, que tienen el objetivo de ayudar a los alumnos a adquirir conocimientos de carácter procedimental y a comprender mejor la naturaleza de las relaciones de tipo cuantitativo que existen entre las variables físicas, medidas con sensores y controladas por un sistema de adquisición de datos. Las experiencias simuladas se incluyen en un módulo independiente al que se puede acceder desde el menú principal o también desde el tutorial, mediante botones de enlace.

Dentro de este módulo se han implementado (por ahora) una serie de experiencias virtuales relacionadas con el manejo de sensores eléctricos, utilizados en la medida de variables relacionadas con el funcionamiento de sistemas eléctricos y electrónicos. En estas experiencias tratamos de simular el funcionamiento de la interface y de los sensores de voltaje, de intensidad de corriente y de carga eléctrica, de un equipo experimental basado en el sistema de adquisición de datos descrito anteriormente. En cada experiencia simulada de este módulo se muestran, de forma interactiva e instantánea, los cambios que se producen en diversas magnitudes del sistema, al modificar una variable cualquiera del mismo. Desde cada experiencia simulada se pueden abrir ventanas que dan acceso a tablas de datos experimentales, a gráficos que muestran la relación funcional entre diversas variables del circuito y a explicaciones sobre los fundamentos teóricos de la experiencia.

En el primer prototipo del programa se han simulado, dentro de este módulo, sólo experiencias relacionadas con el uso de sensores de medida de magnitudes eléctricas, con el fin de poder empezar a utilizar el programa como instrumento de adiestramiento de nuestros alumnos en el uso del sistema de adquisición de datos real. En versiones posteriores del programa se irán implementando experiencias virtuales relacionadas con el estudio de

fenómenos ondulatorios, ópticos, mecánicos, magnéticos..., que requieren la utilización de una gama más amplia de sensores.

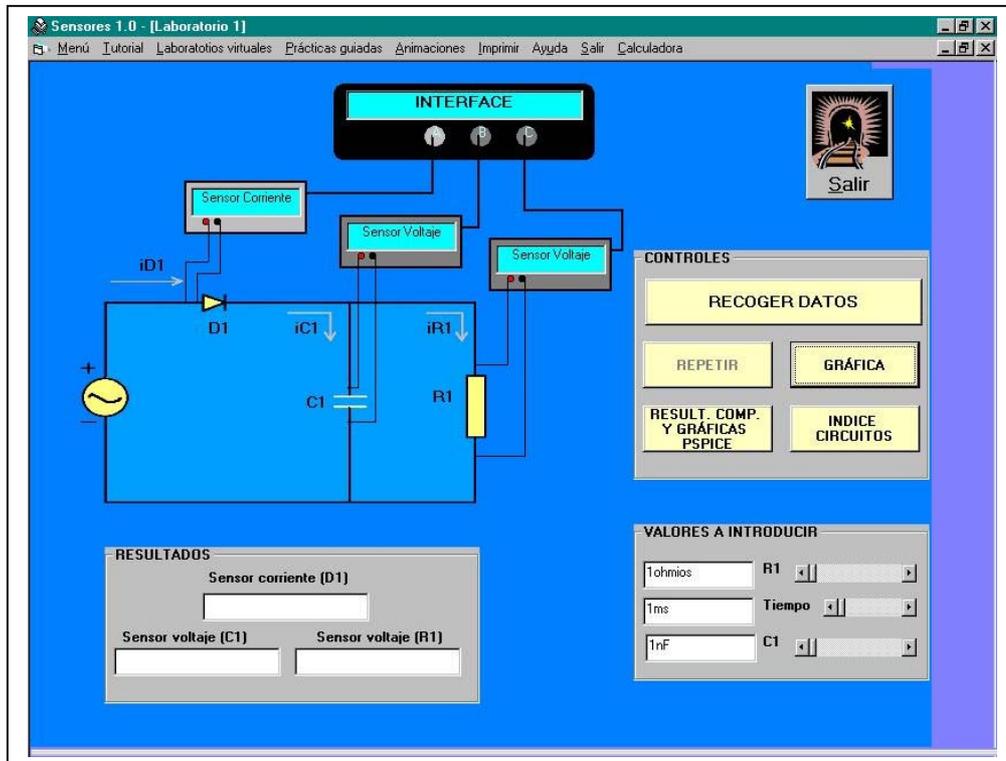


Fig.2: Ejemplo de experiencia virtual sobre el proceso de rectificación con filtro de una señal de corriente alterna.

