

Modelización y Toma de Decisiones Orientadas a la Enseñanza de Operaciones y Mantenimiento Predictivo en Minicentrales Hidráulicas

**A. L. Brugos, A. Neira, M. A. Lombó, M. F. Cabanas,
M.G.Melero, G. A. Orcajo**

Universidad de Oviedo - E.T.S de Ingenieros Industriales de Gijón, España

Áreas de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación e I.A.

Campus de Gijón s/n. 33204 Gijón - Asturias - España

Tel.: 518 21 42 - 518 20 32 Fax: 518 21 25

E-mails: neira@trasgu.aic.uniovi.es, manes@opalo.etsiig.uniovi.es

El presente trabajo describe un paquete de software compuesto por un Programa de Simulación y un Sistema Experto orientados hacia la enseñanza de operaciones y mantenimiento predictivo de minicentrales hidráulicas. Ambos programas están conectados a través de un módulo que funciona como un Sistema de Tutoría Inteligente (ITS). El programa de simulación modeliza el comportamiento de los componentes de la estación bajo diferentes condiciones de fallo. Por tanto, el profesor puede seleccionar uno o varios fallos para ser simulados por el programa, generándose una serie de ficheros de salida con las variables de la central. Estos ficheros constituyen la entrada para el Sistema Experto, el cual, además del diagnóstico, permite al usuario observar la evolución de las variables del sistema, y los principios de funcionamiento de cada componente. El ITS consiste en dos submódulos, el primero para el análisis de las acciones del estudiante, y el segundo para que el profesor pueda configurar el sistema completo. La sencillez de uso del sistema experto, su interface gráfica, y la capacidad del sistema para mostrar situaciones que no pueden ser observadas en una central real, lo hacen especialmente interesante para la enseñanza de ingenieros, estudiantes y operadores de minicentrales.

Palabras Clave

SISTEMA DE TUTORÍA, DIAGNOSIS, MODELIZACIÓN, SIMULACIÓN, MINICENTRALES HIDRÁULICAS, MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

Abstract: *The present paper describes a software package comprising a Simulation Program and an Expert System, both aimed towards the teaching of micro power hydraulic stations operation and predictive maintenance. The simulation program and the expert system are connected through a module which works as an Intelligent Tutoring System (ITS). The simulation program emulates the behaviour of every component of the station under different failure conditions. In this way, the teacher can select one or several failures to be simulated by the program, which generates a series of output files where all the station variables are represented. Such files are the input for the expert system which, besides diagnosing, allows the user to observe the evolution of the system variables, and the principles of operation of every component. The ITS consists of two submodules, the first one for analysing the student actions and the second one to allow the teacher to configure the overall system. The simplicity in the use of the expert system, its graphical interfa-*

ce, and the capacity of the package to show situations that could not be noticed in a real plant make it a very interesting tool for engineers, students, and operators teaching.

1. Introducción

La utilización de la energía hidráulica está creciendo en todos los países desarrollados. La energía hidroeléctrica es autónoma, ecológica y renovable. Las minicentrales hidráulicas se están haciendo cada vez más competitivas económicamente porque otras fuentes de energía se vuelven más caras con el transcurso de los años. En muchos países, las leyes están estimulando la construcción, ampliación y adaptación de dichas plantas. La automatización y los avances técnicos permiten a estas minicentrales ser utilizadas sin operadores, lo que también disminuye su coste, [1]. Esto hace que un sistema experto sea especialmente interesante para *monitorizar* la planta y lograr así un mantenimiento completo y una reducción de fallos y averías graves. Para conseguir esto, es necesario estudiar los elementos principales de la planta bajo técnicas no invasivas, que permitan un mantenimiento predictivo sin alterar el funcionamiento normal de la planta, [2,3,4]. Puesto que es difícil para los profesores enseñar dichas técnicas trabajando en minicentrales reales, la combinación de simulaciones, modelización y métodos de toma de decisiones pueden constituir una buena solución.

2. Estructura del Sistema

La herramienta presentada en este trabajo constituye un desarrollo del sistema presentado en [5]: el prototipo inicial, integrado por el programa de simulación y el sistema experto, fue completado con los módulos correspondientes a un ITS.

La Fig. 1 muestra la estructura del sistema. Cuando el profesor selecciona los fallos a ser estudiados, el programa de simulación genera los parámetros funcionales de la planta. Estos parámetros son almacenados en código ASCII en ficheros de datos. La comunicación entre el programa de simulación y el sistema experto se lleva a cabo a través de estos ficheros.

Los componentes principales del sistema experto son varias bases de conocimiento, el motor de inferencias y un interface gráfico con el usuario. La información sobre el funcionamiento y manteni-

miento de los dispositivos de la central está estructurado en unas cuatrocientas reglas contenidas en las bases de conocimientos. Para obtener un sistema flexible y modular, se define [6] una base de conocimientos específica para cada equipo importante de la minicentral.

