

TELEOPERACIÓN DE UN PÉNDULO INVERTIDO A TRAVÉS DEL WORLD WIDE WEB

J. Sánchez, S. Dormido, F. Morilla
{jsanchez, sdormido, fmorilla}@dia.uned.ed
Dpto. de Informática y Automática, UNED, C/. Senda del Rey nº 9, 28040 Madrid

Resumen

El Departamento de Informática y Automática de la Universidad Nacional de Educación a Distancia está trabajando en el desarrollo de nuevos paradigmas de laboratorios para la realización a través de Internet de experiencias prácticas de Control Automático sobre plantas y sistemas reales o simulados utilizando como medio de acceso la red Internet. Se presenta un ejemplo de control remoto on-line de un péndulo invertido utilizando como única herramienta un navegador WWW con soporte Java.

Palabras Clave: Teleoperación, laboratorio remoto, enseñanza a distancia, Internet, Matlab, Java.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, el modelado y la simulación dinámica se consideran las herramientas básicas para la constatación de los conceptos teóricos adquiridos mediante la realización de actividades prácticas sobre ciertos objetos que son inalcanzables para los estudiantes (distancias a los centros, horarios poco flexibles) o para los departamentos universitarios (precios muy elevados, carencia de espacios en los laboratorios, falta de personal técnico para su mantenimiento periódico) [1].

Lo que sí parece obvio es que la experimentación in situ con una planta u objeto real es insustituible por una simulación o por simuladores de entrenamiento [2] [3], sobre todo en lo referente a las sensaciones que percibe el estudiante que se sitúa ante el experimento. En muchas ocasiones esa percepción de que lo realizado tiene más validez ante una planta real que frente a una simulación no se corresponde con la realidad. En gran parte de las actividades con los dispositivos reales, la labor del estudiante se limita, exclusivamente, al cálculo e introducción de una serie de parámetros en la interfaz gráfica de un programa predeterminado para, posteriormente, obtener unos resultados cuantitativos, de forma que si la simulación del objeto es correcta, estos resultados no tienen que diferir en demasía con los derivados del trabajo ante una planta real, más aún si cabe, cuando estamos hablando de entornos de trabajo controlados

como son los laboratorios universitarios. Es cierto que en determinado tipo de prácticas, como es el caso de los laboratorios de Electrónica Digital, Arquitectura, Control o Robótica, la actividad del estudiante no se limita a la manipulación de parámetros sino que realiza diseños de diferentes sistemas sobre entornos gráficos en los que un icono puede representar tanto un objeto real como simulado, de forma que la labor de diseño se presenta independiente del objeto, en lo referente a su existencia o no.

Lo que no se discutirá aquí es que el trabajo con plantas reales conlleva la aparición de fenómenos (no linealidades, saturaciones de los actuadores) o situaciones imprevistas (irregularidades eléctricas y mecánicas) que habitualmente no son transportables a una simulación por la propia naturaleza estocástica del fenómeno o por simplificación, pero que contribuyen a enriquecer la experiencia práctica adquirida por el estudiante. *La educación práctica necesita apoyarse en errores e irregularidades, tal y como suceden en los sistemas mecánicos, eléctricos o químicos en oposición a los iconos y entornos ideales representados en el monitor de un ordenador.*

Además de lo anterior, en muchas ocasiones, las percepciones visuales, auditivas y táctiles derivadas del comportamiento del experimento real no son reproducibles por una simulación o sí lo son, pero a un coste monetario o temporal que no permite afrontar su desarrollo por parte de un grupo de trabajo de un departamento universitario. Esto se suma a que existen multitud de situaciones en los entornos industriales en los que los operarios realizan sus acciones correctivas sobre la base de lo que ven y a lo que escuchan cuando están ante el dispositivo en cuestión, es decir, toman decisiones operativas en base, únicamente, a su experiencia y a las percepciones cualitativas, logrando resultados sorprendentes y muy cercanos a como si las acciones correctoras se realizasen en base a un examen analítico y cuantitativo de la situación.

Continuando con la línea argumental, evidentemente en los laboratorios presenciales de prácticas estas sensaciones sí son percibidas por los estudiantes: el dispositivo en cuestión está próximo y se puede ver, tocar y escuchar qué es lo que se está realizando en cada momento, qué consecuencias se obtienen o qué

situaciones imprevistas se generan. Por todo ello, no podemos rechazar nunca la idea de que la experiencia práctica enriquece los conocimientos del estudiante de una forma no igualable por el trabajo con simulaciones.

