

OPROCA: un software para el análisis de la operación de un sistema de caudal

Ing. Omar A. Iglesias¹
Ing. Raúl A. Pessacq¹

Los alumnos de la carrera de Ingeniería Química tienen escasas oportunidades de operar sistemas típicos de plantas de proceso y, menos aún, de visualizar las consecuencias que tienen, sobre las condiciones operativas, las decisiones en el momento del diseño.

Para paliar estas falencias se ha desarrollado OProCa, un software que permite simular, en tiempo "real", el comportamiento de un proceso clásico de caudal bajo control (cañería + bomba + conjunto controlador-válvula reguladora), con la posibilidad de variar los componentes que integran el sistema.

El desarrollo se ha efectuado en Delphi 1.0, sobre una interface con el usuario que reproduce un panel característico de una sala de control.

Desde allí, el alumno debe arrancar manualmente el sistema, con la posibilidad de una mala maniobra y la consecuente parada, para pasar, si se ha procedido correctamente, al modo automático.

En este punto se puede visualizar la influencia de los ajustes del controlador frente a diversas perturbaciones externas. Asimismo, y en virtud de la posibilidad de modificar las características de diseño de alguno de los componentes del sistema, puede apreciarse la incidencia que esto tiene sobre la operación del mismo (existencia de condiciones extremas, por ejemplo).

En cualquier momento, el alumno puede consultar una ayuda en línea, típica de los sistemas que corren bajo Windows, donde puede evacuar consultas tanto sobre aspectos generales de la teoría de control relacionados con el caso como sobre operación del sistema o características de los componentes disponibles.

¹ Laboratorio de Innovación y Transferencia de Tecnología
Departamento de Ingeniería Química - Facultad de Ingeniería - UNLP

OPROCA: un software para el análisis de la operación de un sistema de caudal

Ing. Omar A. Iglesias¹
Ing. Raúl A. Pessacq¹

1.- OBJETIVO DEL TRABAJO

Los alumnos de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería tienen escasas oportunidades de operar equipos o plantas de proceso reales, razón por la cual no experimentan con las consecuencias de malas maniobras operativas, cuyo conocimiento es de particular importancia en la vida profesional. Tampoco pueden establecer las relaciones entre un incorrecto diseño de proceso y las condiciones operativas derivadas de ello.

Continuando con la línea de investigación actualmente en desarrollo (1, 2, 3, 4) se implementó un programa de simulación de la operación de un proceso de control de caudal, que se utilizará como complemento del dictado de dos asignaturas de la carrera, Ingeniería de las Operaciones y Control de Procesos. Esto no pretende reemplazar la experiencia práctica sino suplir algunas falencias que resultan evidentes en la formación académica.

En el presente trabajo se describen las características básicas del sistema desarrollado, Operación de un Proceso de Caudal (OPROCA), así como las líneas de utilización para el mismo.

2.- ANTECEDENTES

Este es el primer desarrollo que realiza el grupo destinado a entrenar operadores en procesos típicos de ingeniería química, de manera tal de poder brindar una experiencia concreta en la que el alumno se acerque al estado transitorio de funcionamiento de dichos sistemas, complementando, de este modo, el diseño y la descripción del estado estacionario, aspectos a los que más énfasis se presta en la enseñanza de las asignaturas de la carrera.

En el mercado existe una importante variedad de este tipo de programas de entrenamiento (5, 6), los que cubren condiciones típicas particulares de algunos procesos. Estos programas están concebidos para ser usados en el entrenamiento de los operarios dentro de una empresa, por lo cual no siempre se puede adaptar completamente su utilización dentro del proceso de formación académica de un ingeniero. Hay aspectos, como ser la incidencia que sobre el comportamiento de los sistemas tienen las decisiones tomadas durante el diseño, que generalmente resulta difícil analizar con la utilización de estos programas comerciales. A todo lo anterior debe sumársele el esfuerzo económico que implica la adquisición de estos sistemas, cuyo precio es, generalmente, de varios miles de dólares, con una relación costo/beneficio bastante baja.