El motor de inferencias manipula el conocimiento y adquiere información sobre el estado del sistema a través de los ficheros de datos. Además, también identifica posibles fallos y genera un diagnóstico donde se muestran las causas y la solución más aconsejable.

El interface de usuario permite la comunicación entre el sistema y el estudiante. Por sus características especiales, será descrito en profundidad en un apartado posterior.

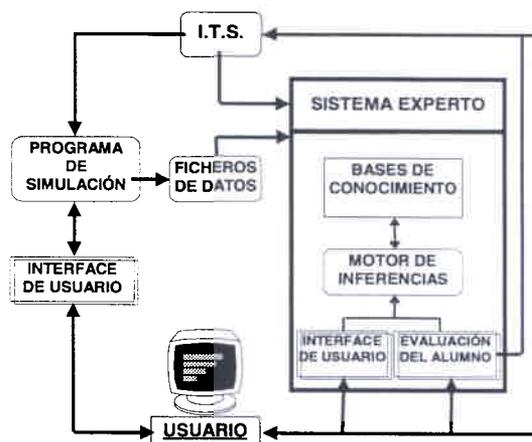


Fig. 1. Estructura general del sistema.

3. Programa de Simulación

El propósito principal del programa de simulación es el proporcionar dinámicamente al sistema experto el estado de la minicentral. El lenguaje de programación utilizado ha sido Turbo Pascal 7.0. Las características de la central hidráulica propuesta son: 160 m., flujo: $1\text{m}^3/\text{s}$, potencia suministrada: 1.5 MW.

3.1. Tasa de fallo

Para simular y definir la tasa de fallo de todos los componentes de la planta, han sido utilizadas varias técnicas estadísticas. El grado de fiabili-

dad de un elemento, $n(t)$, puede ser definido como la probabilidad de que en el instante t no se hayan producido fallos, y por tanto, el componente todavía esté trabajando. La tasa de fallo, $R(t)$, puede ser definida como la probabilidad de fallo de un componente en función del tiempo. Ambas funciones se relacionan por: $R(t) = -n'(t)/n(t)$.

Se desprende de esto que se pueden asignar a los equipos de la central, diferentes funciones para las tasas de fiabilidad y fallo, en relación con su naturaleza, componentes y condiciones de trabajo. Las leyes de probabilidad de fallo más importantes son:

Ley exponencial: La tasa de fallo es constante y las causas de fallo obedecen a una ley de Poisson de razón λ . La función de fiabilidad es: $n(t) = e^{-\lambda t}$

Ley de Weibull: La tasa de fallo varía con t . Puede ser expresada como: $R(t) = ba^b t^{b-1}$. De acuerdo con b , la ley de Weibull puede representar diferentes comportamientos de diferentes equipos.

3.2. Componentes de la minicentral

Se han incorporado y simulado el comportamiento de los siguientes componentes: limpiarreas, válvula de cierre, turbina Pelton y su equipamiento de inyección, generador de inducción, batería de condensadores, sistema de lubricación, sistema oleohidráulico, y transformador.

El programa de simulación ha sido diseñado para ser modificado por el sistema de tutoría por medio de varios ficheros de entrada. De esta forma, la simulación puede ser alterada cuando el profesor selecciona un fallo o el ITS decide que es necesario presentar cualquier concepto concreto al estudiante. El motor de inferencias del sistema experto ha sido diseñado para tomar decisiones a partir de los datos procedentes de la simulación y de estudios teóricos, a causa de la carencia de información procedente de centrales reales. A pesar de que este diseño limita la capacidad del sistema para ser utilizado en una planta real, permite una mejor aplicación con propósitos de enseñanza.

El programa de simulación es capaz de generar y mantener casi 200 variables y más de 100 hipótesis de fallos. Todos estos datos son incluidos en varios ficheros de texto que constituyen los datos

de entrada del sistema experto. Como estos ficheros, a su vez, pueden ser modificados por el ITS, cualquier posibilidad de fallo puede ser incluida intencionadamente por el profesor

3.3. Técnicas de mantenimiento predictivo

Para desarrollar una monitorización completa y un sistema experto para minicentrales hidráulicas, se han considerado las siguientes técnicas de mantenimiento predictivo:

- **El análisis espectral de vibraciones** es una técnica probada para detectar las anomalías mecánicas más comunes. La monitorización de las vibraciones se usa para detectar desequilibrios en el rotor, desalineamiento del eje, desgaste de cojinetes, rotura de barras del rotor, etc. [7,8]. Además los niveles globales de vibración de maquinaria rotativa pueden ser usados como umbrales para el sistema de detección: mientras una máquina no sobrepasa un nivel específico de vibración, no se considera la posibilidad de fallo. Cuando lo sobrepasa, se considera un análisis en el dominio de la frecuencia para determinar el origen de la anomalía.
- **El análisis espectral de la corriente** permite la detección de asimetrías y excentricidades del rotor en motores de inducción. [9,10,11].
- **Análisis de la impedancia de secuencia inversa:** Los fallos en el devanado del estátor causan una asimetría en el valor eficaz de la corriente y en consecuencia, una componente de secuencia inversa, pudiendo ser detectada con el estudio de las componentes simétricas [12,13].