Pero los laboratorios de prácticas, tal y como se conciben actualmente, están sometidos a una serie de factores que ponen coto a su aplicación ante determinadas situaciones, como son:

- Un elevado número de alumnos matriculados en la materia obliga al establecimiento de multitud de turnos y horarios, con el consiguiente perjuicio para los estudiantes (carencia de tiempo adicional en los laboratorios para completar sus trabajos, ejecución de pocos casos prácticos) y para los docentes (abandono de su actividad investigadora o realización de actividades extralaborales para cubrir los turnos y no desatender a los estudiantes del laboratorio).
- Los modelos educativos basados en la enseñanza a distancia. Esta modalidad de estudio ocasiona que los alumnos lleguen a trasladarse durante días o semanas al lugar en el que se realizan las prácticas. Y, ¿qué ocurre con aquellos que cursan sus estudios en el extranjero? En muchas ocasiones estos estudiantes se ven obligados a matricularse en otras carreras en las que la experimentalidad sea nula o pueda realizarse con un ordenador personal en el domicilio familiar. Aunque esta situación se puede resolver en parte mediante acuerdos con otros centros educativos dispersos por la geografía nacional o mundial, por varias razones no siempre esto es posible: ausencia de centros docentes del nivel educativo requerido, los centros no disponen del mismo equipamiento que la sede central o el equipo docente no está dispuesto a colaborar con alumnos pertenecientes a otras instituciones, robándoles tiempo a sus propios alumnos o a ellos mismos a cambio de ninguna compensación (lo cual es humanamente admisible).
- La carencia de recursos económicos, en muchos casos, obliga a que el número de experimentos disponibles en el laboratorio sea limitado. Esto, unido al número de alumnos y al reducido espacio de los laboratorios, lleva a situaciones en que las prácticas no se pueden desarrollar de la forma que los docentes y discentes desearan.

2 LA TELEOPERACIÓN COMO SOLUCIÓN

Para resolver o aliviar los problemas planteados anteriormente es necesario recurrir a un concepto ya estudiado desde hace algunos años [4], pero que ya está accesible al estudiante y al público en general gracias a la difusión actual de la red Internet: la teleoperación. De forma genérica, el término

teleoperación se puede definir como la posibilidad de manipular y controlar a distancia ciertos recursos con las mismas posibilidades que se tendría si se operara sobre ellos de forma local, manual y directa. Evidentemente la definición del término engloba muchas formas de actuación que pueden encuadrarse bajo el mismo paraguas: desde el control de un coche teledirigido por cable hasta el control mediante radiofrecuencia de los vehículos de supervisión sobre la superficie de Marte, pasando por el control telefónico del sistema de calefacción de una casa o el control de una cuenta bancaria a través de una página WWW o de un teléfono móvil con tecnología WAP.

Dentro del contexto en que nos movemos, acotaremos el término teleoperación al acceso a los elementos de un laboratorio de prácticas utilizando los recursos que nos brinda la red Internet y con un nivel de presencia suficiente para poder desarrollar las actividades prácticas con la misma validez a como si éstas se desarrollasen de la forma tradicional en las dependencias del laboratorio. Si este término, la teleoperación, lo aplicamos al caso que nos atañe, el acceso a los laboratorios presenciales sin restricciones temporales y espaciales, surge el concepto del laboratorio remoto basado en el WWW.

Pero, ¿qué razones nos llevan a pensar en la teleoperación como una posible solución o atenuante de los problemas que existen en los laboratorios experimentales universitarios? El acceso remoto a través de Internet posibilita que:

1. Los laboratorios estén accesibles las 24 horas del día, todos los días del año.
2. Los estudiantes no tengan que desplazarse al centro para la realización de las actividades prácticas.
3. Una mayor optimización en el aprovechamiento de los recursos.
4. El acceso a diferentes tipos de experimentos, con independencia de que los recursos de un centro sean escasos.
5. El alumno prepare con antelación sus experimentos en caso de que el acto de presencia en el laboratorio sea ineludible.
6. Se mejore el proceso de aprendizaje al poder establecer un nexo constante entre experimentalidad y teoría.