Desarrollar este primer programa, ha permitido obtener un importante conocimiento de las técnicas de simulación de los procesos, manejo de los sistemas de ecuaciones algebraicas y diferenciales que los describen, adecuación de métodos numéricos de cálculo, presentación de pantallas, determinación de las condiciones correctas y erróneas de funcionamiento, métodos de diseño, etc., lo que permite continuar con esta línea de trabajo para otros equipos de mayor complejidad. Se podrán implementar entonces, sistemas diseñados por las distintas cátedras, con mínimo costo y cubriendo necesidades específicas de enseñanza, de acuerdo a la orientación que se desee.

¹ Laboratorio de Innovación y Transferencia de Tecnología, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UN.L.P.

3.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE OPROCA

El proceso simulado está constituido por un tanque de alimentación, un tramo de cañería, una bomba centrífuga y su motor, otro tramo de cañería, un lazo de control de caudal y finalmente la cañería de descarga al tanque receptor, como se indica en la Figura 1.

El sistema ha sido desarrollado en Delphi 1, entorno de programación que permite aprovechar las potencialidades gráficas de Windows, dentro de un marco de simplicidad en el manejo de componentes multimediales.

En la concepción básica de OPROCA se ha privilegiado la posibilidad de que el docente pueda modificar con facilidad tanto las características del proceso (longitudes de cañerías, diámetros, alturas), como la de la bomba o la válvula reguladora, a través del manejo de archivos de datos específicos.

Se pretende que OPROCA sirva para varios objetivos, tales como arranque y operación del sistema en control manual y automático, análisis de los ajustes del controlador, y verificación de las relaciones entre condiciones de diseño y de operación. El sistema posee un esquema típico que reproduce las condiciones reales de una planta industrial, con pantallas que muestran un panel de control industrial característico.

Las posibles malas operaciones provocan condiciones de falla, las que son indicadas por alarmas sonoras y carteles que indican la misma sin especificar la causa que la origina, la cual debe ser detectada y solucionada por el operador, es decir el alumno. Una incorrecta selección o diseño de algún componente del sistema, ha de provocar también fallas operativas, siendo la intención en este caso que el alumno establezca la correspondencia entre ambas instancias, así como las causas fundamentales que determinan el comportamiento anómalo del sistema.

El buen ajuste del controlador ante distintos tipos de perturbaciones, que se suman al ruido propio de los sistemas de impulsión de fluidos con bombas centrífugas, regulación con válvula y medición con placa de orificio, es uno de los objetivos del programa, por lo cual se pueden accionar la ganancia y el tiempo integral, y también seleccionar distintas alternativas para la válvula reguladora. Los registros de la distintas variables (caudal y presiones en distintos puntos del sistema), son realizados con tres posibles velocidades, de manera de obtener en la pantalla distintas escalas de tiempo.

El alumno que oficia de operador del sistema, puede consultar una ayuda en línea, en la que se pueden evacuar consultas sobre la operación, selección de los componentes (bomba, válvula reguladora) y sobre aspectos teóricos de control de procesos.

4.- CARACTERÍSTICAS FORMALES ADOPTADAS

La presentación del programa, en su primera pantalla, presenta el proceso simulado (figura 1), en forma similar a la de un flow sheet operativo de control. Se indican en esta pantalla, además de los elementos de proceso, las variables medidas, registradas y controladas que permitirán seguir la secuencia de operación del sistema de control de caudal.

En la segunda pantalla (figura 2) se presentan los frentes de un controlador y un registrador típicos, aunque con algunas simplificaciones que no son utilizadas en este caso (valor deseado remoto y local, acción derivativa, etc.), el comando de botonera de apertura de las válvulas manuales del sistema V1 a V7, y el accionamiento de arranque y parada de la bomba centrífuga. Esta pantalla constituye el panel de control desde el cual se operará el sistema.

