

LABORATORIOS REMOTOS PARA LAS PRÁCTICAS DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA EN LA UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

L.M. Jiménez, O. Reinoso, R. Puerto, J.M. Azorín
Universidad Miguel Hernández
Avda. Ferrocarril s/n 03202 Elche (Alicante) SPAIN
E-mail: luis.jimenez@umh.es

Resumen

En este trabajo se presentan las herramientas desarrolladas en el área de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad Miguel Hernández de Elche para la realización de prácticas remotas a través de Internet en la docencia de las materias de Regulación Automática, Robótica y Automatización Industrial.

Palabras Clave: Laboratorios Remotos, Internet, Docencia, Automática, Robótica, Automatización, Regulación.

1 INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el uso de las nuevas tecnologías en la educación ha experimentado un extraordinario crecimiento [1][3]. En la actualidad es fácil encontrar direcciones que ofrecen cursos de aprendizaje por Internet. Herramientas, tales como tutoriales, imágenes, videos o simulaciones, ofrecen excelentes oportunidades a los profesores y a los estudiantes. En todo caso, estos sistemas no permiten sustituir la realización de prácticas presenciales cuando la manipulación de sistemas físicos por parte del alumno, constituye una parte importante del proceso de aprendizaje. Este hecho es especialmente importante en las asignaturas impartidas en el área de Ingeniería de Sistemas y Automática.

La utilización de sistemas físicos como servomotores, péndulos, depósitos acoplados o sistemas de control de temperatura constituye una herramienta básica en los cursos de teoría de control. Por otra parte, el uso de autómatas programables que controlan líneas de producción, sistemas de clasificación o manipuladores es típico en cursos de automatización.

La docencia tradicional presencial en estos temas viene afectada por tres factores que degradan los resultados educativos:

- 1) *La limitada disponibilidad horaria de los laboratorios:* los alumnos pueden realizar experimentos en los laboratorios en unos horarios poco flexibles y en la mayoría de los casos demasiado ajustados. Por tanto el estudiante no puede experimentar libremente y analizar los aspectos que considere más necesarios con un mayor énfasis.
- 2) *Limitación en el número de puestos de laboratorio:* el alto coste de las maquetas y sistemas de control hace que el número de puestos disponibles sea bajo para el número de alumnos por grupo práctico. Esto provoca que deba compartir los equipos con tres o más compañeros reduciéndose en muchos casos el aprovechamiento de los experimentos realizados. Asimismo, limita la variedad de elementos físicos disponibles en un laboratorio.
- 3) *El sistema de evaluación:* los métodos tradicionales de presentación de informes con los resultados, en muchos casos no supone un mecanismo eficaz para el aprendizaje real. La autoevaluación por parte del alumno incentiva el autoaprendizaje y precisa de una actitud más activa durante las prácticas de laboratorio.

El uso de laboratorios remotos a través de Internet permite mejorar estos aspectos consiguiendo:

- Mejorar la disponibilidad de los equipos de laboratorio.
- Incrementar el número de prácticas.
- Horarios de acceso más amplios y flexibles.
- Incrementar la dedicación del alumno a la realización de las prácticas.
- Mejorar el proceso de aprendizaje.

A continuación se describen los desarrollos realizados para la puesta en marcha de tres laboratorios remotos conectados todos ellos a Internet:

- RECOLAB: laboratorio remoto vía Internet para docencia en control de procesos,
- AUTOLAB: Laboratorio de automatización y monitorización de procesos vía Internet para docencia de autómatas programables
- TITERE: laboratorio vía Internet de visión por computador.

2 RECOLAB

Este sistema pretende proporcionar una arquitectura general para la ejecución remota en tiempo real de esquemas de control realimentado sobre procesos físicos por medio de Matlab/Simulink. Los principales motivos por los que se ha optado por esta plataforma para el desarrollo de esta aplicación son varios: primero, Matlab, Simulink y los toolboxes necesarios constituyen una plataforma fiable, conocida y con amplio soporte técnico. Segundo, el tiempo de prototipado y desarrollo es bastante inferior al que presentan otras herramientas y plataformas (programación directa en un lenguaje de programación, etc.). Tercero, dicha plataforma suministra tanto herramientas para la ejecución remota de programas, como para la ejecución en tiempo real sobre un sistema físico, a través de un sistema de adquisición de datos, de un algoritmo de control determinado. Por último y no menos interesante es la gran cantidad de investigadores que utilizan esta plataforma como herramienta de desarrollo para simulaciones y generación de aplicaciones.

