

## **Introducción de laboratorios virtuales en la enseñanza no presencial mediante entornos de trabajo propios**

Raúl Barrio<sup>1</sup>, Jorge Parrondo<sup>1</sup>, Eduardo Blanco<sup>1</sup>, Joaquín Fernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Energía. EPI de Gijón. Universidad de Oviedo. <sup>2</sup>Departamento de IMEM. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Extremadura. E-mails: [barrioraul@uniovi.es](mailto:barrioraul@uniovi.es)<sup>1</sup> y [ffrancos@unex.es](mailto:ffrancos@unex.es)<sup>2</sup>.

**Resumen:** Los laboratorios juegan un papel muy significativo en la educación superior como un lugar en el que los estudiantes pueden aplicar los conocimientos teóricos a situaciones reales. Sin embargo, muchos laboratorios universitarios son bastante modestos y permiten sólo la implementación de disposiciones muy básicas. En este sentido, los programas de simulación se pueden usar para complementar las prácticas de laboratorio y también para reforzar conceptos previos. En el presente artículo se describe la experiencia llevada a cabo con un programa de simulación, desarrollado específicamente por los autores, para el estudio de redes de potencia hidráulica. El programa se diseñó para una asignatura virtual en la que se utiliza una metodología mixta para las prácticas de laboratorio. En primer lugar, los estudiantes construyen varios circuitos sencillos en el laboratorio para comprender los principios básicos de la asignatura. A continuación, pueden descargar la aplicación desde la web y utilizarla para diseñar, analizar y comprender el funcionamiento de redes hidráulicas más complejas. La eficacia del uso del programa en el proceso de aprendizaje se evaluó al finalizar el curso mediante una encuesta de opinión. Los resultados obtenidos se presentan en la parte final del artículo.

**Palabras clave:** laboratorio virtual, simulación hidráulica, enseñanza *on-line*, aprendizaje a distancia.

**Title:** An experience on the use of virtual labs in on-line teaching

**Abstract:** Laboratories play a significant role in higher education as a place where the students can apply theory to real-life situations. However, most university laboratories have modest facilities that allow the implementation of only a few basic arrangements. In this regard, simulation software can be used to complement basic hands-on practice and also to reinforce previous concepts. This paper presents a home-made educational application used to simulate hydraulic power networks that was developed by the authors. The application was designed for a virtual subject that employs a blending methodology for laboratory experience. First, the students implement several simple circuits at laboratory to learn the basis of power hydraulics. Next, they can download the application from the web and use it to design, analyze, and understand the operation of more complex networks. The effectiveness of the use of the application in the learning process was assessed at the end of the course by means of an opinion survey. The results obtained are presented at the end of the paper.

**Keywords:** virtual lab, power hydraulics, on-line teaching, distance learning.

## **Introducción**

Los laboratorios han ocupado tradicionalmente un papel muy importante en las escuelas de ingeniería, pues en ellos los estudiantes pueden aplicar sus conocimientos teóricos a situaciones prácticas. Sin embargo, los laboratorios educativos universitarios son, con frecuencia, bastante modestos, y por tanto sólo permiten la implementación de unas pocas disposiciones básicas. Además, la metodología de enseñanza utilizada en las clases prácticas de laboratorio requiere, en muchos casos, un guiado bastante importante por parte del profesor. Por el contrario, las directrices marcadas en el proyecto Tuning (González y Wagenaar, 2003) y en algunos programas de acreditación (ABET, 2008) promueven el trabajo autónomo de los estudiantes. Por tanto, es aconsejable complementar las prácticas de laboratorio tradicionales con recursos que promuevan el aprendizaje autónomo y, paralelamente, desarrollen las competencias profesionales de los alumnos.

En este sentido, el uso tan extendido del ordenador personal con su capacidad de adquisición de datos, análisis y control remoto, junto con el crecimiento experimentado por Internet, se puede aprovechar para implementar métodos de enseñanza on-line. Estos métodos han demostrado ser una herramienta muy útil para desarrollar y reforzar las competencias en ingeniería (Bourne, Harris y Mayadas, 2005; Hashemi, Chandrashekar y Anderson, 2006). En particular, se pueden implementar laboratorios remotos que permitan la manipulación a distancia de instrumentación, los cuales proporcionan una experiencia de laboratorio casi real (Yen y Li, 2003; Gustavsson, 2003; Almendra *et al.*, 2004). También se puede proporcionar una experiencia virtual de laboratorio mediante el uso de programas comerciales de simulación (Ramos *et al.*, 2007; Hlupic, 1999; Hung *et al.*, 2007). Los programas comerciales suelen ser bastante potentes y completos, y ofrecen una gran capacidad de simulación y de animación. Por el contrario, algunas de las limitaciones de los programas comerciales son su limitada flexibilidad, falta de compatibilidad, dificultad para aprender su manejo y coste (Hlupic, 1999). Adicionalmente, los laboratorios virtuales se pueden implementar a partir de programas específicos desarrollados para una asignatura concreta (Wong, Biagras y Cervera, 2005; Zhou, Jiang y Fan, 2005; Duan *et al.*, 2005; Noguez y Sucar, 2006; Anton *et al.*, 2009). Mientras que los laboratorios remotos suelen requerir de equipamiento costoso localizado en un lugar concreto, los laboratorios virtuales son relativamente económicos siempre que proporcionen la posibilidad de llevar a cabo simulaciones sencillas que no requieran demasiado coste computacional.