3.3. Modulo de Prácticas Guiadas

En este módulo se incluyen (por ahora) una serie de experimentos de montaje y medida de magnitudes con sensores en circuitos eléctricos y electrónicos, utilizando los mismos sensores citados en el módulo anterior. Ahora no se pretende manipular datos procedentes de prácticas simuladas, como ocurría en el módulo anterior, sino que se pretende fomentar el aprendizaje de destrezas y procedimientos experimentales, tratando de familiarizar al alumno con la utilización del sistema de adquisición de datos que utilizará posteriormente en las prácticas reales. Para ello se dispone de una especie de vitrina virtual, donde existe un conjunto de materiales necesarios para realizar el montaje de una experiencia, y al lado derecho hay una ventana de trabajo que representa una mesa de laboratorio.

El proceso a seguir en cada práctica guiada consiste en conseguir que el alumno vaya eligiendo los materiales adecuados para realizar el montaje, arrastrándolos con el ratón desde la vitrina hasta la ventana de trabajo, y tras finalizar el montaje poder realizar las mediciones necesarias con los sensores conectados al circuito diseñado. Si el alumno realiza el montaje correctamente se le permitirá realizar de forma virtual las mediciones de los parámetros del circuito que se le indiquen, mediante los sensores conectados a la interface del sistema de adquisición de datos. El desarrollo de la experiencia seguirá, por

tanto, una secuencia similar a la que desarrollaríamos en un laboratorio real. En el montaje virtual de cada experiencia el alumno puede optar por seguir las orientaciones que ofrece el programa en cada etapa hasta finalizar el montaje, o bien puede optar (sobre todo al principio) por solicitar al programa la realización del montaje de forma automática (incluyendo explicaciones sobre cada etapa). En cualquiera de tales opciones lo que se pretende es fomentar el aprendizaje de procedimientos experimentales y el adiestramiento previo en el manejo del sistema de adquisición de datos.

3.4. Modulo Animaciones

Para mejorar la comprensión de los conceptos desarrollados en el tutorial se hace referencia, a lo largo del mismo, a una serie de aspectos relacionados con el comportamiento de los sensores en la medida de diferentes magnitudes físicas. Tales fenómenos pueden simularse mediante el ordenador, presentando animaciones que facilitarán al alumno la comprensión de los mismos, de forma visual y más atractiva que en los libros de texto. Las animaciones o simulaciones de fenómenos físicos controlados por algún tipo de sensor se incluyen en un módulo independiente al que se pueden acceder desde el menú principal y desde los distintos bloques del módulo tutoriales.

En las actividades de este módulo el programa de simulación no proporciona datos cuantitativos como ocurre en el laboratorio virtual, sino que se centra en proporcionar una visión animada del proceso físico y en mostrar unas relaciones de tipo gráfico que ofrecen información sobre la naturaleza del fenómeno, desde el punto de vista teórico. Por otra parte, si el usuario pulsa el botón "Notas" puede acceder a una ventana donde se ofrece información sobre el fundamento teórico y las leyes físicas que permiten interpretar este proceso. Finalmente, en este módulo, el desarrollo de cada animación se controla con varios botones de la parte superior de la pantalla que permiten iniciar, avanzar o detener la animación.

3.5. Módulo de Ayuda

Además del Tutorial el usuario puede acceder desde cualquier parte del programa, a un módulo de ayuda que es también un hipertexto donde se ofrece información completa e interactiva sobre la estructura y uso del programa. A este módulo pueden acceder usuarios que no tengan necesariamente grandes conocimientos de informática, por lo que la estructura del mismo es bastante fácil de manejar, ya que el programa presenta el aspecto típico de un software realizado bajo entorno Windows, que está bastante estandarizado, lo cual facilita el manejo del programa por parte de todo tipo de usuarios.

4. UTILIZACIÓN Y VALORACIÓN DIDÁCTICA DEL SOFTWARE

Tal y como hemos indicado antes el objetivo principal de la primera fase de este proyecto consistía en elaborar un programa de simulación que permitiera tutorizar el aprendizaje del funcionamiento del sistema de adquisición de datos y de un conjunto adecuado de sensores con los que se

pueden abordar la mayor parte de las experiencias de un curso de Física General. Una vez que se ha desarrollado un primer prototipo del programa, se ha aplicado para instruir a nuestros alumnos en el manejo virtual del citado sistema antes pasar a utilizar el sistema real.

Aunque aún no disponemos de datos suficientes para realizar una evaluación completa de la utilidad didáctica del programa, podemos avanzar que el uso de este software ha contribuido a familiarizar a nuestros alumnos con el SAD y realizar prácticas reales de Física utilizando sensores, superando las dificultades de manejo del sistema que habíamos apreciado antes de desarrollar el citado software, lo cual nos ha permitido realizar una valoración cualitativa de la primera fase de esta innovación docente. A continuación se indican algunos de los aspectos más interesantes que, en nuestra opinión, estos instrumentos proporcionan desde el punto de vista educativo.