El programa de simulación genera los espectros de vibración y corrientes. De esta forma, cuando ocurre un fallo, las amplitudes y las frecuencias de los armónicos más característicos del espectro de corrientes y vibraciones son modificadas por el programa. La componente de secuencia inversa se estudia analizando las tensiones y corrientes generadas por el programa de simulación.

3.4. Funcionamiento del programa

El programa empieza con la generación del flujo Q , a continuación, se calculan el resto de las variables relacionadas con él como la potencia acti-

va, potencia reactiva, voltajes, corrientes, pérdidas en alta, rendimientos del generador y la turbina, etc.

Existen otro tipo de variables que son función del tiempo, como las probabilidades de fallo y tasas de fallo de los componentes. Después de cada iteración se comunica al sistema experto el conjunto de variables completas siendo incrementado a continuación el tiempo de simulación y el tiempo de vida de los componentes. Como alguno de los fallos tiene distribución aleatoria, el programa genera números aleatorios que se utilizan para modificar las probabilidades de fallo.

4. Arquitectura del Sistema Experto

El sistema experto diseñado para esta aplicación, realiza entre otras, las funciones siguientes:

- Producir el diagnóstico predictivo de la minicentral.
- Contener la información para la enseñanza de los principios de funcionamiento de cada componente.
- Conectar con el usuario a través del interface gráfico.
- Opcionalmente conectar con el ITS.
- Realizar una evaluación básica del alumno.

La idea básica de un sistema de diagnóstico es la detección de discrepancias entre los datos observados y los previstos. Por tanto, las salidas del sistema físico, contenidas en los ficheros de datos, se comparan con una serie de niveles de umbral definidos por la experiencia de los operadores de la planta o las características técnicas del equipamiento eléctrico y mecánico.

En el momento en que cualquier variable del sistema alcanza su nivel umbral, comienza el proceso de diagnóstico y el sistema está preparado para realizar previsiones sobre su comportamiento. De esta manera, el usuario es informado sobre las causas del problema, la posible evolución de las variables de la central y las acciones correctivas más importantes.

4.1. Definición de los componentes de la minicentral

La descripción de una planta industrial implica una organización estructurada del conocimiento, lo que posibilita su descripción de forma jerárquica. Para obtener esto, ha sido definida una red de objetos clásica donde están integrados todos los elementos de la planta, [14,15]. Como tal red de objetos, realiza varias funciones esenciales:

- Especifica los componentes de la estación como un conjunto de objetos relacionados a diferentes niveles de abstracción.
- Establece las relaciones analíticas que definirán el comportamiento de todas las piezas del equipo.
- Proporciona una forma de intercambio de información entre los diferentes componentes - paso de mensajes y herencia -

Inicialmente el valor de las propiedades de los objetos están indefinidas, estos valores se asignan con la lectura de los ficheros de los datos de entrada. Esta asignación, normalmente, se lleva a cabo a través de la activación de métodos y paso de mensajes entre los diferentes objetos. De esta forma, con todo nuevo dato, el estado de la red de objetos se actualiza, y el sistema experto queda provisto con la información sobre el estado actual de la planta.

4.2. Motor de inferencias

Los mecanismos de inferencia se dividen en dos fases diferentes:

4.2.1. Generación de la lista de anomalías.

La primera fase en el proceso de inferencia consiste en la detección de aquellas variables cuyos valores han sobrepasado los niveles de umbral. Para ello, está disponible un conjunto específico de reglas. En sus premisas se comparan las variables de la central con los niveles de umbral. Las conclusiones de estas comparaciones se incorporan a una lista de anomalías o condiciones anormales de funcionamiento. Como deben identificarse todas las posibles anomalías en el comportamiento del sistema, el proceso consiste en un encadenamiento hacia ade-

lante clásico. Aún cuando la evolución real de las variables pueda devolver algunos valores a sus umbrales, en esta fase, se consideraban como hipótesis de un fallo real todas las posibilidades, siendo añadidas por tanto a la lista.

4.2.2. Identificación de fallos y creación de planes de acción.

El conocimiento necesario para la identificación de los fallos se encuentra también estructurado en reglas. Estas reglas se encuentran agrupadas en diferentes bases de conocimiento, incluyendo asimismo islas de conocimiento, que pueden ser opcionalmente relacionadas. Cada base de conocimiento contiene la información sobre los fallos correspondientes a una parte del equipo de la central y las islas de conocimiento corresponden a componentes específicos o a técnicas particulares de diagnóstico, [14,15]. Por ejemplo, la base de conocimientos sobre el generador contiene islas de conocimiento para el análisis vibracional, el análisis espectral de corriente, el diagnóstico del devanado del estátor, diagnóstico de los rodamientos, etcétera.