Una consecuencia de la creación de laboratorios remotos que aglutina los puntos anteriores y que merece especial atención por su importancia dado el modelo de sociedad y universidad hacia el que nos dirigimos presuntamente es la creación de redes interuniversitarias de laboratorios remotos. Si la

existencia de laboratorios remotos resuelve muchos de los problemas planteados anteriormente, la creación de consorcios extiende notablemente estos beneficios. Beneficios que redundan en las dos partes implicadas: los estudiantes dispondrían de una completa batería de actividades que con independencia del nivel de equipamiento de su universidad, mientras que los docentes contarían con distintas plataformas en que apoyar su docencia basada en la lección magistral minimizando los costes de adquisición y mantenimiento. Adicionalmente, el acceso a diferentes recursos experimentales gracias a la red permite una mayor integración del laboratorio en el curriculum educativo tanto desde un enfoque horizontal como vertical. Horizontal al poder los estudiantes acceder a laboratorios de diferentes asignaturas (control, robótica, visión, electrónica, inteligencia artificial, hidráulica, etc.) con independencia de la existencia o no de un laboratorio en su propio centro de enseñanza. E integración vertical al permitir al estudiante la realización de actividades prácticas de complejidad creciente dentro de la misma asignatura o línea docente.

3 UN EJEMPLO DE TELEOPERACIÓN: EL CONTROL REMOTO DE UN PÉNDULO INVERTIDO

Como forma de aproximación inicial para presentar de forma global las características del entorno de teleoperación, recurriremos a los requisitos y a los criterios de diseño que se han seguido

3.1. REQUISITOS

Los requisitos establecidos como punto de partida son:

- *Facilidad de comprensión y de utilización.* Se ha mantenido una interfaz de experimentación muy intuitiva y ya probada en otros entornos de simulaciones desarrollados en el Departamento [5] [6].
- *Supervisión on-line del entorno de experimentación.* El usuario desde el momento en que se conecta recibe información en tiempo real de lo que sucede en el sistema a través de varios canales: datos numéricos, animación del sistema y vídeo en directo.
- *Adecuada política de seguridad del servidor y del sistema físico.* El acceso al sistema se realiza a través de mecanismos de identificación. La seguridad del sistema físico queda totalmente asegurada tanto en el lado del cliente (controles limitados) como en el lado del servidor (filtrado de los comandos recibidos).
- *Software del cliente multiplataforma.* Ya que la interfaz de experimentación es un applet 100% Java, se puede acceder al entorno de experimentación desde cualquier sistema operativo que disponga de un navegador WWW con soporte Java y JavaScript.
- *Facilidad de instalación del software del cliente.* Se reduce a la instalación del navegador. No hay necesidad de plug-in o aplicaciones complementarias.
- *Seguridad del cliente.* El applet de experimentación no accede al sistema de archivos del cliente. Adicionalmente, la integridad del cliente queda garantizada por el modelo de seguridad que llevan implícitos los navegadores al ejecutar applets.
- *Gratuidad del software del cliente.* Los navegadores necesarios son completamente gratuitos y disponibles en multitud de repositorios de software.
- *Flexibilidad en la formulación de algoritmos.* La flexibilidad en la formulación de algoritmos queda garantizada para el profesor ya que se tiene que limitar a modificar el diagrama de bloques de Simulink y proceder a su compilación para la generación del nuevo código en tiempo real. El cliente no puede formular ni proponer nuevos algoritmos, sólo cambiar parámetros de control.
- *Descarga de datos experimentales.* Concluido el experimento se genera en el servidor un fichero en el que se almacena por cara período de muestreo todos los parámetros que se hayan especificado en el diagrama de bloques de Simulink. Este fichero puede ser recogido por el cliente desde el navegador para su análisis o entrega al tutor.



Figura 1: Péndulo invertido

- *Arquitectura abierta y modular para la inclusión de nuevos componentes y ejercicios con mínimo esfuerzo y interrupción en el servicio.* Se ha recurrido a una interfaz de navegación que posibilita la adición de nuevas experiencias mediante el empleo de

ficheros de descripción y de parametrización de los experimentos.