2.1 ESQUEMA GENERAL DE LA ARQUITECTURA

El esquema general de la arquitectura se muestra en la figura 1. En ella se puede apreciar los elementos tanto hardware como software necesarios en la zona local y remota:

- Zona local:
 - Computador
 - Cliente HTTP
 - Conexión a Internet
- Zona remota
 - Conexión a Internet de alta velocidad
 - Computador PC
 - Sistema de adquisición de datos: NI6024E
 - Sistema físico a controlar: Servomotor Feedback 33-002 (figura 2)

- Sistema operativo que permita establecer directivas de seguridad de acceso (Windows 2000 Server)
- Matlab R12, Simulink
- Matlab Web Server
- Real – Time Windows Target Toolbox
- Sistema de captura de imágenes y servidor de video: cámara Sony D31, servidor Axis 2400

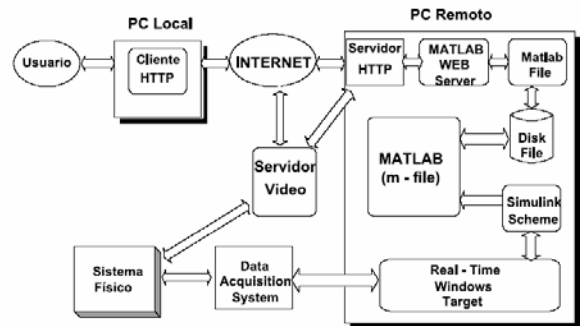


Figura 1: Arquitectura general de RECOLAB

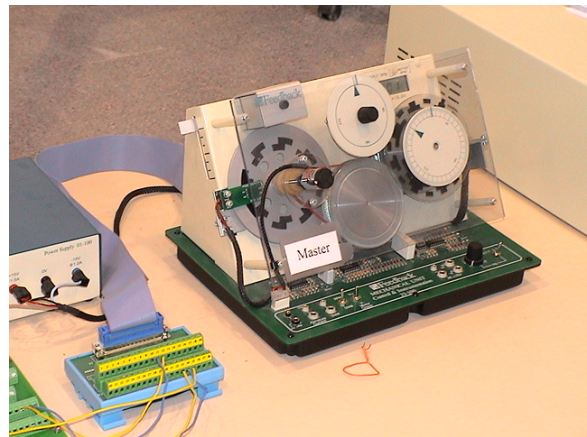


Figura 2: Sistema físico utilizado en RECOLAB

2.2 FUNCIONAMIENTO INTERNO DE RECOLAB

En esta aplicación cabe destacar dos aspectos bien diferenciados:

- La comunicación cliente – servidor a través del protocolo HTML:
- La ejecución en tiempo real de un esquema de control sobre un determinado sistema físico.

Para realizar las tareas referentes al primer aspecto se utiliza un servidor HTTP y una aplicación específica desarrollada en lenguaje PHP. Esta aplicación se encarga de la interfase de usuario, del control de acceso de usuarios, y el control de la ejecución y sincronización del resto de aplicaciones.

Para realizar las tareas concernientes al segundo punto (ejecución en tiempo real de un determinado esquema de control sobre un sistema físico) se utilizan las siguientes aplicaciones y toolboxes: Matlab, Simulink, y Real – Time Windows Target. Este último permite realizar una ejecución en tiempo real de un esquema Simulink sobre un determinado sistema de adquisición de datos (y por tanto sobre el sistema físico conectado a él). El hecho de ejecutar directamente un esquema Simulink supone una ventaja añadida ya que el tiempo y la complejidad de trabajar directamente en Simulink se reducen drásticamente, permitiendo una fácil creación y modificación de esquemas.

