

PROYECTO TITERE. REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN PUESTOS DE TRABAJO REMOTOS MEDIANTE LA TRANSMISIÓN DE IMÁGENES POR RED TELEFÓNICA CONMUTADA

José M^a Sebastián y Zúñiga (jsebas@disam.upm.es)

David García Dolla (dgarcia@disam.upm.es)

David de los Santos Cerezo (dsantos@disam.upm.es)

Pascual Campoy Cervera (campoy@disam.upm.es)

Departamento de Ingeniería Automática, Electrónica e Informática Industrial, UPM

José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid

Introducción

El presente artículo presenta un novedoso sistema, que permite la realización de prácticas de laboratorio desde puestos de trabajo remotos. Aunque la idea inicial es aplicarlo a prácticas de Visión Artificial, se puede utilizar en todas aquellas prácticas en las que su realización implique la visualización de la evolución de un sistema físico o la evaluación de magnitudes o formas implicadas en el proceso [Sebastián 96]. Con este sistema se pretende proporcionar al alumno un conjunto de recursos necesarios para el aprendizaje (dispositivos físicos escasos, programas y fundamentos teóricos del procesamiento de imágenes,...), en un entorno atractivo para el alumno.

El proyecto forma parte del programa PAUTA (Programa de mejora de las enseñanzas Prácticas basadas en el AUToaprendizaje), convocatoria 1996, y está financiado por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, la Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial y la Sociedad de Amigos de la Escuela. Como resultado se ha desarrollado un primer prototipo TITERE (<http://electra.disam.upm.es>). Este sistema está constituido por un área de trabajo situada en el laboratorio en el que se ha instalado un módulo de adquisición de imágenes, con diversos objetos para su análisis, así como de una conexión a Internet, a través de la cuál el alumno accede al sistema. De esta forma podrá interactuar con el entorno de captación de imágenes, variando la posición de los elementos y las condiciones de iluminación. A continuación se detallan algunas de las ventajas que aporta éste sistema:

- Utilización en entornos en los que no es posible o recomendable la presencia del alumno en contacto con el sistema real, por cualquiera de las siguientes causas: utilización de medios caros o escasos, óptima utilización de los mismos,

ambientes dañinos para la observación (radiación, térmicos...)

- No es necesaria la existencia de horarios prefijados para la realización de las prácticas, lo que permite una mejor asimilación de los conceptos por parte del alumno, con la posibilidad de repetir las prácticas cuantas veces desee, o llevarla a cabo en el momento que se dominen los conceptos teóricos

- Posibilidad de realizar una evaluación flexible y rápida, inherente a cualquier sistema informatizado.

Descripción del sistema

Físicamente, el sistema TITERE está constituido por tres módulos fundamentales:

- ◆ **Módulo servidor de imágenes.** Permite tanto la adquisición de imágenes estáticas como la actuación sobre el entorno. El sistema operativo empleado es Linux, y sobre el se ha instalado un servidor httpd de tipo Apache. Se compone de los siguientes elementos físicos:

- Cámara color motorizada, Sony EVI D31, con tres grados de libertad (pan, tilt y zoom)
- Tarjeta digitalizadora de imágenes, Meteor II, de Matrox.
- PC con conexión a Internet, y tarjeta de entradas/salidas digitales.
- Selector automático de piezas
- Sistema de iluminación controlada

- ◆ **Módulo de transmisión de información e imágenes:** el soporte elegido es la red Internet.

- ◆ **Módulo cliente remoto:** es el puesto empleado por el alumno para la realización remota de las prácticas. Puede estar ubicado en el domicilio del alumno o en el propio laboratorio. Consta de:

- PC con conexión a Internet

- Navegador estándar, con soporte para Java 1.0.2

- **Tutoriales escritos en HTML.** Recogen las técnicas de procesamiento de imágenes más