La velocidad de la carta puede ser seleccionada, con el botón "Speed", entre tres posibilidades, para dar varias escalas de tiempo. Los ajustes del controlador, ganancia proporcional (Kc) y tiempo integral (TI) deben ser ingresados a través del botón "Config." antes de arrancar la bomba. Con el botón "Select" puede seleccionarse la indicación de barras móviles del visor del controlador entre el valor deseado, el medido y la apertura de la válvula reguladora. Los botones de Automático/Manual y de apertura y cierre, permiten, respectivamente, cambiar el modo de operación y variar el valor deseado o la apertura de la válvula, según cual sea la forma de control seleccionada.

4.- LA OPERACIÓN DEL SISTEMA

El programa está diseñado, en esta primera versión, para que el alumno lo utilice con varios objetivos:

- a) Puesta en marcha del sistema desde la condición de parada, hasta control automático con un valor determinado de caudal, realizando las operaciones correctas.
- b) Análisis de las condiciones de diseño que provocan el mal funcionamiento del sistema.
- c) Análisis de los ajustes del controlador, verificando la influencia de las alinealidades del proceso.

Para el caso de puesta en marcha y operación se parte de un estado aleatorio de apertura de válvulas y con la bomba parada, a partir del cual se deben realizar todas las operaciones correctas de aperturas y cierres, arranque de la bomba, manejo manual del caudal hasta las cercanías del valor deseado, y operación en control automático realizando el ajuste de las acciones de control, hasta lograr el funcionamiento estable bajo control.

En el modelo del sistema existe una secuencia correcta de operación la que es utilizada para contrastar las que realiza el operador. Las posibles acciones erróneas de éste provocan distintas condiciones de mal funcionamiento: calentamiento y parada del motor de la bomba, cavitación, falta de circulación, etc., las que aparecen como carteles en la pantalla indicando la falla, y que deben ser subsanadas para proseguir con la operación (figura 3).

La barra de menú permite realizar las operaciones básicas del programa, tales como detener la ejecución o reiniciarla. Asimismo, desde la barra de menú es posible cambiar algunos componentes del sistema, como la válvula de control, entre varias alternativas prefijadas.

El menú incluye la típica ayuda en línea de los programas de Windows que permite realizar consultas sobre el manejo del programa, fundamentos teóricos generales, métodos de ajuste del controlador e instrucciones sobre la forma correcta de arrancar la bomba.

5.- MODELO DEL SISTEMA Y CARACTERÍSTICAS NUMÉRICAS ADOPTADAS

El sistema se simula en base a un esquema que reemplaza las evoluciones transitorias por una sucesión de estados estacionarios, aprovechando la dinámica rápida que posee este tipo de procesos.

La simulación comienza, en un sentido estricto, en el momento que el usuario pone en marcha la bomba, con el controlador en modo manual y el esquema de apertura de válvulas que haya seleccionado. En este momento, también, comienza el registro de las variables.

El programa determina, primero, la condición en la que se encuentra el sistema, básicamente, si existe o no circulación de fluido. En función de esto se disparan los

mecanismos de alarma y parada o se produce el cálculo en condición normal.

Este último se realiza a través de un sistema de ecuaciones no lineales acopladas. El conjunto involucra un número de relaciones superior a treinta, donde se incluyen, además de expresiones algebraicas, tablas de valores como las que describen las características de la bomba y la válvula de control. Se ha evitado, en el caso de los componentes, recurrir a realizar una aproximación funcional a los valores de tabla para permitir su fácil modificación por parte de las cátedras que utilicen OPROCA

El sistema de ecuaciones permite calcular, a partir de un valor para la apertura de la válvula de control, el caudal circulante y las presiones a lo largo de la línea. Esto implica un esquema de resolución iterativa, con los consiguientes riesgos de falta de convergencia o escasa velocidad de la misma. Para resolver esta cuestión se aprovechó los comportamientos funcionales presión vs. caudal característicos en las bombas centrífugas y líneas de conducción de fluidos, que permiten estructurar una estrategia tipo regula falsi de rápida convergencia para el sistema.