Los objetos de la lista de anomalías dispararán el proceso de inferencia en la isla de conocimiento correspondiente. Como el objetivo en esta fase es identificar el fallo, el mecanismo de inferencia principal aquí será el encadenamiento hacia atrás: a partir de las hipótesis de un posible fallo, el sistema intentará comprobar sus premisas asociadas. Esto originará una serie de acciones que incluso podrían reiniciar el ciclo añadiendo nuevas hipótesis a la lista. Cuando toda la lista de condiciones anómalas de funcionamiento ha sido examinada, y no queden hipótesis por verificar en la agenda, el fallo habrá quedado identificado. Entonces el sistema producirá sus previsiones y recomendaciones hasta que una nueva variable sobrepase los niveles de umbral o vuelva a su valor normal.

Las hipótesis de fallo no serán añadidas e investigadas sólo cuando una variable sobrepase su nivel de umbral. El sistema está diseñado para almacenar varios valores anteriores de las variables para calcular su tendencia actual. De este modo puede ser estimado el tiempo para que alcance el umbral y ser previsto el fallo correspondiente. Si la variable regresa gradualmente a sus valores normales, el sistema detectará esta nueva tendencia y el fallo previsto será borrado.

Durante la identificación de fallos, quedan almacenadas todas las evidencias obtenidas, en vistas a ser consideradas en la posterior creación de previsiones. Por tanto, la salida del sistema consiste en:

- Los valores actuales y la evolución histórica de las variables de la central.
- Las evidencias recogidas durante el proceso de identificación de fallos.
- La evolución prevista para las variables de la central.
- Las recomendaciones y planes de acción para la resolución del problema y mantenimiento del equipo.

Los mecanismos de inferencia se presentan en su conjunto en la Fig. 2.

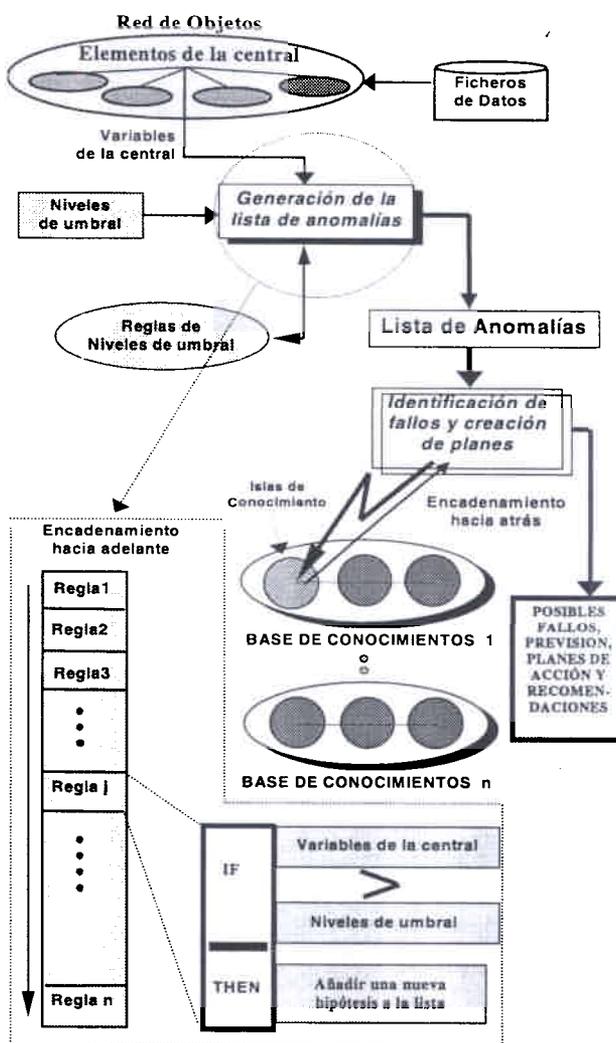


Fig 2. Mecanismos de inferencia.

4.2.3. Evaluación del estudiante

Un pequeño conjunto de reglas del sistema experto se utilizan para presentar al alumno una serie de tests para evaluar su nivel de adquisición de conocimientos. Este módulo produce varios ficheros con los resultados de la evaluación, los cuales se emplean en la comunicación con el ITS.

En un prototipo posterior, se pretende integrar en un solo paquete el programa de simulación, el sistema de tutoría y el sistema de diagnóstico. Esto permitirá que la comunicación entre estos tres elementos se realice internamente, y el sistema experto controle todo el flujo de información. La Fig. 3 muestra un esquema con las diferentes partes del ITS.