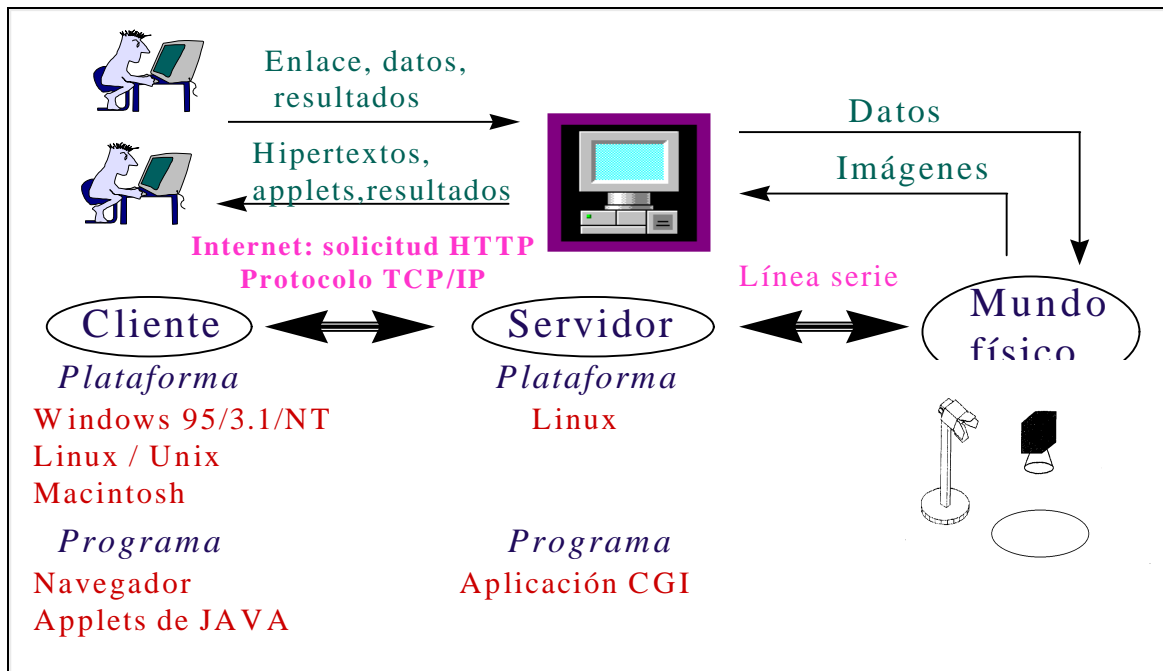


Figura 1. Esquema del sistema TITERE

El espectacular desarrollo acaecido durante los últimos años en las técnicas multimedia y en especial en lo relativo a Internet [Greenhalgh 95], ha posibilitado la masiva utilización de nuevas tecnologías en el campo de las comunicaciones. El presente proyecto no se ha mantenido al margen de estas tendencias, haciendo uso de las siguientes (figura 1):

- **Aplicaciones CGI** (Interfaz de pasarela común) para el control de los elementos físicos en el módulo servidor de imágenes. Las aplicaciones CGI [NCSA 95] se caracterizan por ejecutarse en la CPU del servidor, permitiendo ser invocada a partir de una página web, desde donde se realiza el paso de parámetros y la visualización del resultado. En el caso del sistema TITERE, es posible seleccionar las características de la imagen a capturar y visualizar la última imagen capturada.

- **Applets de Java** [Sun 96] para realizar el procesamiento de las imágenes capturadas. Consiste en un conjunto de programas que se cargan en la memoria del módulo cliente remoto al acceder a la página web que las contiene. En el caso del sistema TITERE se ha desarrollado un completo entorno de captura y procesamiento de imágenes.

- **Simulaciones VRML** [SGI 95], para simular mediante realidad virtual el entorno de captura de imágenes.

referenciadas en la literatura especializada. Sirve de soporte teórico para la realización de las prácticas.

Esquemáticamente el control del sistema se realiza en las siguientes etapas:

- Los comandos solicitados por el cliente remoto, producen la ejecución de aplicaciones CGI en la CPU del servidor. De ésta manera el problema del control remoto de los dispositivos físicos se reduce a uno de control del hardware local.