A pesar de que los programas de simulación no pueden reemplazar por completo a las prácticas de laboratorio, hoy en día juegan un papel fundamental en la enseñanza de la ingeniería. Las simulaciones permiten diseñar y manipular (aunque sea de forma virtual) una gran variedad de procesos físicos y técnicos. Además, constituyen una herramienta fundamental para diseñar y analizar sistemas demasiado extensos, caros o peligrosos como para que puedan ser implementados por los estudiantes. Por otro lado, las simulaciones pueden proporcionar por sí mismas una experiencia de laboratorio significativa (Feisel y Rosa, 2005), y han demostrado ser equivalentes a los laboratorios reales para explicar y reforzar conceptos (Campbell, 2002).

En este artículo se presenta un entorno de trabajo propio que se utiliza para simular redes hidráulicas. El programa fue desarrollado por los autores para su uso en una asignatura *on-line* en la que se emplea una metodología mixta para las prácticas de laboratorio. Por un lado, se llevan a cabo ensayos reales para enseñar a los estudiantes los conceptos básicos de hidráulica de potencia a través de la implementación y análisis de algunos circuitos simples. Por otro lado, el programa de simulación funciona como un laboratorio virtual que los estudiantes utilizan para diseñar, analizar y comprender el funcionamiento de redes hidráulicas más complejas y, por tanto, complicadas de implementar en una instalación convencional de laboratorio. La efectividad del uso del programa en el proceso de aprendizaje se evaluó al finalizar el curso mediante una encuesta de satisfacción proporcionada a los estudiantes. Los resultados de esta encuesta se muestran en la parte final del artículo.

### **Estructura básica del programa**

La aplicación se diseñó como un programa de simulación de propósito general particularizado para el estudio de redes hidráulicas. Su estructura general, sin entrar en excesivos detalles técnicos sobre su programación, se puede dividir en seis bloques o rutinas principales que se encuentran interrelacionadas:

1. Implementación del circuito.
2. Almacenamiento de los dibujos que representan las Figuras dentro de la red hidráulica.
3. Figuras que pueden ser insertadas en la red.
4. Conexión entre las Figuras.
5. Proceso de simulación.
6. Comunicación con la interfaz de usuario.

Las rutinas 3 y 5 dependen verdaderamente de la naturaleza hidráulica de la red; el resto de rutinas podrían permanecer inalteradas si la aplicación se particularizase para otro tipo de redes (por ejemplo, redes neumáticas o eléctricas). El programa se desarrolló por medio de programación orientada a objetos con el lenguaje Borland Delphi.

La apariencia de la interfaz de usuario es similar a la de las aplicaciones basadas en Windows, tal y como se muestra en la figura 1. Se dispone principalmente de un área de trabajo, una barra de menús y una barra de herramientas que permite el acceso a las operaciones más habituales por medio de iconos. Otra barra de herramientas adicional proporciona acceso a un conjunto de elementos hidráulicos que se encuentran organizados en paletas de componentes según su tipo. Las redes hidráulicas se pueden crear seleccionando los componentes necesarios en estas paletas. Cada componente seleccionado se arrastra hasta el espacio de trabajo de la aplicación y se conecta a los componentes existentes para formar la red hidráulica. Las propiedades de los componentes se pueden visualizar y editar haciendo uso de menús contextuales, como se muestra en la figura 2.

Los componentes disponibles en la aplicación (bombas, motores, actuadores, etc.) se representan en la red por medio de dibujos esquemáticos que poseen una serie de propiedades definidas a partir de una clase común denominada Figura. Los componentes animados (por ejemplo, el eje de los cilindros) están

formados por el mismo número de dibujos que *frames* necesarios para la animación completa. Existen por tanto dos sub-classes de Figuras: la que simula el comportamiento de elementos fijos y la que hace lo propio con los elementos móviles de la red. Las válvulas direccionales de flujo constituyen un caso especial, ya que estos componentes disponen de un cuadro de diálogo específico que permite implementar válvulas definidas por el propio usuario.

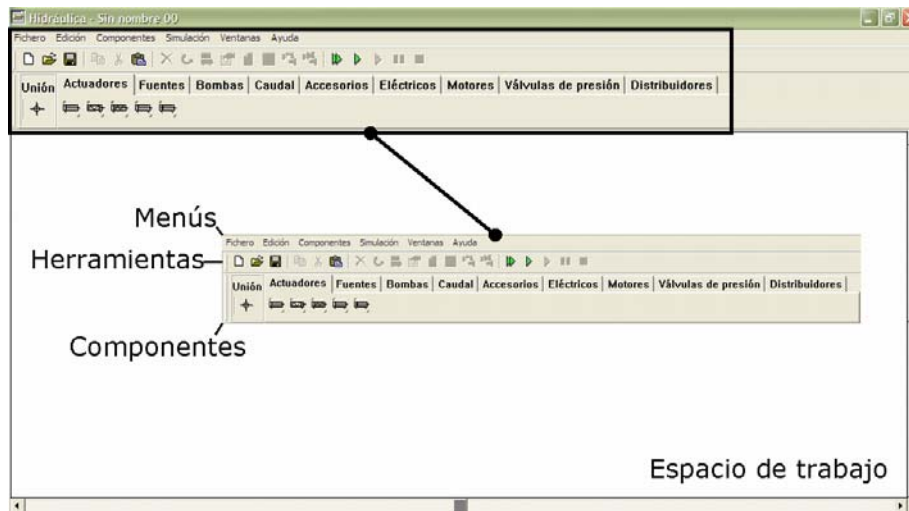


Figura 1. Apariencia general de la interfaz de usuario.



Figura 2. Modificación de las características geométricas y operativas de un actuador hidráulico a través del uso de menús contextuales.