Para resolver la comunicación entre ambas aplicaciones se ha establecido una sincronización y transferencia de datos (entre la aplicación Web y Matlab) por medio de ficheros.

2.3 UTILIZACIÓN DE RECOLAB

La figura 3 muestra la aplicación Web encargada de la interfase de usuario. Los diferentes esquemas Simulink de control disponibles pueden ejecutarse tanto en simulación, como sobre el sistema físico real mediante una tarjeta de adquisición de datos. El usuario puede elegir diferentes estrategias de control y tipos de regulador, seleccionando los parámetros de acuerdo a la experimento a realizar.

Cuando termina la ejecución solicitada, el usuario puede descargar el conjunto completo de variables medidas del proceso. La página de resultados muestra de forma gráfica un extracto de esta información (la salida del sistema)

La mayor parte del portal Web RECOLAB puede ser accedido desde Internet sin ninguna restricción, en la medida que se trata de una herramienta educativa abierta. De esta forma puede ser utilizada por cualquier estudiante interesado en el control de procesos. Por otra parte existen opciones dentro del sistema que sólo puede ser accedido por usuarios validados. Estas opciones guardan relación con la utilización del sistema físico. El punto más crítico en RECOLAB es la ejecución en tiempo real de esquemas Simulink sobre sistemas físicos. Para tener un uso más eficiente de los recursos del laboratorio, este proceso precisa de una validación por parte del usuario.

El sistema RECOLAB está siendo ampliado actualmente con nuevos sistemas físicos, esquemas de control y reguladores.

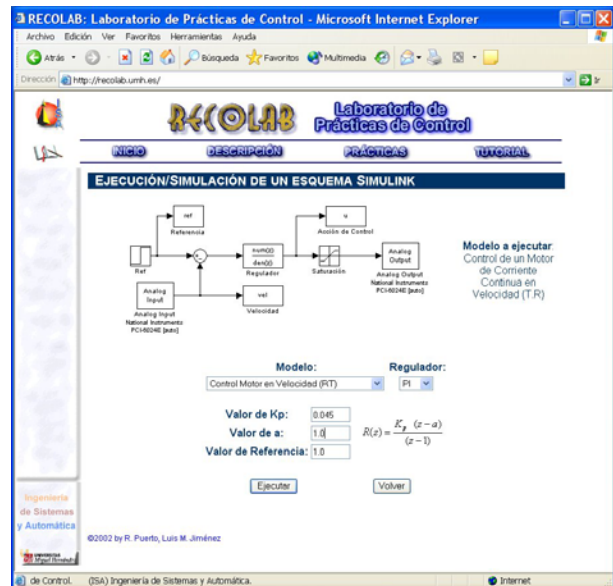


Figura 3: Interfase de Usuario en RECOLAB

3 AUTOLAB

Este sistema realiza la monitorización y control de un proceso, controlado por autómatas, a través de Internet. La arquitectura software utilizada, permite al usuario remoto conocer el estado de los sensores y mandar señales de control a los actuadores del proceso, mediante una interfaz gráfica accesible desde cualquier navegador web. Además, también se permite la descarga de programas creados por el usuario al autómata. El modelo de comunicación es el de cliente/servidor, en el que el PLC se comunica con el PC servidor mediante una aplicación Visual Basic, mientras que el PC servidor y el PC cliente intercambian datos utilizando el protocolo TCP/IP.

Las características básicas de este laboratorio son:

- Supervisión y control tanto desde un ordenador conectado a la subred MPI del autómata, con un aplicación Visual Basic, como desde un PC remoto, a través de internet, mediante un applet Java que se comunica con la aplicación Visual Basic mediante el protocolo TCP/IP.
- Se requiere una instalación mínima por parte del cliente: únicamente un PC con acceso a Internet, un editor de texto, un navegador web y el plugin de Java, descargable libremente desde la página web de Sun.
- Se posibilita la descarga de programas al autómata desde el PC remoto, de forma sencilla e intuitiva para el usuario remoto y sin necesidad de software adicional al ya mencionado.
- Captura y tratamiento de los errores más comunes que se pueden producir durante la supervisión.