- La aplicación que se ejecuta en el servidor, conoce en todo momento el estado del equipo a controlar. Además, por el hecho de que pueda existir un determinado número de usuarios accediendo al recurso al mismo tiempo, se ha creado un sistema de control de acceso al recurso. De esta manera, si el usuario accede al recurso y este se encuentra en estado libre, toma control sobre él, pasando a estar en estado ocupado para el resto de los usuarios.

Opciones del sistema

En éste apartado se describen las opciones disponibles en el sistema TITERE.

♦ **Simulación.** Con objeto de facilitar el manejo del sistema se ha desarrollado una simulación en realidad virtual del entorno de trabajo remoto. En las primeras pruebas desarrolladas con este sistema se observó la dificultad de orientación que tenían las personas que tomaban contacto por primera vez con el sistema. La inclusión de una simulación interactiva del espacio donde se realiza la captura de imágenes incrementa notablemente la facilidad de uso y tiempo dedicado a la captura de la imagen deseada (ver figura 2). Este entorno puede ser

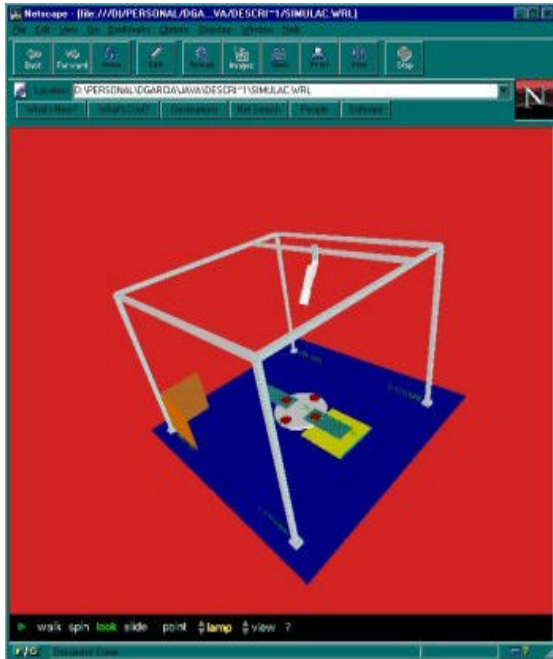


Figura 2. Simulación

también especialmente útil en la extensión del presente sistema para la realización de prácticas en otras áreas.

♦ **Captura de imágenes.** A modo de formulario, presenta dos áreas diferenciadas (ver figura 3). La primera, encargada de los datos de control, está constituida por menús desplegables y áreas de texto para la fácil introducción de datos. Entre las opciones a controlar está el posicionamiento de la cámara (tres grados de libertad: giro, elevación y zoom), las características cromáticas de la imagen capturada (blanco y negro, rgb16 o rgb24), su resolución, el estado del elemento posicionador de piezas y el estado de la iluminación. La segunda lo constituye la última imagen capturada por el sistema. La imagen capturada se presenta en formato JPEG con pequeña pérdida de calidad.

♦ **Procesamiento de imágenes.** El módulo de procesamiento de imágenes está constituido por dos partes: sistema de captura de imágenes y sistema de procesamiento de imágenes, ambos desarrollados con lenguaje Java y que aparecen en pantalla como

ventanas independientes. Ambos módulos permiten la adquisición y el procesamiento de las imágenes adquiridas on-line.