Los componentes de la red se conectan entre sí, en la pantalla, por medio de líneas que representan tuberías. Estas líneas no se consideran Figuras estrictamente hablando y, por tanto, en la aplicación se han implementado en una clase aparte. Por cada conexión, el programa genera un puntero en el que se almacenan los identificadores de los componentes que se han conectado y de la propia conexión. La clase de programa que controla las conexiones lleva implementado un algoritmo interno que calcula el camino óptimo entre los dos componentes que se quieren conectar. Básicamente, este algoritmo dibuja en pantalla la tubería de conexión rodeando obstáculos previos.

En la figura 3 se muestra como ejemplo una red hidráulica creada con el programa. El ascenso del cilindro se consigue accionando el mando manual de la válvula direccional para colocarla en la posición de vías paralelas, mientras que el descenso se produce cuando la válvula se encuentra en la posición de vías cruzadas. La posición intermedia actúa a modo de embrague, conectando la

bomba directamente con el tanque de fluido y manteniendo al cilindro en la posición en la que éste se encuentre. Durante el descenso del cilindro, la válvula reguladora de caudal controla su velocidad para evitar un posible embalamiento. Se dispone además de una válvula reguladora de presión en paralelo con la bomba para limitar la presión máxima de trabajo. Como se puede observar en la figura 3, el programa de simulación permite incorporar instrumentación de medida en la red como si se tratase de una instalación real de laboratorio. En el ejemplo mostrado, se ha dispuesto un manómetro para medir la presión en la cámara circular del cilindro y un caudalímetro para obtener la magnitud del caudal que entra o sale de su cámara anular.

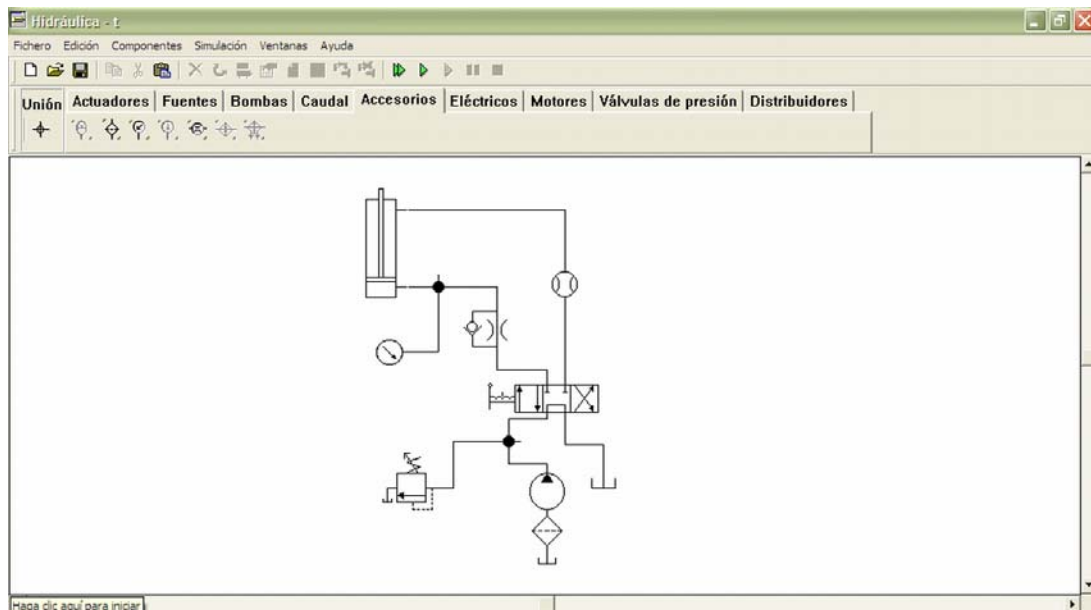


Figura 3. Red hidráulica de ejemplo creada con el programa.

Cuando todos los componentes de la red hidráulica se encuentran ya conectados, el usuario puede comprobar la integridad del circuito para evitar la presencia de conexiones abiertas o incompatibilidades entre componentes. Si todas las conexiones son correctas se puede iniciar el proceso de simulación, bien de manera continua o paso a paso; durante esta última opción, el usuario inicia cada paso sucesivo de la simulación con ayuda del ratón. El proceso de simulación depende de la operación real de las redes hidráulicas (Lambeck, 1983; Pinches y Ashby, 1989) y se puede dividir en tres etapas. En la primera etapa se emite una señal desde cada bomba con la magnitud del caudal que proporciona a la red. Cuando esta señal se encuentra con una Figura (por ejemplo un cilindro hidráulico) actualiza su valor. Al llegar a un punto de fin de red, las señales se transmiten por los recorridos previos pero en sentido inverso, para calcular así las pérdidas hidráulicas y la presión necesaria a la salida de las bombas. Durante la segunda etapa, las bombas proporcionan una señal con la magnitud real del caudal. Esta señal se transmite por la red siguiendo los mismos recorridos que en la etapa anterior, pero esta vez sin recorrido de vuelta. En esta etapa se calcula, por ejemplo, la velocidad de avance de los vástagos de los cilindros hidráulicos. En la tercera etapa se comprueba si existe alguna línea presurizada que no se encuentre conectada a una bomba; en caso afirmativo se realiza la simulación apropiada para permitir la descarga de fluido desde esta línea a un depósito, si es necesario.