- *Adecuación del sistema físico.* El sistema físico seleccionado para el desarrollo práctico ha sido un péndulo invertido con movimiento lineal del pivote (figura 1), sistema que por sus características dinámicas y visuales presenta un excelente caso de aplicación. Se ha adquirido un bastidor con el fin de fijar su emplazamiento y poder colocar los elementos adicionales: computador, electrónica asociada al sistema (tarjeta de adquisición de datos, etapa de potencia), sistema de visualización e iluminación (caja de control, iluminación, cámara motorizada, servidor de vídeo).

- *Parámetros aceptables de calidad de servicio.* Se han incluido en la interfaz diferentes posibilidades para mejorar el tiempo de respuesta del lazo de monitorización así como acelerar la presentación de datos en la interfaz: desactivación de los registros de señal, desactivación de la animación del sistema (el brazo y carro del péndulo).

3.2. CRITERIOS DE DISEÑO

Para caracterizar el trabajo realizado frente a otros trabajos similares ya existentes [7] [8] [9] [10] [11] y resaltar sus principales diferencias y analogías, a continuación se enumeran algunos de los criterios de diseño considerados en su desarrollo:

- *Acceso global al laboratorio basado en datos.* El intercambio de información entre el servidor y el cliente se realiza mediante un pequeño protocolo de aplicación que permite:

- conocer el tipo de usuario,
- transmitir los vectores de parámetros y datos para cerrar el lazo de monitorización y
- gobernar el lazo de control (parada y arranque, periodo de muestreo).

Frente a la aproximación de acceso basada en intercambio de imágenes se consigue un intercambio de información sostenido minimizando al mismo tiempo los requisitos de ancho de banda. A cambio, el esfuerzo de desarrollo software es superior.

- *Gestión de acceso al recurso on-line.* La interacción con el sistema es completamente dinámica e interactiva. Desde el instante inicial en que el usuario se sitúa frente a la interfaz de experimentación recibe información en tiempo real del estado de la planta; todas las acciones que realice sobre la interfaz tendrán un reflejo inmediato en el comportamiento del sistema. Por otra parte, y dadas el diseño del sistema, se contempla la posibilidad de operación de forma pseudo-batch, es decir, se parametriza el experimento, se lanza y una vez

concluido se recogen los resultados; esto se consigue gracias a que se realiza una labor de buffering tanto en el servidor como en el cliente, recogiendo toda la información generada en cada período de muestreo durante el tiempo de experimentación para poder realizar posteriormente un análisis cuantitativo si es necesario. Se ha contemplado la existencia de un único cliente maestro de forma que los restantes clientes deben esperar a la conclusión de éste pero pueden visualizar a través de vídeo lo que está sucediendo en el sistema.

- *Ubicación del lazo de control en el servidor remoto.* El lazo de control se encuentra instalado de forma completa en el servidor remoto, cerrándose de forma local y no a través del cliente.

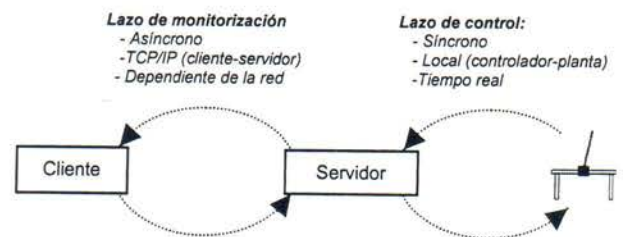


Figura 2: Esquema de teleoperación con ubicación local del lazo de control en el servidor remoto

La elección de este criterio de diseño conlleva la existencia de dos lazos de información: el lazo local de control de carácter síncrono y el lazo asíncrono de supervisión-monitorización cerrado a través del cliente y que se encarga de supervisar y gobernar el funcionamiento del lazo de control y el estado de la planta.

- *Generación de variaciones en las variables del proceso.* Se ha recurrido a dos técnicas: lectura de un fichero de datos y modificación on-line a través de la interfaz de experimentación. La introducción de variaciones por medio de una lectura de datos se realiza a partir del fichero de definición de experimentos.

- *Reemplazamiento del controlador.* En el ejemplo desarrollado, la política de reemplazamiento del controlador viene determinada por el entorno software que se ha utilizado para el diseño de la estructura de control y que en este caso es Simulink junto con el software WinCon de Quanser [12]. En el propio diagrama de bloques de Simulink se pueden colocar diferentes controladores y el instructor optar por uno u otro recurriendo al fichero de parametrización del experimento, o inclusive desde la propia interfaz de experimentación.