Por último, debe anotarse que, bajo condición manual, la apertura de válvula es manejada por el usuario, en tanto que en automático, la misma queda determinada por el algoritmo de control, un conjunto muy sencillo de ecuaciones en diferencias finitas que no agrega ninguna dificultad desde el punto de vista numérico.

6.- EL USO DE OPROCA COMO AUXILIAR PEDAGÓGICO

La enseñanza asistida por computadoras como complemento y auxiliar de las formas tradicionales de transmisión de conocimientos ya ha cobrado importancia y peso propio como línea de investigación y aplicaciones concretas. La experiencia que ha recogido el Laboratorio de Innovación y Transferencia de Tecnología permite confirmar la utilidad de los desarrollos en este sentido.

Ya se han realizado y evaluado programas de simulación y control de procesos y auxiliares en la toma de decisión tanto en el ámbito del diseño ingenieril como de ingeniería económica, con una buena aceptación por parte de los alumnos. Esta primera experiencia en programas de entrenamiento para la operación de equipos, ha permitido completar el cuadro de las alternativas posibles en cuanto a los objetivos y a las formas de implementar los mismos.

Estos programas de entrenamiento de operación de equipos o plantas de proceso, presenta una posibilidad de alternativas amplias en lo referido al tipo de ejemplos a desarrollar así como los que los posibles objetivos a obtener con su utilización. El alcance de los mismos puede ser ajustado con precisión a los requerimientos de las distintas asignaturas y a la orientación que se brinda en las mismas.

Es de destacar, que al igual que con OPROCA en etapas posteriores ya previstas y en implementación, es posible realizar el diseño en línea y su puesta a prueba en operación simulada, lo que cubrirá una falencia común a casi toda la enseñanza académica: la falta de correlación entre el diseño estático y su utilización real. Se entiende que pocas veces se logra un conocimiento profundo, si no se pueden contrastar los resultados de cálculos realizados en escritorio con el comportamiento operativo de los sistemas.

Por otra parte, pueden ser interesante desarrollar este tipo de programas de entrenamiento no solo para la enseñanza universitaria sino también para su utilización en el ámbito industrial, en una perspectiva que abre una importante posibilidad de transferencia.

6.- FUTURAS LINEAS DE TRABAJO Y CONCLUSIONES

Como ya ha sido citado, con la aplicación de OPROCA, se abre una importante línea de trabajo dentro de la investigación y desarrollo de programas de enseñanza asistida por computadora, y que de acuerdo a las actuales tendencias que se reflejan tanto en la bibliografía (7) como por la oferta comercial en revistas especializadas de ingeniería o gerenciamiento, indican una clara y definida orientación en esta nueva forma de enseñanza y entrenamiento de personal.

Los contenidos de la enseñanza y las metodologías de transferencia de conocimientos está siendo objeto de un amplio y detallado estudio, no solo en las ramas de la ingeniería, sino en todo tipo de disciplinas. Se perciben grandes esfuerzos en este sentido en desarrollos mediante hipertextos e hipermedios. El presente trabajo, que se suma a los ya realizados y en realización, configura una promisoriosa línea de investigación y desarrollo con transferencia inmediata, al menos dentro del sistema universitario.

OPROCA, en la faz actual de desarrollo, ha permitido verificar que los problemas encontrados en su implementación son solucionables en primer y fundamental medida debido a los conocimientos específicos de los temas desarrollados (optimización, control de procesos, etc.), en igual medida con la claridad de los objetivos a obtener, y en segunda instancia con el esfuerzo razonable y razonado de computación y presentación del simulador operativo en pantalla.

En este caso el planteo del sistema de ecuaciones algebraicas y diferenciales, lineales y no lineales, constituyen un caso típico de la carrera por lo que su formulación no presentó inconvenientes ni particularidades. Debió sí realizarse una tarea original en el diseño de la estrategia de cálculo, en los métodos utilizados para su resolución iterativa, en el diseño de las pantallas de proceso y del panel de control.