En primer lugar hay que indicar que la experimentación asistida por ordenador proporciona una imagen más amplia de los hechos que se pretenden interpretar, al poder disponer en la pantalla del ordenador de gráficos que muestran la relación entre diferentes variables del fenómeno físico. Además contribuye al desarrollo de habilidades de tipo manual (montaje, medición) y capacidades de tipo intelectual o destrezas científicas (capacidad de observación y de expresión, orden, perseverancia, reconocimiento de errores, representación y análisis de datos...) que ofrecen una oportunidad de manifestarse mucho mayor que en otras actividades, como la resolución de problemas. Estos aspectos favorecen la realización de experimentos de laboratorio concebidos como pequeñas investigaciones ^[1]

El uso del ordenador en el laboratorio también simplifica las tareas tediosas de realización de muchas mediciones, porque el sistema de adquisición de datos puede realizar las medidas de un modo extremadamente rápido, lo que facilita el acceso a experiencias inimaginables hace algunos años, o que se realizaban de un modo tan lento que resultaría insufrible para los alumnos. Realiza también la parte más pesada del trabajo experimental, que corresponde a la representación gráfica de los datos y la búsqueda de un modelo matemático (normalmente una función) que se ajuste a dichos datos. Esta característica es esencial en aquellas experiencias en las que se pretende obtener resultados de tipo cuantitativo, especialmente si se considera la breve duración disponible para las sesiones de tipo práctico.

Por último, aunque en este tipo de experiencias se emplean montajes similares a los que se utilizan en la experimentación convencional, pero sustituyendo los aparatos de medida por los sensores apropiados, sin embargo el sistema de adquisición de datos por ordenador permite medir, representar resultados y obtener modelos matemáticos a gran velocidad. Este hecho permite repetir experimentos haciendo, si es necesario, las modificaciones oportunas para ver inmediatamente sus efectos. Por tanto, el uso del ordenador en el laboratorio permite dedicar mucho más tiempo a la discusión de los resultados, al planteamiento de hipótesis y su verificación experimental. Todas estas ventajas se incrementan cuando se utiliza un software de adiestramiento y familiarización de los alumnos con el sistema de adquisición de datos, como hemos podido observar en el desarrollo de esta experiencia educativa.

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos presentado la primera etapa de un proyecto de innovación educativa relacionado con el uso de las Tecnologías de la Información en la formación científico-técnica de los estudiantes de Ingeniería, en la que se ha desarrollado una aplicación informática centrada en simular el funcionamiento de un sistema de adquisición de datos, cuando se conecta a un conjunto de sensores que sirven como instrumentos de medida de variables físicas en el laboratorio. Dicha aplicación consta de un sistema tutorial y diversos módulos de simulación que se han descrito anteriormente.

Desde el punto de vista docente esta primera aplicación se está utilizando como instrumento de enseñanza virtual en una fase previa al uso real del citado sistema de adquisición de datos, por parte de nuestros alumnos en el desarrollo de experiencias de laboratorio, como medio para mejorar el desarrollo de destrezas científicas entre los estudiantes. La experiencia llevada a cabo hasta ahora nos permite afirmar que la aplicación del software elaborado favorece la comprensión del funcionamiento instrumental del sistema de adquisición de datos y de los sensores que lo acompañan, de modo que los alumnos que lo han utilizado alcanzan un mayor grado de familiarización con la metodología experimental y con el instrumental, antes de pasar a utilizarlo en la realización de experiencias reales.

REFERENCIAS

- [1] GIL, S. y RODRÍGUEZ, E. (2001). *Experimentos de Física usando nuevas tecnologías*. Buenos Aires: Prentice Hall / Pearson.
- [2] PONTES, A. (1999). Utilización del ordenador en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 19, 53-64.
- [3] LONG, R.R. (1991). Review of Articles on Information Technology in School Science. *School Science Review*, 262, pp. 146-150.
- [4] CORTEL, A. (1999). Utilización de la informática en el laboratorio. *Alambique*, 19, 77-87.
- [5] LI, H. (1998). Information-Technology-Based Tools for Reengineering Construction Engineering Education. *Computer Applications in Engineering Education*, 6, 15-21.
- [6] COLLINS, P.J. & GREENSALDE, T.B (1989). Using the Computer as a Laboratory Instrument. *The Physics Teacher*, 76.
- [7] MEYER, S.L. (1992). *Data analysis for scientist and engineers*. John Willey & Sons, Inc., New York
- [8] PHYWE (2000). *Material didáctico para el laboratorio de Ciencias Experimentales*. Madrid: Phywe.
- [9] PASCO SCIENTIFIC (2000). *Experiments in Physics with computers and sensors*. Distribuidora Prodel: Madrid.