Al finalizar la simulación se genera una señal interna durante una etapa adicional de muestreo. Esta señal se usa para actualizar la posición de las figuras animadas, la magnitud de los parámetros que se imprimen en pantalla y también para almacenar los datos necesarios que permiten generar un informe final. Si alguna de las Figuras de la red realiza una acción que cambia el valor de alguna variable hidráulica (por ejemplo, una modificación de la posición de una válvula direccional) se concluye un ciclo de simulación. El siguiente ciclo se puede iniciar, como ya se ha comentado, de forma automática, o bien mediante una simulación paso a paso en la que se requiere la intervención del usuario.

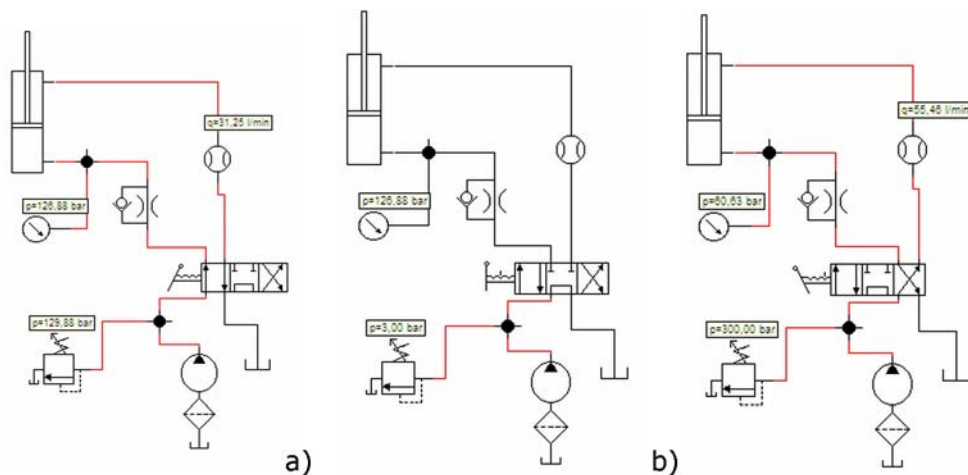


Figura 4. Varias capturas del proceso de simulación de la red hidráulica de ejemplo durante el avance (a), retención (b) y retroceso (c) del cilindro.

El estado de los componentes hidráulicos (por ejemplo, la posición de las válvulas) se puede modificar durante la simulación, permitiendo por tanto interacciones sobre la marcha. Cuando la simulación se encuentra en progreso, las tuberías que están presurizadas se destacan en color rojo (como se aprecia en la figura 4); de esta forma se ayuda a los estudiantes a comprender mejor el funcionamiento de la red hidráulica. Del mismo modo, la magnitud física relevante en cada componente hidráulico o elemento de medida se imprime en pantalla en tiempo real, tal y como se observa igualmente en la figura 4. En esta figura se muestran varios *frames* de la animación del movimiento del cilindro a lo largo de cada una de sus fases (avance, retención y retroceso). Como se aprecia, el valor de la presión en la cámara circular del cilindro, el caudal que entra o sale de su cámara anular y la presión a la salida de la bomba se muestran en la pantalla.

Al concluir la simulación se pueden mostrar informes de la evolución temporal de las variables en determinados componentes previamente seleccionados. Estos informes se pueden generar de forma numérica en un fichero de texto o bien gráficamente sobre la propia interfaz de usuario. Como ejemplo, en la figura 5 se muestra la evolución gráfica de la magnitud de la velocidad en el vástago del cilindro y de la presión a la salida de la bomba. De forma complementaria, a través del programa se proporciona acceso a una librería de componentes que ofrece una descripción teórica y práctica de los elementos hidráulicos que se encuentran disponibles en la aplicación. Como ejemplo de esta librería, en la figura 6 se muestra la descripción de las bombas hidráulicas.

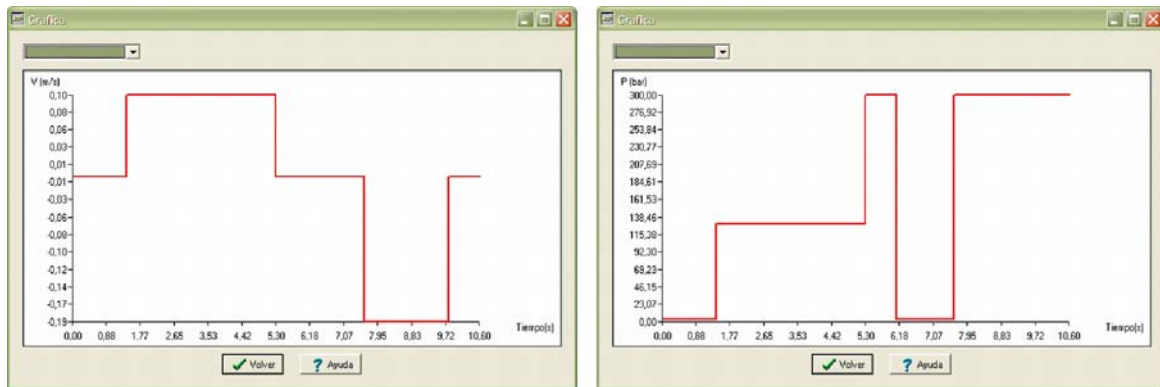


Figura 5. Ejemplo de informe gráfico generado tras la simulación para la velocidad en el vástago del cilindro (izquierda) y la presión a la salida de la bomba (derecha).