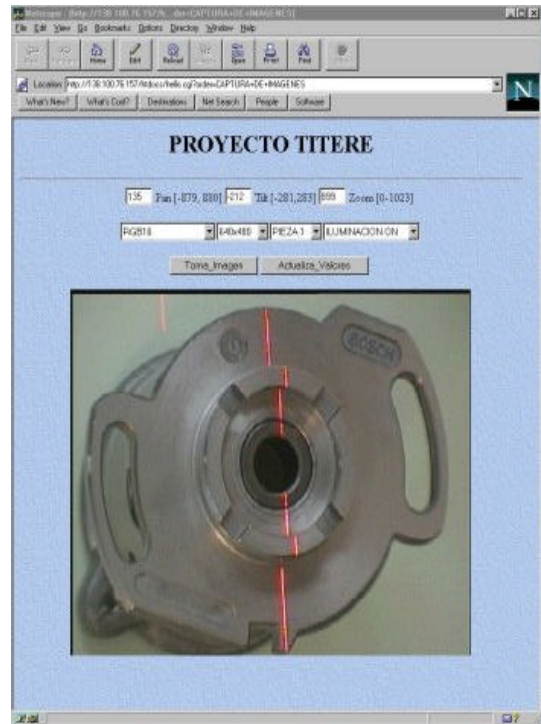


Figura 3. Captura de imágenes

La filosofía de trabajo del programa de procesamiento es similar a la desarrollada en el conocido entorno Khoros (<http://www.khoros.com>), también utilizado en labores de enseñanza de procesamiento de imágenes [Rasure 94]. Esta consiste en un área de trabajo sobre el que se sitúan diferentes bloques que se interconectan entre sí. Cada uno de estos bloques representa una operación sencilla del tipo operaciones de entrada / salida o procesamiento de la imagen (ver figura 4). Una ventaja de esta filosofía de trabajo es que permite realizar procesamientos muy complejos a partir de la combinación de bloques predefinidos encargados de operaciones muy sencillas. Esto da lugar a que el alumno pueda desarrollar planteamientos más o menos novedosos a la hora de afrontar un problema. Por otro lado, el contenido del grafo desarrollado (los bloques con sus parámetros y las conexiones entre ellos) se almacena muy fácilmente en un fichero de texto, lo que facilita la recuperación del trabajo previamente realizado o las tareas de evaluación, como más adelante se describe.

Se propone una doble forma de trabajo con el sistema Títere: on-line o local. Para trabajar on-line, el usuario, al conectarse al servidor, carga las aplicaciones en la memoria de su ordenador.

Cuando finaliza y cierra la aplicación, ésta desaparece de la memoria y la única forma de volver a ejecutarla es conectándose de nuevo al servidor. De acuerdo con los criterios de seguridad impuestos por el lenguaje Java, se han desarrollado versiones del sistema de captura y procesamiento de imágenes que permiten procesar las imágenes capturadas con la cámara sin necesidad de grabar la imagen a disco. Para el trabajo local se ha elaborado una versión del programa de

las características y el funcionamiento del sistema TITERE. El índice de temas tratados sobre procesamiento de imágenes es el siguiente:

- Introducción a la visión artificial.
- Digitalización.
- Características de una imagen.
- Transformaciones de una imagen.
- Reducción del ruido.