- El usuario remoto dispone de una doble fuente de información de la evolución que sigue el proceso fruto del control que está realizando: la interfaz del applet que visualiza en el navegador y las imágenes reales que llegan del proceso desde el servidor de imágenes.

3.1 ESQUEMA GENERAL DE LA ARQUITECTURA

La maqueta a controlar está constituida por un manipulador electro neumático, que junto con el PLC y el PC servidor constituye la base del laboratorio virtual (figura 4).

El manipulador se controla mediante un autómata siemens S7-314 IFM. El PC servidor se comunica con el autómata mediante un adaptador MPI-Serie y ejecuta el servidor Web encargado de la interfase de usuario remota.

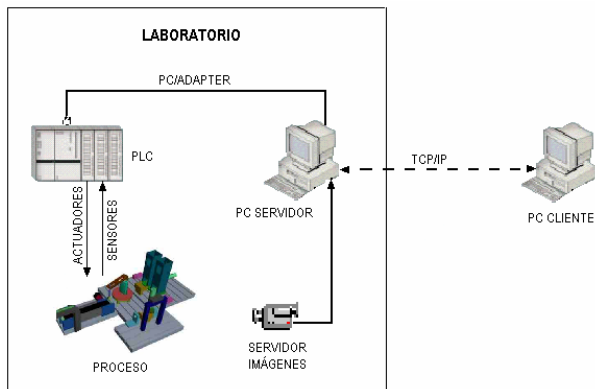


Figura 4: Arquitectura AUTOLAB

La figura 5 muestra la arquitectura software de AUTOLAB. La arquitectura software posibilita que el usuario remoto visualice en su navegador un applet Java (figura 6) desde el que se accede a las diferentes variables del proceso. Con objeto de que este applet pueda acceder a las variables del autómata, se ha desarrollado una aplicación Visual Basic residente en el servidor Web que se comunica directamente con el PLC s7-314 IFM mediante las librerías específicas de Siemens. Esta aplicación intercambia la información con el applet basándose en el protocolo TCP/IP utilizando el modelo de sockets.

Así mismo una aplicación en el servidor permite la descarga de programas en el autómata. Un formulario HTML actúa de interfase de usuario.

Actualmente se están introduciendo mejoras en la visualización del estado del proceso, el chequeo previo de los programas transferidos y el sistema de autoevaluación.

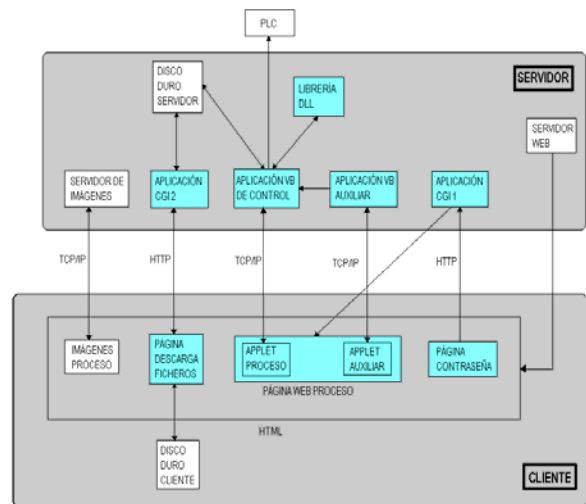


Figura 5: Arquitectura Software AUTOLAB



Figura 6: Aplicación Java de monitorización

4 TITERE

Se trata de un sistema para la realización de prácticas de visión por computador desarrollado originalmente en la Universidad Politécnica de Madrid (ETSII) y que se ha ampliado y mejorado mediante el trabajo conjunto con la Universidad Miguel Hernández.

Dispone actualmente de dos implementaciones:

- Una desarrollada en la Universidad Politécnica de Madrid, disponible para uso público en (<http://titere.disam.etsii.upm.es>). Se está utilizando ininterrumpidamente desde el curso académico 98-99 hasta la actualidad [5].
- Otra desarrollada en la Universidad Miguel Hernández de Elche, disponible para uso público en (<http://titere.umh.es>). Se ha empezado a utilizar en el curso 02-03.