Queda por evaluar con los alumnos la calidad de OPROCA, mediante el uso del test de evaluación desarrollado en el LITT (4), e implementar una serie de detalles que en esta primer versión aún no han sido considerados.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Iglesias O. A., Pessacq R. A.: "Cuestiones metodológicas en la aplicación de computadoras en la enseñanza de la Ingeniería Química". IV Congreso Argentino de Ingeniería Química, 1994, Santa Fé, Argentina.
- 2) Iglesias O. A., Paniagua C. N., Soto J. D.: "Informática educativa en la enseñanza de procesos". MECOM 94, Mar del Plata, Argentina.
- 3) Iglesias O. A., Paniagua C. N., Pessacq R. A.: "The evaluation of university educational software". Aprobado para su publicación en Computer Applications in Engineering Education, USA, 1997.
- 4) Pessacq R. A., Palacios P. A., Koldobsky M., Champredonde R.: "Herramienta multimedial para selección de alternativas de inversión". Actas Second International Congress in Information Engineering, 1995, UBA, Buenos Aires, Argentina.
- 5) Standard Process Models - SIMTRONICS Corp. (USA)
- 6) PRISM - APPLIED TRAINING RESOURCES (USA)
- 7) Computer Applications in Engineering Education. J.Wiley & Sons