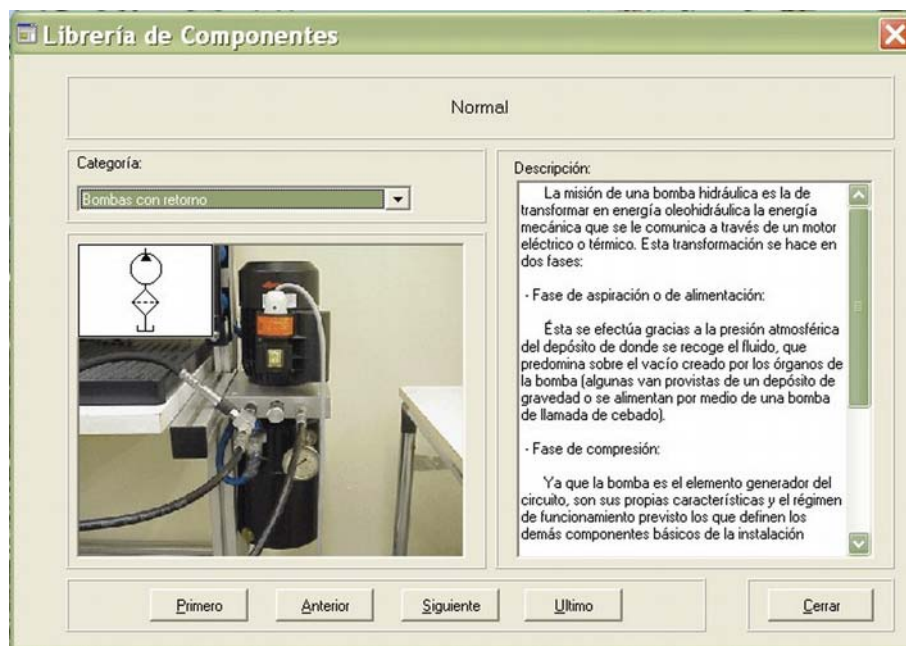


Figura 6. Descripción de las bombas hidráulicas en la librería de componentes.

Como ya se ha indicado en la introducción de este artículo, existen en la actualidad varios programas comerciales que permiten la implementación y el estudio de redes hidráulicas complejas. Estos programas constituyen una herramienta valiosa, potente y que ofrece grandes posibilidades de simulación, especialmente para usuarios avanzados. Por ello, se puede plantear su uso en una asignatura sobre transmisión de potencia hidráulica en función del tiempo disponible y del nivel de competencia que se desea que adquieran los estudiantes. Sin embargo, y de acuerdo con la experiencia de los autores, los programas comerciales pueden resultar excesivamente complejos en una asignatura de tipo introductorio (como la descrita en la sección siguiente), por lo que habitualmente se presentan una serie de problemas. En primer lugar, se encuentra el elevado precio de las licencias (incluso las de tipo educativo) y los problemas de instalación (en ocasiones por su propia complejidad) y compatibilidad que presentan algunos de estos programas. Por otro lado, y al tratarse de códigos generalistas, estos entornos de trabajo suelen ser de naturaleza compleja, ya que presentan un gran número de menús, barras de herramientas y opciones muy diversas. Esta complejidad hace que la curva de

aprendizaje del uso de estos programas sea lenta y que se requieran, por tanto, varias sesiones introductorias (marcadamente presenciales y tutoradas, ya que incluso los manuales suelen ser demasiado densos) para que los alumnos se familiaricen con su uso, lo que choca frontalmente con la disminución de la presencialidad con el nuevo sistema de transferencia de créditos. Es por ello que la utilización de un entorno de trabajo propio, sencillo y fácilmente adaptable a las necesidades de la asignatura, como el presentado en esta sección, se considera una buena alternativa frente al uso de códigos comerciales genéricos.

### **Grupo de estudio y evaluación**

El programa de simulación descrito en la sección anterior se utiliza en una asignatura virtual (*on-line*) para complementar las prácticas de laboratorio tradicionales. La asignatura, de libre elección, se denomina *Accionamientos Hidráulicos*, está asociada a la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Gijón y se imparte durante el segundo cuatrimestre. Se dispone de un total de 6 créditos LRU repartidos por igual entre docencia teórica y práctica. El número medio de alumnos que se matriculan en la asignatura es alrededor de 40. Los temas de teoría se encuentran disponibles en la página que la asignatura tiene en el Campus Virtual de la Universidad de Oviedo. La evaluación de la parte teórica se realiza por medio de cuestionarios implementados en la propia página.

Para la docencia práctica se utiliza una metodología mixta, como se indica en la figura 7. Por un lado, se realizan prácticas de laboratorio presenciales y, por otro, se utiliza el programa de simulación a modo de laboratorio virtual. Las prácticas presenciales se organizan en dos sesiones de dos horas de duración cada una. Los alumnos implementan en cada sesión una serie de circuitos simples en un banco hidráulico con la ayuda de un guión preparado previamente por el profesor. De esta forma, se pretende que comprendan los principios básicos de operación de la hidráulica de potencia y que se familiaricen con el funcionamiento de los elementos hidráulicos. La evaluación de estas prácticas se realiza a partir de un informe que se debe entregar al finalizar cada sesión. A continuación, los alumnos pueden descargar el programa de la web y continuar realizando prácticas de laboratorio (virtuales) de forma autónoma en sus ordenadores personales. En la actualidad, el programa se encuentra disponible únicamente para los alumnos de la asignatura, ya que aún está en fase de pruebas. Son los propios alumnos, junto con los profesores, los que realizan las "pruebas oficiales" del programa curso tras curso. A veces se detectan pequeños errores en la simulación o bien características del programa que pueden requerir de alguna mejora. Estos errores se corrigen para el curso siguiente y se implementan las mejoras, lo que hace que el programa esté casi continuamente en evolución. Cuando se disponga de la versión estable definitiva, se plantea la posibilidad de permitir el acceso libre al programa mediante licencia GPL o similar.