- *Modificación de la estructura de control.* Al igual que en el criterio anterior, la estructura de control

viene determinada por el software subyacente que controla el sistema, en este caso un fichero Simulink. En el ejemplo que se presenta aquí, el controlador y la estructura son únicos, pudiéndose sólo modificar los parámetros del controlador, bien desde el fichero de experimentación o mediante los controles de la interfaz.

3. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

La interfaz de experimentación del cliente está constituida por un applet Java que presenta dos elementos claramente diferenciables: la ventana de navegación para la selección del experimento (figura 3) y la ventana de experimentación (figura 4).

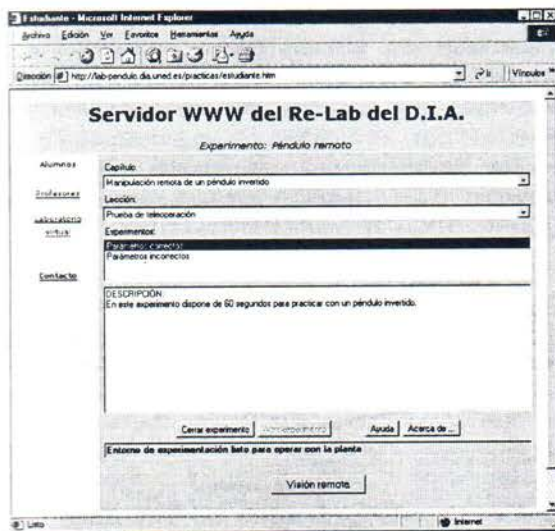


Figura 3: Ventana de navegación

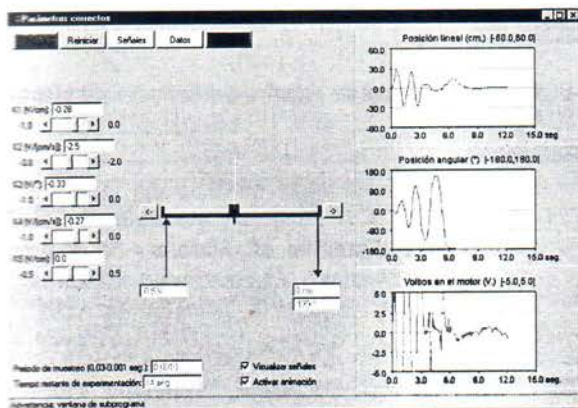


Figura 4: Ventana de experimentación

En el lado del ordenador conectado al sistema físico, existen varias aplicaciones software funcionando. Éstas son:

- Un servidor HTTP cuyo objetivo es proporcionar las páginas HTML que contienen los applets de experimentación y realizar un sencillo control de acceso a las páginas en función del tipo de usuario.

También ofrece las páginas HTML desde las que acceder al entorno de visualización remota [13].

- Un servidor concurrente, llamado servidor de planta, desarrollado ad-hoc, con una doble misión. Por un lado, tiene que interactuar con la tarjeta de adquisición de datos para servir el estado de la planta al lazo de monitorización que mantiene actualizada la interfaz de experimentación del usuario. Por otro lado, gestiona a través del espacio de trabajo de Matlab el entorno Simulink+Wincon desde el que se ordena tanto la activación del lazo de control como el cambio de ciertos parámetros (parámetros del controlador, período de muestreo). Por consiguiente, este servidor atenderá las conexiones de los applets de experimentación, estableciéndose todo el diálogo entre estas dos entidades mediante un sencillo protocolo de aplicación desarrollado a tal efecto.

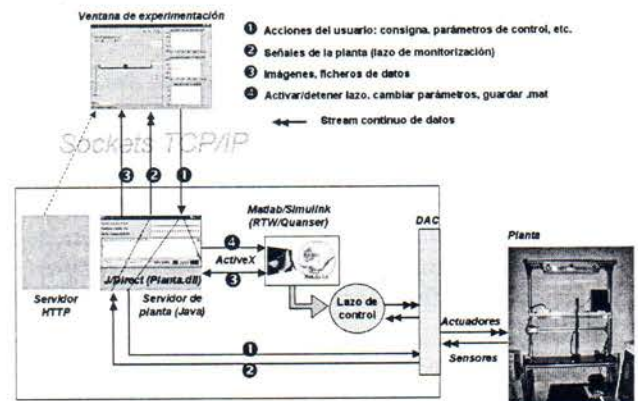


Figura 5: Esquema del entorno de teleoperación

- Wincon 3.0 es una aplicación Windows que ejecuta código C generado con Simulink utilizando Realtime WorkShop para obtener control digital en tiempo real sobre un PC equipado con una tarjeta A/D-D/A. Tanto la tarjeta MultiQ como el péndulo invertido están fabricados por la empresa Quanser Consulting, propietaria también del software WinCon.