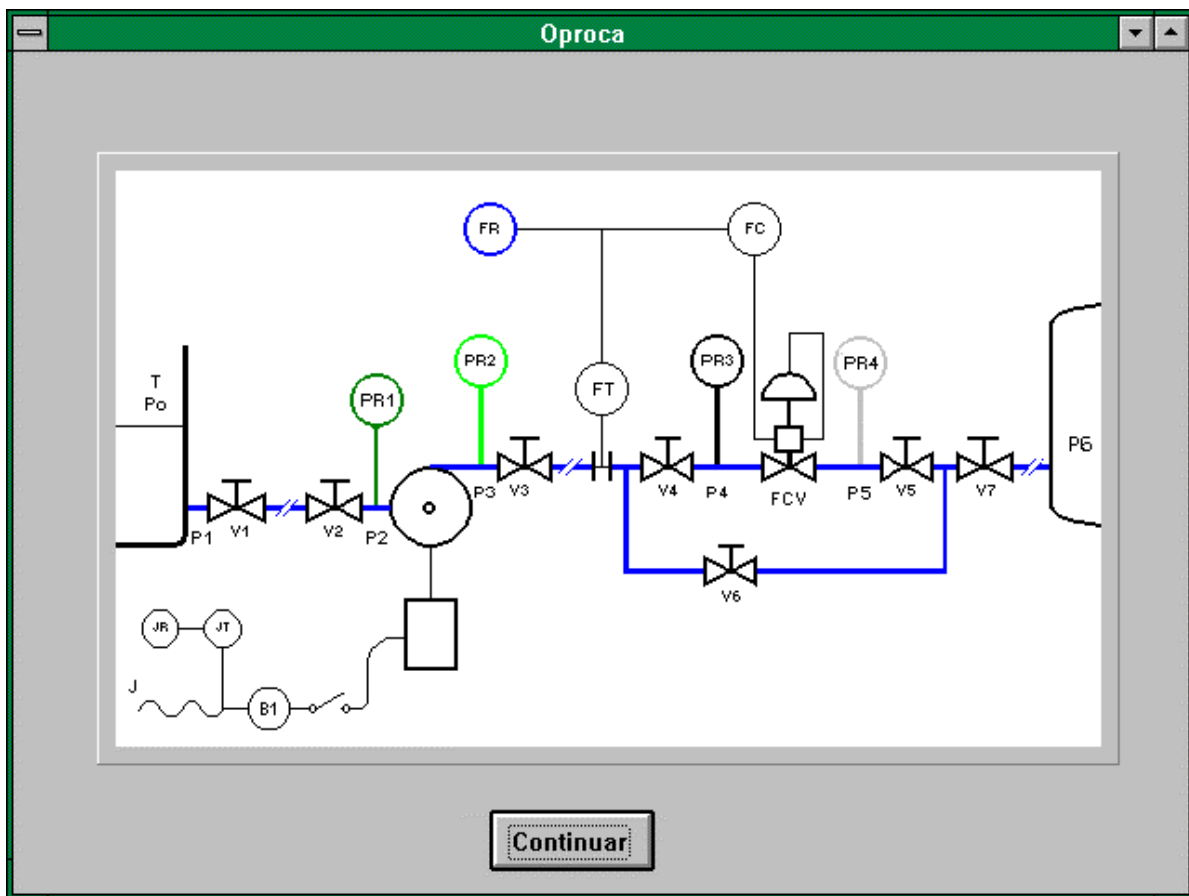


Figura 1

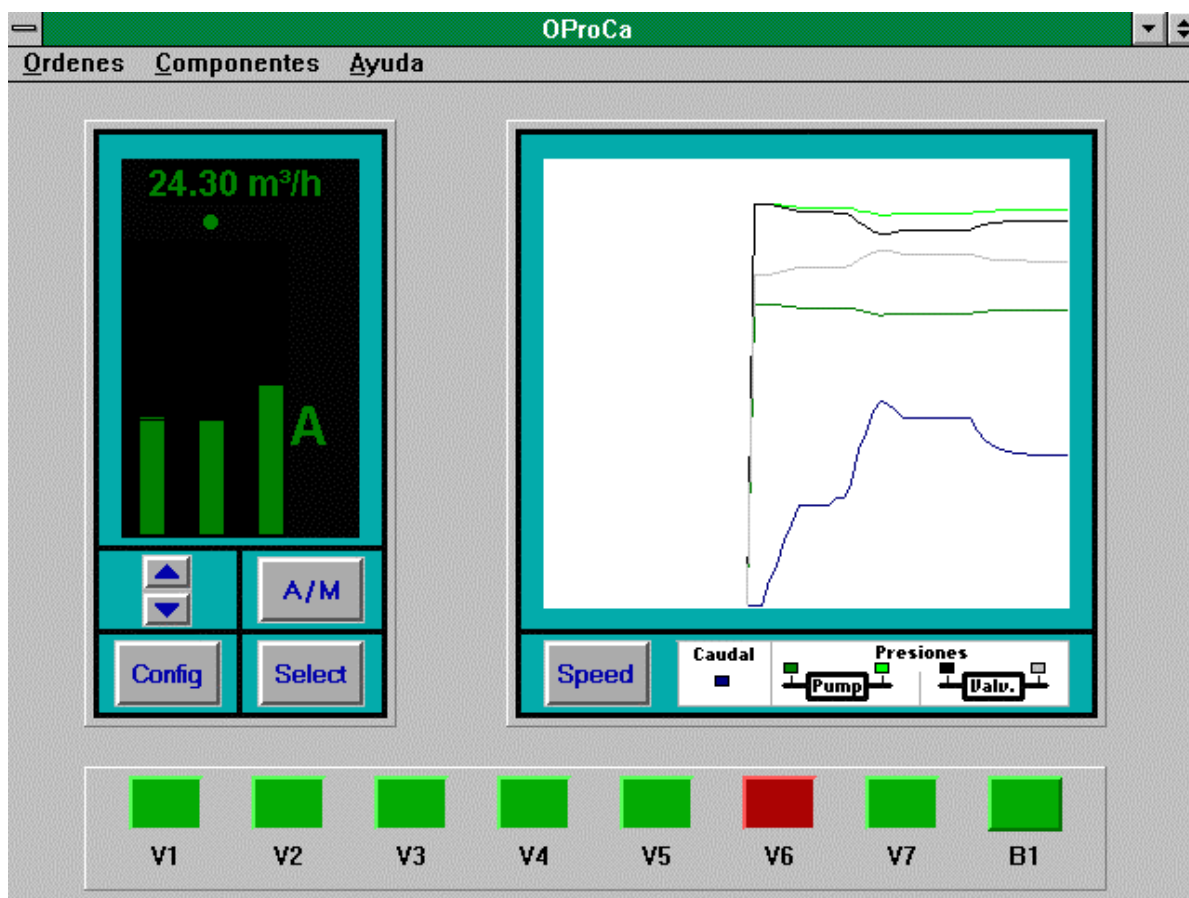