5. Sistema de Tutoría

El ITS diseñado para esta aplicación está constituido por dos módulos [16,17]: el primero, llamado *módulo del profesor*, integra el conocimiento sobre el dominio y una serie de reglas pedagógicas que permiten al profesor configurar el sistema en función de la actividad del estudiante y su nivel de aprendizaje. El segundo, denominado *módulo del estudiante*, consiste en una pequeña base de conocimientos que genera los resultados de la evaluación a partir de los tests resueltos por el usuario y almacena información sobre su comportamiento. Además, este módulo mantiene un registro con las acciones del alumno, posibilitando así encontrar qué partes del programa presentan un mayor nivel de dificultad.

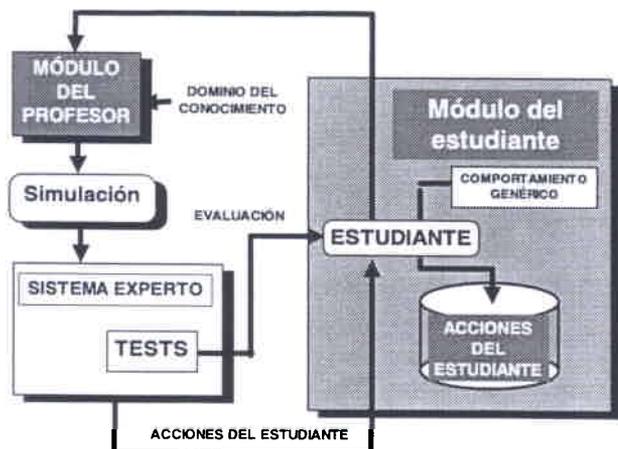


Fig. 3. Esquema del ITS.

Estos dos módulos, constituyen el interface entre el sistema experto y el programa de simulación. Por medio de los resultados producidos por el módulo del estudiante, el módulo del profesor modifica la simulación, o incluso la salida del sistema experto, de esta forma es posible mostrar al alumno las partes del programa con un mayor grado de dificultad en su aprendizaje.

6. Interface Gráfico

Dada la orientación hacia la enseñanza de esta aplicación, es preciso el diseño de un interface gráfico de usuario donde la sencillez en el uso y la claridad en las presentaciones de resultados figuren entre sus principales objetivos. En este sentido, la integración de los ITS con las tecnologías multimedia, resulta fundamental [18]. En la presente aplicación, se han seguido esencialmente dos aspectos de diseño: en cuanto a la metodología, las ideas básicas sobre descripción y especificación de tareas con condiciones de viabilidad y realimentación, [19], y en relación al análisis y estudio del comportamiento del usuario, a través de la interpretación de las acciones y eventos seleccionados por el alumno en el transcurso del proceso de aprendizaje [20]. Para el desarrollo, se ha utilizado OPEN INTERFACE 3.0, una herramienta específica de diseño de interfaces integrada en el paquete de desarrollo de sistemas basados en el conocimiento SMART ELEMENTS 2.0.

El interface del sistema experto y el ITS consiste en 51 ventanas, donde botones, cuadros de diálogo, áreas de menús selectivos, hipertextos, gráficos, esquemas, fotografías y otros recursos se utilizan para facilitar la comunicación con el sistema experto. Las ventanas de salida están agrupadas en cuatro categorías diferentes atendiendo a su funcionalidad específica:

- Ventanas principales.
- Ventanas de previsiones.
- Ventanas de enseñanza.
- Ventanas de ayuda.

Ventanas principales: Estas ventanas presentan los parámetros funcionales de una pieza o equipo concreto así como alarmas y mensajes. En ellas, es-

tán accesibles un conjunto de botones para mostrar cualquier otra ventana relacionada con el estado del equipo estudiado.

La Fig. 4 presenta la ventana inicial del programa; desde esta ventana es posible acceder al grupo de ventanas relacionadas con cualquier equipo, así como arrancar y parar el motor de inferencias del sistema experto.

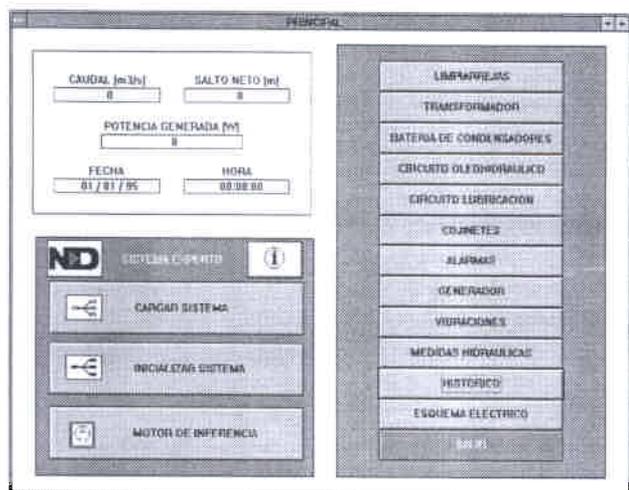


Fig. 4. Ventana inicial del programa.