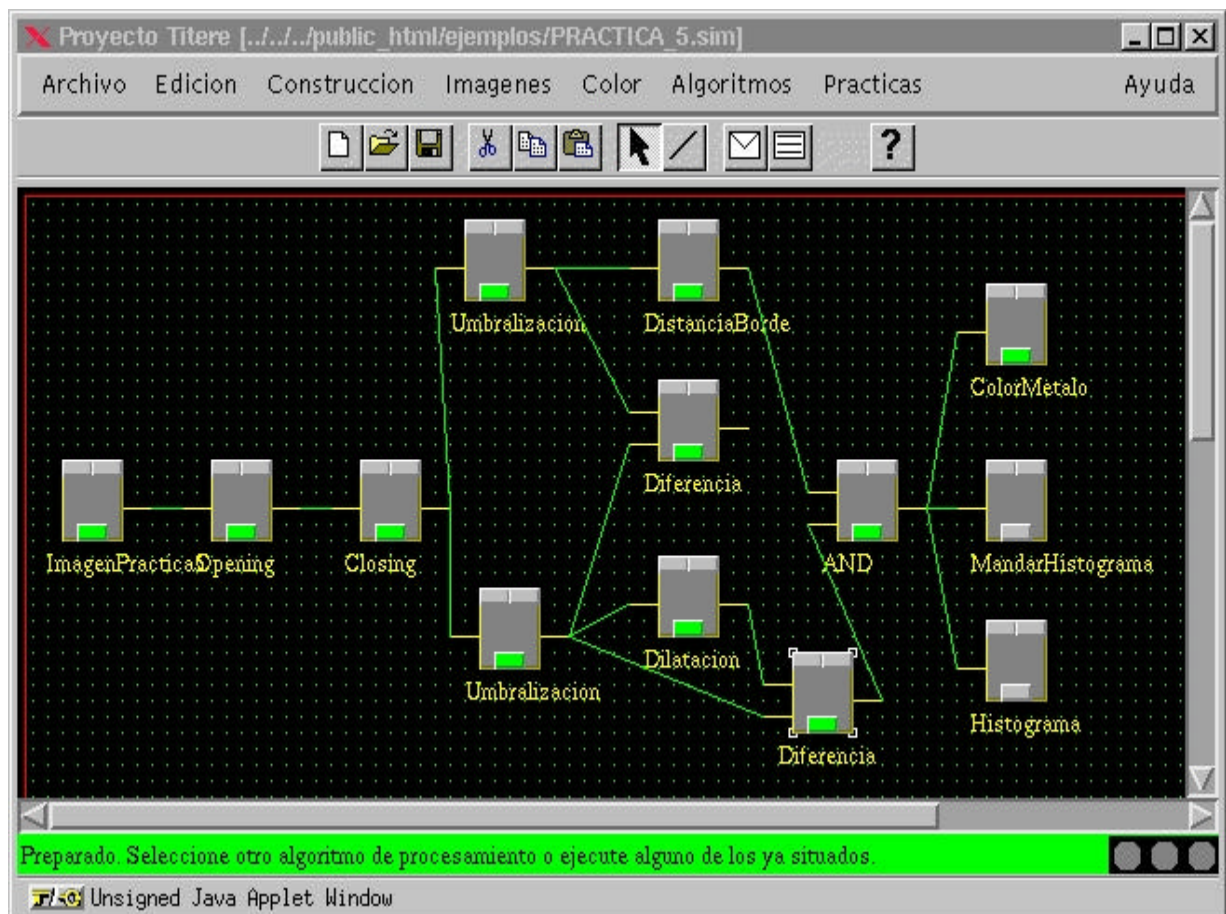


Figura 4. Procesamiento de imágenes

procesamiento de imágenes para ser ejecutado como aplicación, por medio de un intérprete de Java. La versión local se almacena en el disco duro del usuario y se ejecuta de forma similar a la de cualquier otro programa convencional. De esta manera, el usuario únicamente tiene que conectarse a Internet cuando quiera capturar una nueva imagen. Por último, para mejorar la ejecución y evitar la necesidad de instalar y utilizar un intérprete se ha realizado una compilación a código nativo de Windows.

♦ **Tutorial.** Constituido por dos secciones diferentes. La primera desarrolla un tutorial sobre técnicas de procesamiento de imágenes para servir como base para los usuarios que se quieran introducir en este campo. La segunda parte explica

- Realce basado en el histograma.
- Aumento de la nitidez.
- Detección de bordes.
- Transformaciones morfológicas.
- Reconstrucción geométrica.
- Procesamiento del color.
- Segmentación de imágenes
- Descripción de características
- Técnicas clásicas de reconocimiento

♦ **Prácticas y evaluación.** A continuación se presenta el índice de las prácticas desarrolladas:

- Práctica 1: Filtrado del ruido en una imagen

- Práctica 2: Detección de bordes presentes en una imagen
- Práctica 3: Procesamiento de imágenes en color
- Práctica 4: Segmentación, localización y reconocimiento de piezas
- Práctica 5: Análisis de la Metalografía
- Práctica 6: Detección de defectos en placas de circuitos impresos

En cada una de estas prácticas se propone unos planteamientos teóricos básicos, con una metodología de desarrollo de la práctica y unos objetivos a conseguir. Dependiendo de la práctica, se parte de unas imágenes predefinidas o se utilizan las imágenes que el usuario adquiera con el sistema Títire. En general, las prácticas incluyen métodos específicos que te permitan cuantificar la calidad del análisis realizado por el alumno.