Figura 2

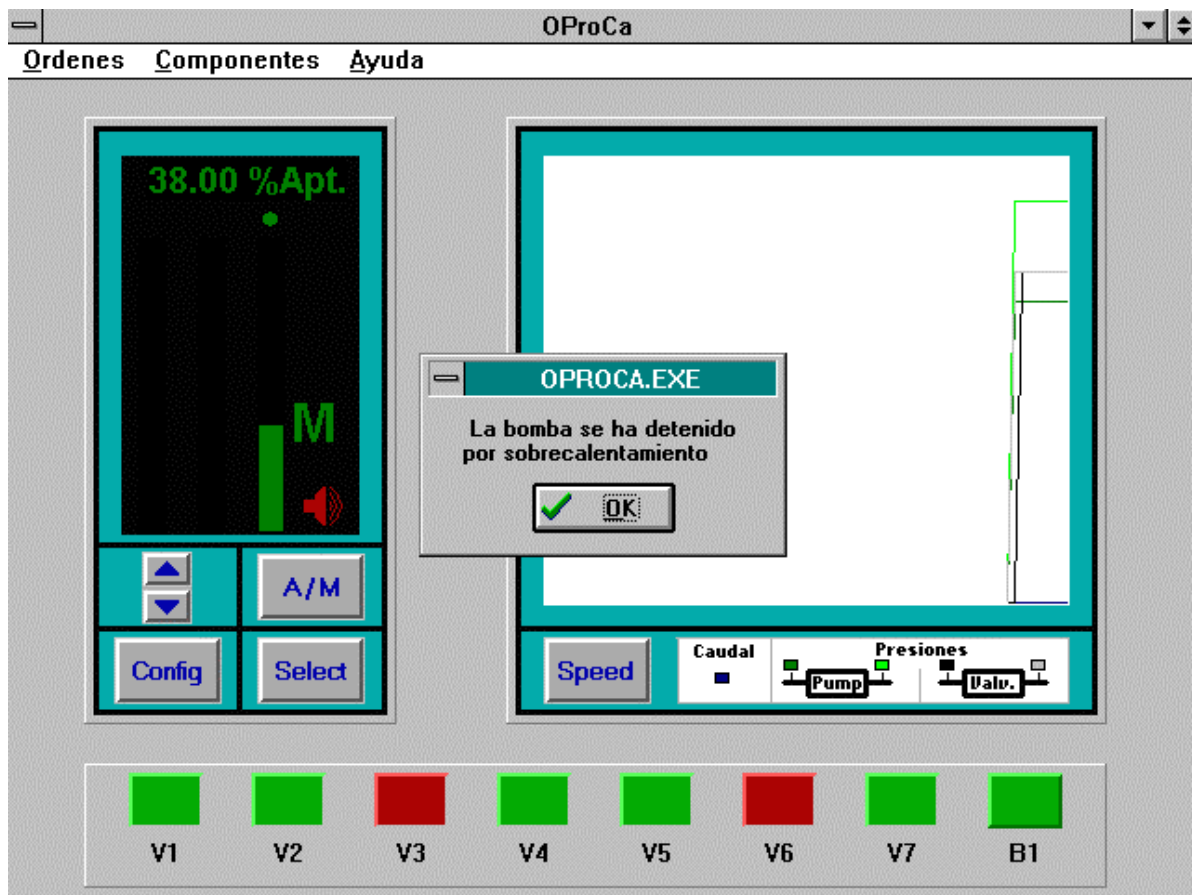


Figura 3