Únicamente se requiere de cuatro archivos para ejecutar la aplicación: un ejecutable pre-compilado y tres librerías dinámicas con los dibujos de los elementos hidráulicos. Los estudiantes también disponen de un breve manual de usuario para guiarles inicialmente en el uso del programa. Durante el curso se plantean una serie de casos para que los alumnos diseñen, calculen y comprendan el funcionamiento de redes hidráulicas más complejas que las implementadas en la instalación de laboratorio. Al concluir el plazo fijado para realizar cada caso, los alumnos envían un archivo con el diseño propuesto al



profesor por correo electrónico. Éste evalúa cada uno de los diseños, con la ayuda del programa y comprueba su correcto funcionamiento, grado de adecuación al caso propuesto y parámetros de operación. Si tanto el diseño como su operación se consideran correctos se emite una valoración final; en caso contrario se redacta un informe con los fallos y deficiencias observadas, el cual se envía al alumno junto con su circuito original para que mejore el diseño y corrija los fallos.

Aunque no existe limitación en el tamaño de las redes que se pueden simular, el programa está pensado inicialmente para su uso en asignaturas de introducción a la hidráulica, por lo que los elementos disponibles son relativamente básicos. Un posible complemento de este método de trabajo consistiría en la implementación de un laboratorio remoto a partir del virtual. Esto requeriría del montaje de un equipo completo de automatización en el laboratorio en que tienen lugar las sesiones presenciales, así como de un sistema que permita el acceso remoto a los controladores. Dado que aún se está trabajando en la optimización del laboratorio virtual, este es un proyecto que los autores se plantean a largo plazo.

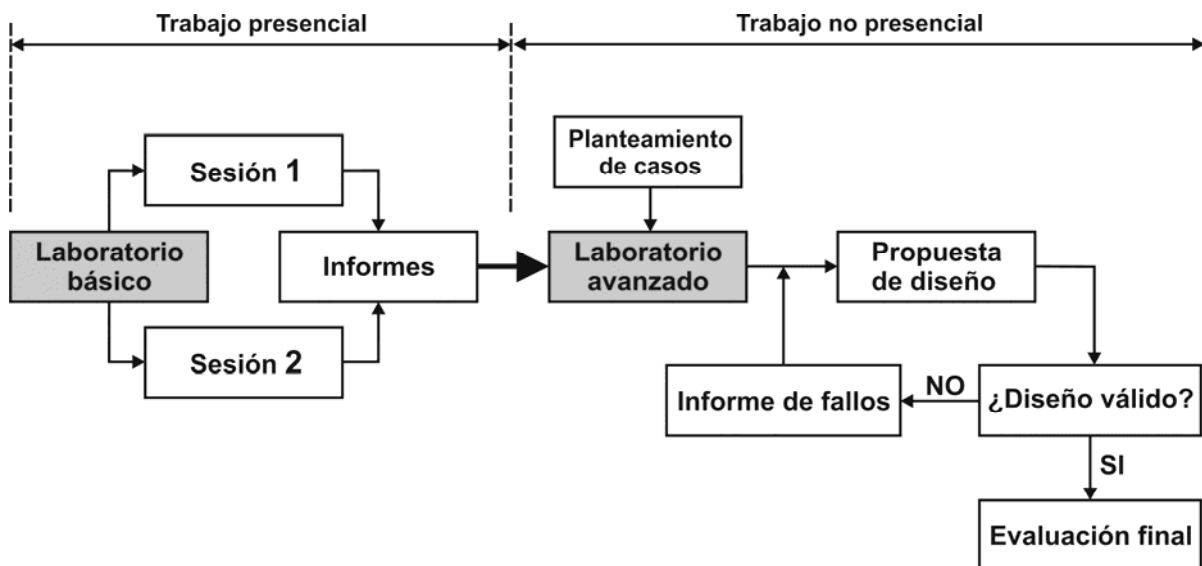


Figura 7. Organización de las prácticas presenciales y no presenciales.

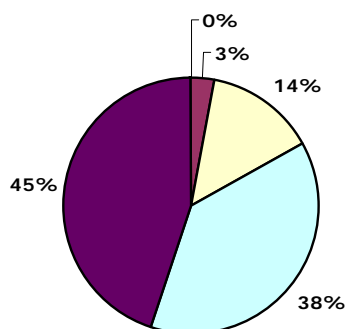
Para evaluar la efectividad del uso del programa en el proceso docente se realizó una encuesta electrónica que los estudiantes respondieron a través de la propia página web de la asignatura. El objetivo de la encuesta era el de obtener la opinión de los alumnos sobre ciertos aspectos de la aplicación que pudiesen ayudar a mejorarla en el futuro. Los resultados de esta encuesta, que fue respondida por el 71 % de los estudiantes, se muestran en la figura 8. Cada pregunta se contestaba con ayuda de una escala numérica que iba de 1 a 5 (1: totalmente en desacuerdo y 5: totalmente de acuerdo). En la figura se representa el porcentaje de estudiantes que seleccionaron cada valor de la escala en cada una de las preguntas.