- El entorno Matlab/Simulink. Su uso es imprescindible ya que el diseño y construcción del lazo de control se realiza en base a los bloques de Simulink más la librería de bloques proporcionada por el entorno WinCon para el control en tiempo real de la tarjeta. El espacio de trabajo de Matlab es el elemento base para el control de todo el software WinCon y, por lo tanto, para la gestión del lazo de control y sus parámetros asociados.

La comunicación entre Matlab y Java se ha realizado mediante la familia de protocolos ActiveX de Microsoft [14]. Para poder realizar desde el código Java determinadas funciones de bajo nivel relacionadas con el acceso a la tarjeta de control MQ3 (inicialización, lectura de los codificadores, envío de señales analógicas, etc.) ha sido necesario escribir en C++ una librería dinámica denominada *Planta.dll*. El

no utilizar la especificación JNI de Sun para encubrir el código C++ con una clase nativa Java viene motivado por el entorno de desarrollo Java que se ha utilizado en la programación del servidor de la planta. Para realizar la comunicación con Matlab a través de ActiveX es requisito ineludible el empleo del entorno de desarrollo Microsoft Visual J++, el cual no es compatible con la especificación JNI (*Java Native Interface*). Por este motivo es necesario acudir a la especificación J/Direct de Microsoft que facilita el acceso a las librerías dinámicas de Windows desde el código Java de una forma sencilla y cómoda.

3.1. LA INTERFAZ GRÁFICA DE EXPERIMENTACIÓN

En la figura 4 se puede observar el aspecto que presenta la interfaz gráfica de experimentación (IGE) para el control remoto del péndulo invertido durante la realización de un experimento.

La IGE se caracteriza por ofrecer todos los elementos necesarios para realizar una supervisión directa e interactiva del sistema. Además de ventanas para el registro del estado de la planta, la interfaz cuenta con una animación de las partes móviles del péndulo. De esta forma, el usuario cuenta con una visualización cualitativa (ventanas de registro de señal, campos numéricos) y cuantitativa del proceso (animación, vídeo).

Todos los elementos interactivos (deslizaderas, botones) se han posicionado directamente en la interfaz, sin necesidad de proceder a la apertura de cuadros de diálogo para acceder a ellos. Ello viene motivado por que la rápida dinámica de la planta aconsejaba que el usuario tuviera un acceso inmediato y directo a los elementos de control sin perder de vista su estado.

En lo referente al tiempo total que dispone un usuario para realizar la experiencia, éste viene fijado en función del experimento que haya seleccionado en la ventana de navegación y que, a su vez, determina el fichero de parametrización del experimento, archivo que se encuentra alojado en el servidor remoto.

3.2. EL SERVIDOR DE PLANTA

La interfaz del servidor de planta, tal y como recoge la figura 6, es muy sencilla ya que las funciones que debe prestar en modo local a un usuario son meramente informativas. La interfaz presenta tres partes claramente diferenciadas: los campos de información, el campo de mensajes que recoge el diálogo entre el cliente y el servidor, y la botonera de control.

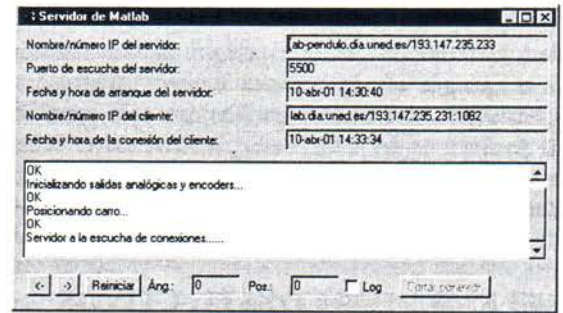


Figura 6: Interfaz del servidor de planta

El servidor de planta desarrollado en Java se caracteriza por estar diseñado para atender múltiples conexiones de forma concurrente, aunque en este caso sólo se ha contemplado la existencia de un cliente maestro. En lo que respecta a su operativa interna, ésta es muy similar a la de cualquier servidor concurrente: un proceso padre permanece a la escucha de conexiones entrantes en un puerto establecido por defecto; una vez establecida la conexión con el applet de experimentación, el proceso padre genera un thread, denominado *Conexion*, para atender en exclusiva la nueva conexión (figura 7)