La Fig. 5 muestra una de las ventanas principales del generador; en el centro se muestran el panel de alarmas y los parámetros del generador, el grupo de botones de la derecha permite la apertura de las ventanas relacionadas con los componentes del generador: cojinetes, esquemas eléctricos, estado vibracional, previsiones...

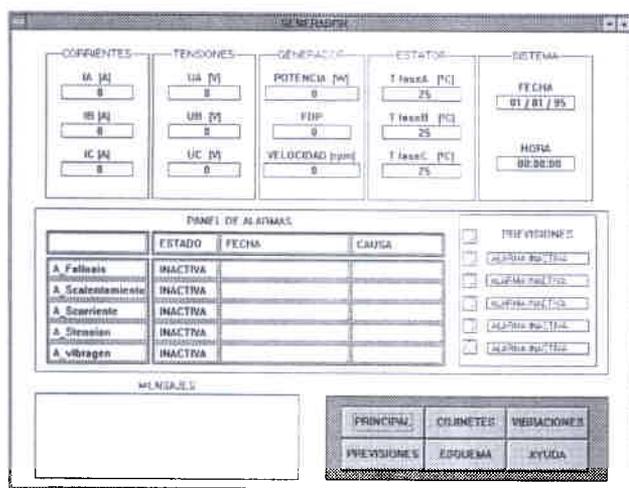


Fig. 5. Ventana principal del generador.

Ventanas de previsiones: este tipo de ventanas advierten al usuario cuando cualquier parámetro de

la estación está fuera de su rango normal. Cuando esto ocurre, el sistema experto predice el tiempo que resta hasta el disparo de la planta y presenta la causa más probable de fallo así como su consecuencia y las operaciones de mantenimiento aconsejables. La Fig. 6. muestra la ventana de previsión para el circuito de lubricación.

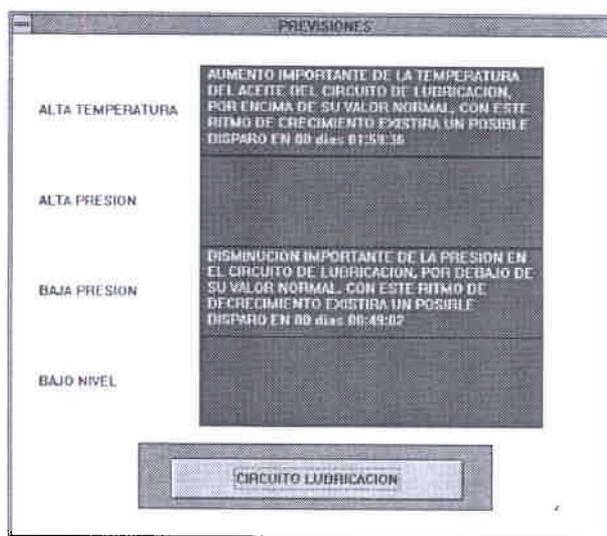


Fig. 6. Ventana de previsión para el circuito de lubricación.

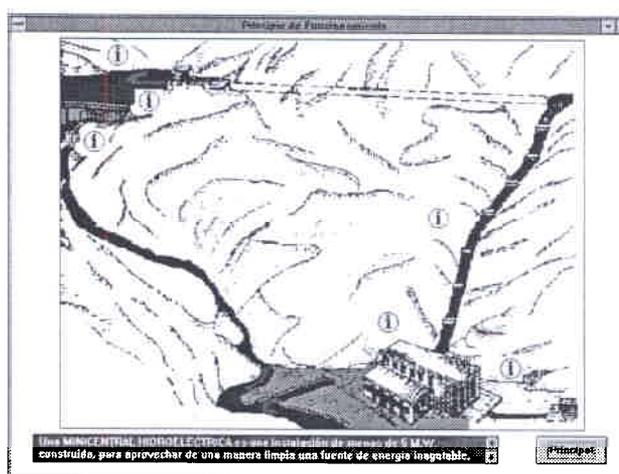


Fig. 7. Esquema general de una central hidráulica.

Ventanas de enseñanza: el objetivo de estas ventanas es presentar al alumno los principios fundamentales de funcionamiento y las características de una minicentral hidráulica, así como indicarle las operaciones usuales de mantenimiento. Para lograr esto, se han incorporado esquemas de todos los componentes; estos esquemas contienen iconos o hiper-áreas por donde simplemente pasando o pulsando el ratón, el estudiante recibe información de la función y características del elemento. La Fig. 7. muestra el esquema general de una central hidráulica.

ca, la Fig. 8 presenta una fotografía de un parque eléctrico real, y las Figuras 9 y 10 contienen los principios de funcionamiento del inyector y de la válvula principal, respectivamente.