La primera pregunta de la encuesta se realizó para comprobar hasta qué punto los estudiantes tenían experiencia con el uso de ordenadores personales. Como se puede ver, el 83 % de los alumnos manifiestan ser usuarios habituales o muy habituales de programas informáticos de uso general. La segunda pregunta muestra que la mayoría de estudiantes (más del 90 %) encontraron

sencilla la descarga y ejecución del programa en sus propios ordenadores. La interfaz de usuario (tercera pregunta) resultó sencilla o muy sencilla de comprender para el 69 % de los estudiantes. En cambio, un 28 % de los encuestados opina que la interfaz es sólo relativamente sencilla de comprender, lo que indica que éste es un aspecto de la aplicación que se debe mejorar en el futuro. Las respuestas a la pregunta cuarta muestran que al 83 % de los estudiantes les llevó un tiempo razonable o pequeño aprender a usar el programa. Más de la mitad de los alumnos encuestados (pregunta quinta) piensan que el programa es útil o muy útil para ayudar a comprender el funcionamiento de los circuitos hidráulicos. Paralelamente, un 34 % de los estudiantes manifiestan que el programa les ha sido de cierta ayuda, pero sin llegar a ser verdaderamente útil. Esto sugiere que se han de mejorar las técnicas de enseñanza utilizadas cuando se propone a los estudiantes que resuelvan redes hidráulicas con el programa. En lo que se refiere a las posibilidades de simulación del programa (pregunta sexta), cerca del 60 % de los estudiantes piensan que son adecuadas.

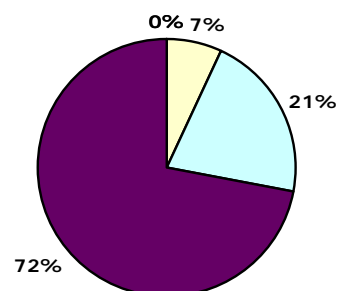
Las respuestas a la pregunta séptima muestran un resultado que resulta alentador para los autores: aproximadamente el 90 % de los alumnos encuestados consideran muy positivo que los profesores desarrollen programas de simulación específicos para sus asignaturas, y que prefieren utilizar este tipo de programas frente a los programas comerciales que tienden a ser más genéricos. Para finalizar, el programa ha obtenido, en una escala de 1 a 5, una calificación de 3 por parte del 38 % de los estudiantes y de 4 por el 62 % de los encuestados (promedio de 3.6). Adicionalmente, al final de la encuesta se dispuso de un cuadro de texto para que los alumnos escribiesen cualquier comentario que desearan realizar sobre el programa o para sugerir mejoras a realizar en el futuro. Algunas de las opiniones de los estudiantes se muestran a continuación:

- “Sería bueno colocar una barra de herramientas con los elementos usados recientemente”.
- “Debería haber más instrumentación eléctrica”.
- “Se podría pensar en una utilidad para pasar el esquema de la red a una figura tridimensional”.
- “Pienso que este programa sería aconsejable incluso para su uso profesional”.



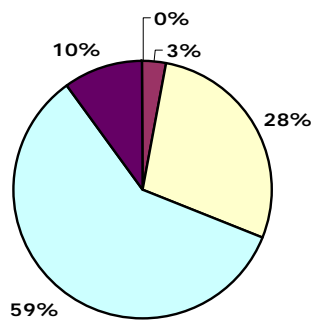
■ # 1 ■ # 2 □ # 3 □ # 4 ■ # 5

1. Soy usuario habitual de ordenadores y programas informáticos de uso general.



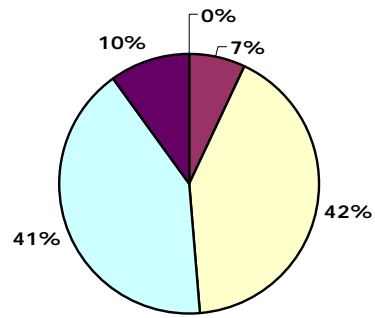
■ # 1 ■ # 2 □ # 3 □ # 4 ■ # 5

2. La descarga y ejecución del programa en mi ordenador me resultó sencilla.



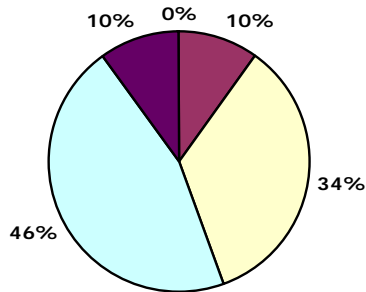
# 1 # 2 # 3 # 4 # 5

3. La interfaz de usuario es fácil de comprender.



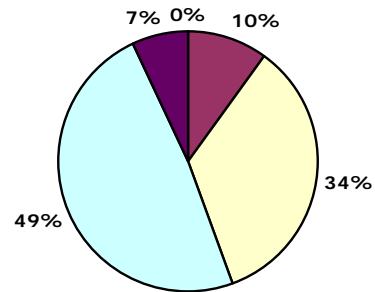
# 1 # 2 # 3 # 4 # 5

4. Aprender a utilizar la aplicación me llevó poco tiempo.



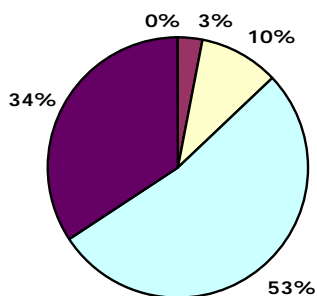
# 1 # 2 # 3 # 4 # 5

5. La aplicación me ha ayudado a comprender mejor el funcionamiento de los circuitos hidráulicos.



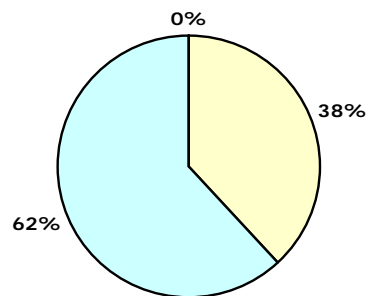
# 1 # 2 # 3 # 4 # 5

6. El programa ofrece unas posibilidades de simulación adecuadas.



# 1 # 2 # 3 # 4 # 5

7. Considero beneficioso el desarrollo de programas específicos para las asignaturas por parte de los profesores frente a programas comerciales más genéricos.