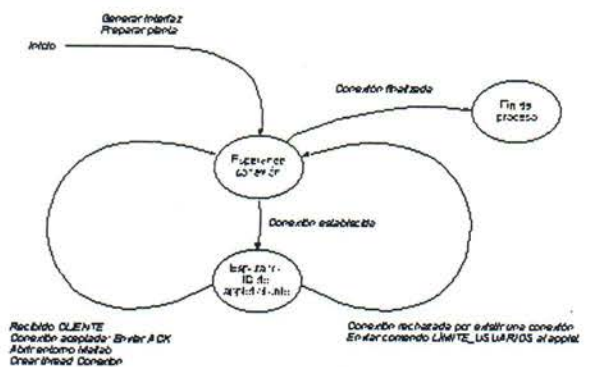


Figura 7: Diagrama de estados del servidor de planta

Referencias

- [1] Kheir, N.A., K.J. Åmstrom, D. Auslander, K.C. Cheok, G.F. Franklin, M. Masten y M. Rabins, "Control System Engineering Education", *Automatica*, Vol. 32, nº 2, 1996, pp. 147-166.
- [2] Poulis, D. y A. Pouliezios, "Computer Assisted Learning for Automatic Control", *The 4th Symposium on Advances in Control Education*, 14-16 julio 1997, Estambul, Turquía, pp. 181-184.
- [3] Cooper, D. y D. Fina, "Training Simulators enhance Process Control Education", *Proceedings of the American Control Conference*, junio 1999, San Diego, California, EE.UU., pp. 997-1001.

- [4] Sheridan, T.B., "Space Teleoperation Through Time Delay: Review and Prognosis", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 9, nº 5, octubre 1993, pp. 592-606.
- [5] Sánchez, J., F. Morilla, S. Dormido, J. Aranda y P. Ruipérez, "Conceptual Learning of Control by Java-based Simulations", IFAC Symposium on Advances in Control Education (ACE 2000), 17-19 diciembre 2000, Gold Coast, Australia.
- [6] Sánchez, J., S. Dormido y F. Morilla "Laboratorios virtuales y remotos para la práctica a distancia de la Automática", ONLINE EDUCA MADRID, 15-16 de junio 2000, Madrid, España.
- [7] Gillet, D., C. Salzmann y P. Huguenin, "A Distributed Architecture for Teleoperation over the Internet with Application to the Remote Control of an Inverted Pendulum", *Second Nonlinear Control Network (NCN) Workshop*, 5-7 junio 2000, París, Francia.
- [8] Overstreet, J. W, A. Tzes, "An Internet Based Real-Time Control Engineering Laboratory", *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 19, nº 5, octubre 1999, pp. 19-34.
- [9] Schmid, C., "Remote Experimentation Techniques for Teaching Control Engineering", *4ª Conferencia Internacional Científico-Técnica PROCESS CONTROL 2000*, 11-14 junio 2000, Kouty nad Desnou, Chequia.
- [10] Junge, T.F. y C. Schmid, "Web-based Experimentation Using a Laboratory-Scale Optical Tracker", *American Control Conference 2000 (ACC'2000)*, Chicago, Illinois, EE.UU., 28-30 junio 2000.
- [11] Sheng, W., L. Choo-Min, and L. Khiang-Wee, "A integrated Internet Based Control Laboratory", *IFAC Symposium on Advances in Control Education (ACE 2000)*, 17-19 diciembre 2000, Gold Coast, Australia.
- [12] URL: <http://www.wincon.quanser.com>
- [13] Dormido, S., J. Sánchez y F. Morilla, "Laboratorio Virtuales y Remotos para la Práctica a Distancia de la Automática", *XXI Jornadas de Automática*, 19, 20 y 21 de septiembre 2000, Universidad de Sevilla.
- [14] *Application Program Interface Guide, ver. 5*, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, 1998.