Inicialmente el sistema fue diseñado para el aprendizaje de los fundamentos de Visión por Computador, dentro de las asignaturas de segundo ciclo. El alumno maneja el sistema con al menos alguno de los siguientes objetivos:

- Refrendar los conceptos teóricos adquiridos, mediante la realización de pequeños ejemplos prácticos
- Realizar las prácticas propias de la asignatura.
- Desarrollar pequeños proyectos o casos prácticos en equipo (de cuatro personas)

Posteriormente se ha extendido su uso en asignaturas de tercer ciclo. Varias Universidades Latinoamericanas utilizan este sistema como una herramienta disponible desde sus países. Ya que sólo es necesario un PC con conexión a Internet, el profesor puede usar el sistema fácilmente desde la clase, completando los conocimientos teóricos con la experimentación real.

4.1 ESQUEMA GENERAL DE LA ARQUITECTURA

La descripción del sistema Títere se divide en dos partes: los módulos físicos del sistema y la aplicación software de procesamiento de imágenes. Al existir dos implementaciones (U.P. Madrid, U.M.H. Elche) con un importante desfase temporal en su creación, los módulos no coinciden exactamente, estacándose las diferencias entre ambos.

4.1.1 Módulos del sistema existente en la Universidad Politécnica de Madrid

La arquitectura del sistema consta de tres módulos básicos: el laboratorio real, el servidor y el cliente remoto.

- Laboratorio real. El escenario (figura 7) que permite la captura de imágenes consta de tres componentes que son controlados por el cliente remoto: 1) Cámara color Sony EVI-D31 con control de pan, tilt y zoom (el enfoque y el iris se ajusta automáticamente). 2) Plataforma giratoria, para seleccionar distintas piezas. 3) Sistema de iluminación a contraluz con la posibilidad ser encendido o pagado.

- Servidor. Es un PC que interacciona con el laboratorio real, y con el cliente remoto a través de Internet. Entre sus elementos cabe destacar una tarjeta digitalizador Matrox Meteor, una tarjeta de entradas-salidas para controlar la mesa giratoria y la iluminación. El sistema operativo empleado es el Linux, el servidor es el Apache. Se emplean aplicaciones CGI para realizar el control de los dispositivos físicos.



Figura 7. Sistema Títere

- Cliente Remoto. El cliente remoto es un computador con cualquier sistema operativo, un navegador estándar y soporte para Java 1.0.2. Este soporte permite al alumno el acceso a los entornos de adquisición de imágenes y de procesamiento de las mismas. El entorno para la adquisición de imágenes se muestra en la figura 8. El sistema está disponible todos los días a cualquier hora, salvo las reservadas para las labores de mantenimiento.

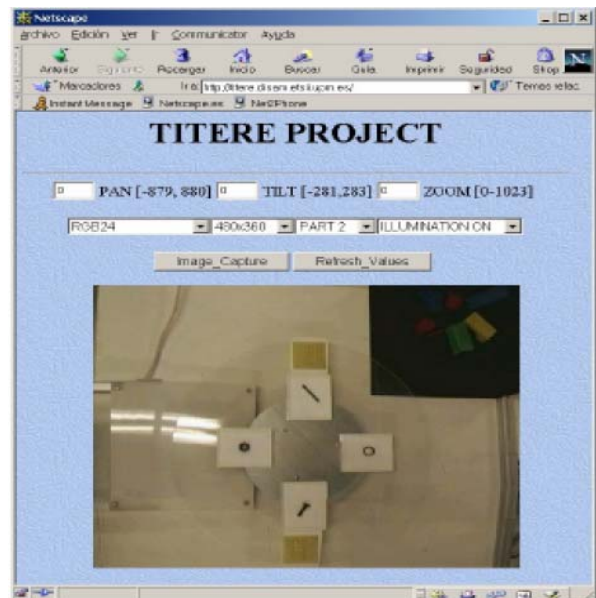


Figura 8. Entorno de captación de imágenes UPM

4.1.2 Módulos del sistema existente en la Universidad Miguel Hernández

Sobre la base del sistema TITERE original se ha implementado un nuevo equipo de captura de

imágenes que complementa al sistema actual. El sistema está constituido por los siguientes elementos:

- Servidor web : Se encarga de la interfase de usuario, secuenciando las peticiones al sistema, proporciona la documentación y el software descargable. La aplicación está desarrollada sobre PHP e incluye validación de los usuarios, así como una aplicación de gestión. (figura 9) (<http://titere.umh.es>)

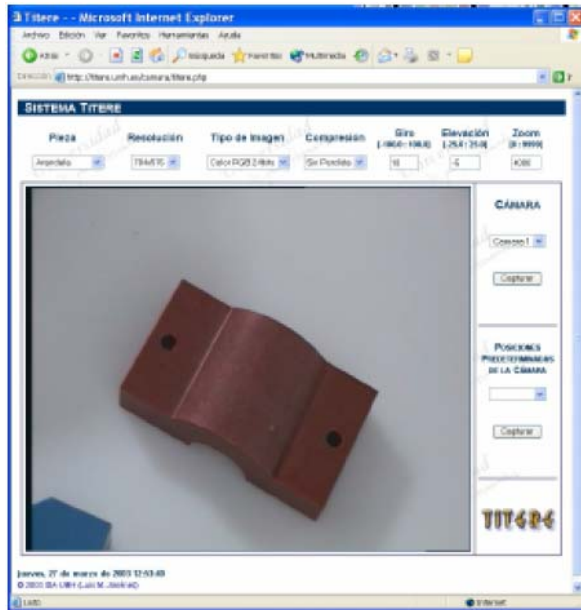


Figura 9. Entorno de captación de imágenes UMH

- Servidor de imágenes Axis 2400: Se trata de un sistema empujado con S.O. Linux que incorpora un servidor web de imágenes con captura de cuatro entradas de video en color estándar. Permite el muestreo y compresión de las imágenes para su transmisión.

Incorpora así mismo, el control de posición de las cámaras motorizadas mediante puerto serie RS-232/485. El servidor Axis ejecuta las aplicaciones software tanto de captura de imágenes como los movimientos de la cámara.

- Controlador empujado ICP 7188EA: Se trata de un microcontrolador empujado que incorpora módulos de entradas salidas Digitales y analógicas así como conexión de red pudiendo realizar el control remoto de los elementos adicionales de sistema. Permite el control del plato motorizado, del sistema de iluminación y la alimentación de las diferentes cámaras. Permitirá la incorporación de nuevos elementos al sistema TITERE.
- Cámara motorizada Sony EVI D31: Equipada con dos motores paso a paso permite el control de giro (pan), inclinación (tilt) y zoom. Dispone de

enfoco e iris automático. La transmisión de video en color se realiza mediante señal PAL entrelazada estándar. En control de posición se realiza mediante el interfaz VISCA según la norma RS-232.

- Sistema de posicionamiento de piezas: Se dispone de un motor Festo que permite el giro de un plato posicionador de piezas debajo de la cámara. Dispone de cuatro posiciones marcas mediante un sensor inductivo, y un sensor óptico para marcar una referencia de giro. El control del sistema es realizado desde el controlador empujado ICP 7188EA.
- Sistema de iluminación: El sistema de iluminación principal está basado en tubos fluorescentes para conseguir una iluminación difusa. Se dispone de dos sistemas específicos para la realización de prácticas adicionales
 - Sistema de iluminación a contraluz: mesa de iluminación a contraluz mediante fluorescentes.
 - Sistema de iluminación láser: equipado con un diodo láser de 650 nm y una óptica que genera un plano. Permite realizar prácticas sobre sistemas de reconstrucción 3D mediante luz estructurada.

Adicionalmente se está desarrollando un modulo para el posicionamiento lineal de piezas que permita la captura del perfil superficial de piezas mediante luz estructurada (láser). El sistema incluirá un posicionador lineal, un diodo láser con óptica de formación de plano y una cámara CCD monocromo.