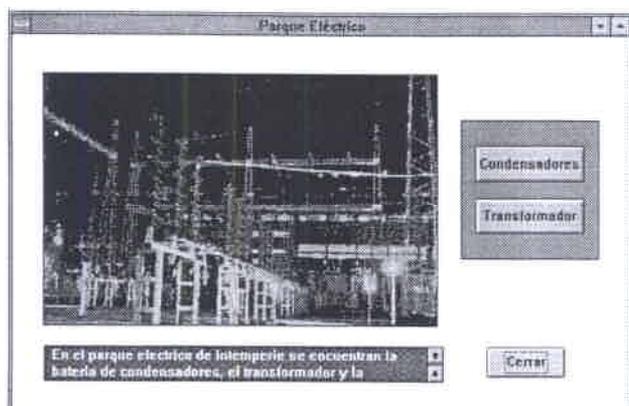


Fig. 8. Fotografía de un parque eléctrico.

Todas estas ventanas están conectadas a una base de conocimientos del sistema experto donde se proporciona información detallada de cualquier componente o proceso concreto; de este modo, puede llevarse a cabo el estudio general de las minicentrales hidráulicas de forma independiente al sistema de diagnóstico. Además, estas ventanas están asociadas también con el módulo del estudiante del ITS para guardar las acciones de éste.

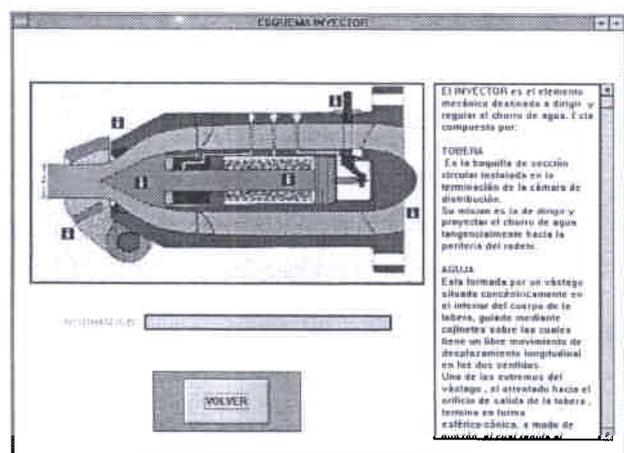


Fig. 9. Ventana de enseñanza: inyector.

Ventanas de ayuda: Estas ventanas constituyen el sistema de ayuda on-line para la utilización del programa. Las ventanas de ayuda pueden ser activadas en cualquier momento de la ejecución del programa y proporcionan información sobre el uso del mismo. En la Fig. 11 se observa una ventana de ayuda en el centro aclarando el uso de una ventana principal.

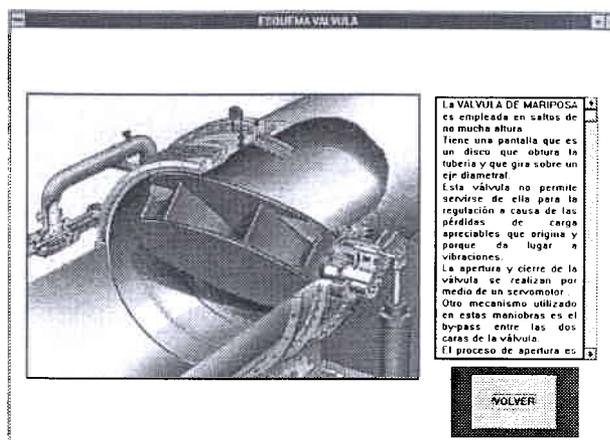


Fig. 10. Ventana de enseñanza: esquema de la válvula.

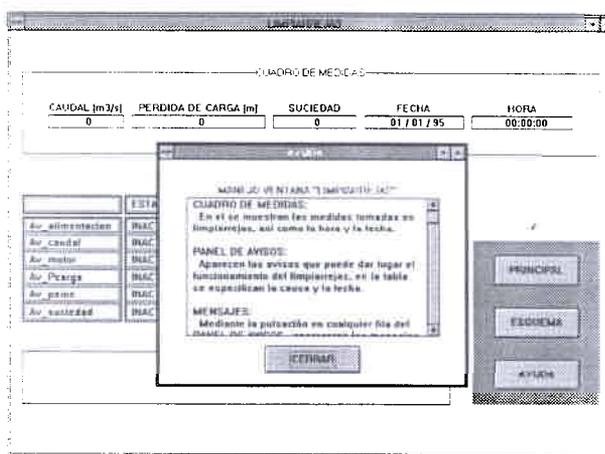


Fig. 11. Ventana de ayuda de una ventana principal.