# 1 # 2 # 3 # 4 # 5

8. Le otorgaría una calificación final al programa (entre 1 y 5) de:

Figura 8. Resultados de la encuesta de valoración.

### Conclusiones

En este artículo se ha presentado una aplicación educativa que ha sido diseñada para simular redes de potencia hidráulica. La aplicación actúa como un

laboratorio virtual que ayuda a los estudiantes a comprender el funcionamiento de redes hidráulicas complejas o peligrosas y, por tanto, difíciles de construir en una instalación de laboratorio. El programa se implementó a través de la programación orientada a objetos, y fue concebido como una herramienta de simulación de propósito general particularizada para la simulación de redes hidráulicas.

Los circuitos se pueden crear simplemente seleccionando los elementos apropiados en paletas de componentes. Estos elementos se introducen en el espacio de trabajo de la aplicación y se unen mediante líneas que representan tuberías. Las propiedades de cada elemento se pueden editar a través de cuadros de diálogo específicos. La simulación de la red se puede llevar a cabo en modo continuo o bien paso a paso, permitiendo la actuación del usuario durante la simulación. Existe la posibilidad de generar informes de datos o informes gráficos al finalizar la simulación para mostrar la evolución temporal de las variables más significativas del circuito.

La aplicación se evaluó al finalizar el curso mediante una encuesta anónima proporcionada a los estudiantes. Los resultados muestran que la interfaz de usuario fue considerada fácil de entender por la mayoría de alumnos y, de forma adicional, que requirieron un periodo de tiempo razonable para aprender a utilizar el programa. Más de la mitad de los encuestados manifestaron que la aplicación les ayudó a comprender mejor el funcionamiento de las redes hidráulicas. Una conclusión bastante significativa de la encuesta es que alrededor del 90 % de los alumnos prefiere utilizar programas específicos desarrollados para las asignaturas que aplicaciones comerciales genéricas.

### **Referencias bibliográficas**

Accreditation Board for Engineering and Technology (2008). *Criteria for accrediting engineering programs*. Baltimore: ABET Inc.

Almendra, A., Jiménez-Leube, F. J., González, C. y Sanz-Maudes, J. (2004). An experience de-localizing a freshman electrical engineering laboratory. *International Journal of Engineering Education*, 20, 170-175.

Anton, R., Jonsson, H., Ramos, J. C., Gómez-Acebo, T. y Rivas, A. (2009). Refrigerating Cycle Simulator: System Modelling, Educational Implementation and Assessment, *International Journal of Engineering Education*, 25, 261-271.

Bourne, J., Harris, D. y Mayadas, F. (2005). Online Engineering Education: Learning Anywhere, Anytime. *Journal of Engineering Education*, 94, 131-146.

Campbell, J. O., Bourne, J., Mosterman, P. y Brodersen, A. J. (2002). The Effectiveness of Learning Simulations for Electronic Laboratories. *Journal of Engineering Education*, 91, 81-87.

Duan, B., Ling, K. V., Mir, H., Hosseini, M. y Gay, R. K. L. (2005). An online laboratory framework for control engineering courses. *International Journal of Engineering Education*, 21, 1068-1075.

Feisel, L. D. y Rosa, A. J. (2005). The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, 94, 121-130.

González, J. y Wagenaar, R. (2003). *Tuning Educational Structures in Europe. Final Report*. Deusto: Deusto and Groningen Universities.

Gustavsson, I. (2003). A remote access laboratory for electrical circuit experiments. *International Journal of Engineering Education*, 19, 409-419.

Hashemi, J., Chandrashekar, N. y Anderson, E. E. (2006). Design and development of an interactive Web-based environment for measurement of hardness in metals: A distance learning tool. *International Journal of Engineering Education*, 22, 993-1002.

Hlupic, V. (1999). Simulation software: users' requirements. *Computers & Industrial Engineering*, 37, 185-188.

Hung, T. C., Wang, S. K., Tai, S. W. y Hung, C. T. (2007). An innovative improvement of engineering learning system using computational fluid dynamics concept. *Computers & Education*, 48, 44-58.

Lambeck, R.P. (1983). *Hydraulic Pumps and Motors*. New York: Marcel Dekker.

Noguez, J. y Sucar, L. E. (2006). Intelligent virtual laboratory and project-oriented learning for teaching mobile robotics. *International Journal of Engineering Education*, 22, 743-757.

Pinches, M. J. y Ashby, J. G. (1989). *Power Hydraulics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Ramos, B. B., Peláez, J. V., García, E. M. y Ruiz, J. C. (2007). Design, Navigation, and Structure of a Hypermedia Application for the Teaching—Learning of Pneumatic Engineering Design Drawing. *Computer Applications in Engineering Education*, 15, 248-259.

Wong, T., Biagras, P. y Cervera, D. (2005). A software application for visualizing and understanding hydraulic and pneumatic networks. *Computer Applications in Engineering Education*, 13, 169-180.

Yen, C. y Li, W. J. (2003). Web-based learning and instruction support system for pneumatics. *Computers & Education*, 41, 107-120.

Zhou, Y., Jiang, J. J. y Fan, S. C. (2005). A LabVIEW-based, interactive virtual laboratory for electronic engineering education. *International Journal of Engineering Education*, 21, 94-102.