4.1.3 Módulo de Procesamiento de Imágenes

Un módulo de procesamiento de imágenes (figura 10) ha sido desarrollado utilizando el lenguaje Java y puede ser cargado en la memoria del cliente como applets. La interfase consta de un área de trabajo con diferentes bloques que pueden ser conexiones por el usuario. Cada bloque realiza un procesamiento de imágenes o una operación de lectura-escritura. Este esquema presenta para el alumno muchas ventajas, pues puede construir complejos procesamientos a partir de sencillas operaciones. El contenido del área de trabajo (bloques, parámetros y conexiones) puede ser grabado por el alumno, lo que facilita el desarrollo de las prácticas y su evaluación.

Este módulo es común y ha sido mejorado recientemente con la inclusión de nuevos algoritmos de procesamiento de imágenes.

Se dispone de dos formas de usar el módulo de procesamiento de imágenes: en red y en local.

- En red, el usuario se conecta al servidor, y las applets de Java son cargadas en la memoria del computador del cliente remoto. Cuando se cierra el navegador, la única forma de volver a ejecutar el programa es volviendo a descargar la página a través de Internet. Por las restricciones impuestas al lenguaje Java por motivos de seguridad, un applet no puede acceder al disco duro del cliente. Para facilitar el almacenamiento de datos, los usuarios (si han sido dados de alta) disponen de un espacio en el disco duro del servidor. Estas operaciones son transparentes para el usuario.

- Por si el usuario no desea o no puede conectarse al servidor, se ha desarrollado una segunda versión del módulo de procesamiento de imágenes que se denomina local. Esta versión puede acceder al disco duro del cliente y ejecutarse como una aplicación local por medio de un interprete de Java. Para grabar imágenes a través del módulo de captación de imágenes es necesario hacerlo desde la versión en red.

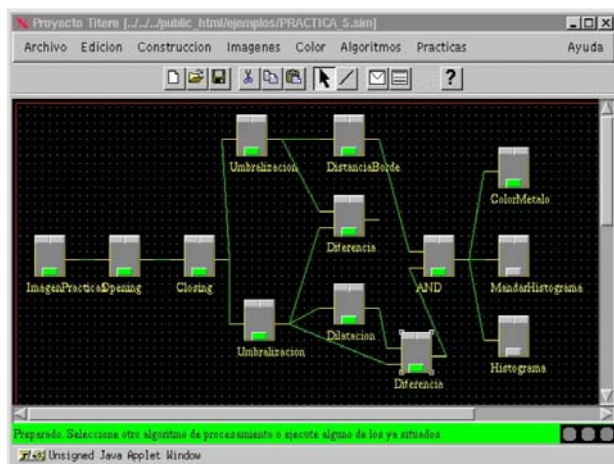


Figura 10. Módulo de procesamiento de imágenes

5 CONCLUSIONES

Se han presentado tres laboratorios remotos vía Internet para la realización de prácticas en los campos de diseño de reguladores para sistemas de control realimentado, automatización de líneas de producción, y visión por computador. Representan el fruto del trabajo de los profesores del área de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad Miguel Hernández de Elche para la mejora de la docencia de las asignaturas en sus diferentes titulaciones.

Referencias

- [1] Aktan B., C.A. Bohus, L.A. Crowl, and M.H. Shor, "Distance Learning Applied to Control Engineering Laboratories." *IEEE Transaction on Education*, vol. 39, pp. 320-326, Aug. 1996.
- [2] Paya, L., J.M. Azorin, N.M. Garcia, J.M. Sabater, C. Perez and R.P. Neco (2003). Process control and supervision through internet. Proceedings of the International Conference on Engineering Education, Valencia, Spain.
- [3] Poindexter S.E, Heck B.S, "Using the Web in Your Courses: What Can you Do? What Should You Do?" *IEEE Control System*, pp. 83-92, Feb. 1999.
- [4] Puerto, R., O. Reinoso, R.P. Neco, N.M. Garcia and L.M. Jimenez (2001). Remote lab for control applications using matlab. Internet Based Control Education 2001. A proceedings volume from the IFAC Workshop Madrid.
- [5] Sebastián J.M., García D., Santo, D, Campoy, P. (1999): "Proyecto Títere. Realización de prácticas de laboratorio en puestos de trabajo remotos mediante la transmisión de imágenes por red telefónica conmutada". XIX Jornadas de Automática, pp. 21-27.