7. CONCLUSIONES

Ha sido presentada una herramienta de software orientada a la enseñanza que combina un sistema de toma de decisiones basado en el conocimiento con un programa de simulación. Esta estructura, además de mostrar los principios de funcionamiento de las minicentrales hidráulicas, puede enriquecer su enseñanza y uso en los siguientes aspectos:

- Muestra la aplicación de nuevas técnicas de mantenimiento predictivo en el diagnóstico de fallos eléctricos y mecánicos.
- La evolución de las variables de la estación bajo cualquier condición anormal puede ser considerada desde el programa de simulación, pudiendo seleccionarse los fallos mas comunes.

- La claridad del entorno gráfico utilizado en el diseño del interface convierte al sistema en una herramienta muy amigable incluso para usuarios no iniciados.
- La capacidad del programa para mejorar la eficiencia de la planta reduciendo paradas inesperadas le hace un prototipo de aplicación industrial de gran interés. De hecho, los autores están

estudiando su implementación en una estación real de características idénticas a las simuladas.

REFERENCIAS

- [1] Central Electricity generating Board, *Modern Power Station Practice*, Pergamon Press ISBN 0-08-016061-1, 1982.
- [2] G. B. Kliman, R. A. Koegl: *Noninvasive detection of broken bars in operating induction machines*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 3, No. 4, Dic. 1988.
- [3] Vas Peter: *Parameter Estimation, Condition Monitoring, and Diagnosis of Electrical Machines*, Oxford University Press, ISBN 0-19-859375-9 1993
- [4] Peter J. Tavner, James Penman: *Condition monitoring of Electrical Machines*, Research Studies Press Ltd. Letchworth, Hertfordshire England, ISBN 0 86380 061 0.
- [5] M. F. Cabanas, M. A. Lombó, M. A. Sanz, *Minisiex: expert system for the teaching of micro power hydraulic station operation and failure detection*, ELECTRIMACS 96, Sept 1996 Nantes France.
- [6] M. F. Cabanas, M. A. Sanz J. G.-Aleixandre, A. Neira, A. Otero, J. Solares, *Arquitectura de un sistema experto basado en modelos para el diagnóstico de motores de inducción en funcionamiento*. IV Congreso Iberoamericano de Inteligencia artificial. Octubre 1994, Copyright Mc Graw Hill Interamericana.
- [7] Winterton J: *Component identification of gear-generated spectra*, Orbit June 92
- [8] Sandy J: *Monitoring and diagnostics for rolling elements bearings*, Sound and Vibration Jun. 1988
- [9] Deleroi, W: *Squirrel cage motor with broken bar in rotor, physical phenomena and their experimental assesment*, International Conference on Electrical Machines, Budapest, 1982, pp. 767-771
- [10] Elkasagby N, Eastham R, Dawson G: *Detection of broken bars in the cage rotor on an induction machine*, IEEE Transactions on Industry applications, Vol. 28, NO. 1, Enero/Febrero 1992.
- [11] Stavrou A, Pennam J: *The on-line quantification of air-gap eccentricity in induction motors*, International Conference on Electric Machines, ICEM 94, 1994 Paris.
- [12] G. Gentile, N Rotondale, F. Filippetti, G. Franceschini, M Martelli, C. Tassoni, *Analysis approach of induction motor stator faults to on-line diagnostics*, ICEM 90, Cambridge
- [13] Pennman, J, Yin C. M. *A unambiguous technique for displaying the presence of stator winding faults in induction motors*, 1991, IEEE fifth International Conference on Electrical Machines and Drives.
- [14] M. F. Cabanas, M. A. Sanz J. G.-Aleixandre, A. Neira, A. Otero, J. Solares: *Electric motor on-line diagnosis: a model based approach*. Paris Third International Conference ILCE' 95 Concurrent Engineering & Technical Information Processing, Enero-Febrero 95, ISBN 2-9509096-0-4
- [15] M.F. Cabanas, M.A. Sanz J. G.-Aleixandre, A. Neira, A. Otero, J. Solares: *Detection of induction machine incipient failures using knowledge based techniques*. Sevilla Sixth European Conference on Power Electronics and Applications EPE 95, p 1024 Vol I.
- [16] T. de Jong, W.R.van Joolingen: *The SMISLE environment: Learning with and design of integrated simulation learning environments*. DELTA'94, Dusseldorf 1994
- [17] A.Neira, J.R.Menéndez, M.A.Fernández: *Diseño de un prototipo de enseñanza de física asistida por ordenador*. Aula Abierta 66. ICE Oviedo 1995.
- [18] Y. Usandizaga, J. Gutiérrez, P. Lopistéguy, T. A. Pérez: *Nuevos Sistemas Hipermedia Educativos*. Revista de Enseñanza y Tecnología (ADIE) Núm.5. 1996
- [19] D. Hix, H.R. Hartson: *Developing user interfaces. Ensuring usability through Product & Process*. Wiley 1993
- [20] J.A.L. Brugos, B. Corte: *RESMUL: Idea para la representación multimedia*. CIICC Informática. Las Palmas 1993.