En lo que se refiere a la evaluación de las prácticas, se han implementado diferentes estrategias. La primera de ellas consiste en incluir en la práctica un formulario que el alumno debe rellenar, en el que responde a una serie de preguntas clave asociadas a la realización de la práctica y los resultados obtenidos. Los resultados introducidos por el alumno son analizados en el servidor y analizados automáticamente por programas desarrollados específicamente. El criterio que se sigue a la hora de valorar no es tanto el grado de acierto total en las respuestas presentadas sino que el alumno no presente resultados incoherentes o que indiquen una falta de entendimiento de los temas analizados. Una segunda forma de análisis consiste en que el alumno mande las imágenes originales y el grafo que describe el entorno de trabajo. Esto permite tener más constancia de la estrategia seguida por el alumno a la hora de analizar el problema propuesto.

Ejemplo

A continuación se describe una de las prácticas propuestas. Se trata de lo que se ha denominado *Análisis de la Metalografía* y que consiste en la determinación del ancho de la zona periférica de un redondo de acero con alto contenido en carbono mediante técnicas morfológicas. El objetivo de la práctica es suministrar al alumno una herramienta para medir la anchura de la zona periférica con alto contenido de carbono, en piezas sometidas a un tratamiento de cementación, para aumentar la resistencia al desgaste del material. La entrada de la práctica son un conjunto de cinco imágenes, una de las cuales se muestra en la figura 5:

Para resolver el problema, se sugiere la utilización de los siguientes algoritmos:

- Morfológicos (erosión, dilatación, opening, closing)

- Binarización por umbral simple
- Manipulación de dos imágenes (diferencia, AND)
- Generación de características (Histograma)

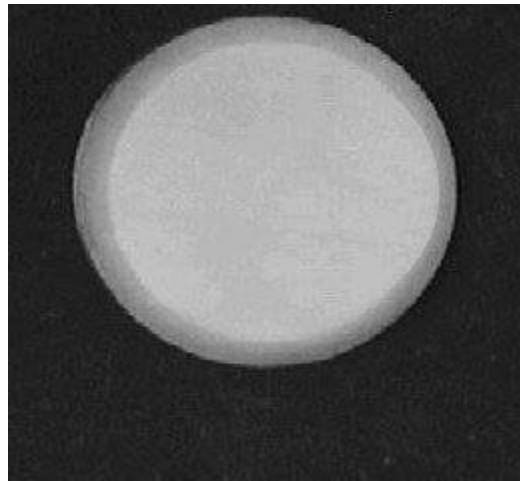


Figura 5. Redondo de acero

Además, se han creado dos algoritmos específicos para ayudar a su resolución y fácil visualización. Estos son:

- **DistanciaBorde.** Calcula la distancia de un punto perteneciente a un objeto binario al borde de dicho objeto más próximo.
- **ColorMetal.** Representación en falso color de los píxeles de una imagen en función de un umbral.

Los pasos que se propone realizar son los siguientes (grafo de la figura 4):

- **Filtrado de la imagen.** Las imágenes captadas poseen un cierto nivel de ruido. Se propone la utilización de Opening y Closing, aunque queda a libertad del alumno el utilizar adicionalmente otros.
- **Binarización de las imágenes.** Las imágenes se componen de tres campos diferenciados, que indicados de fuera a dentro son los siguientes: fondo, periferia y núcleo. El alumno deberá obtener imágenes binarias que incluyan la información relevante de las imágenes iniciales. Es necesario obtener una imagen binaria que incluya a toda la pieza, periferia y núcleo; y otra imagen binaria que incluya sólo al núcleo. Se obtiene pues dos imágenes binarias, que se pueden denominar PIEZA y NUCLEO. Cada una de ellas debe ser compacta. Si existieran pequeñas lagunas, sería necesario realizar un nuevo filtrado sobre la imagen binaria con un Closing.
- **Determinación de la distancia al borde.** Para la imagen binaria de la PIEZA, se determina la distancia de cada píxel del objeto al borde mediante el algoritmo de *DistanciaBorde*. Este algoritmo necesita una

máscara de avance que se recomienda sea de 3 x 3 en estrella (0 1 0, 1 1 1, 0 1 0). Es un algoritmo iterativo que avanza desde el borde hacia el centro del objeto. Se recomienda un valor claramente superior al de la distancia que se quiere detectar. La imagen resultante es una imagen en nivel de gris, donde el valor de intensidad de cada pixel indica la distancia de dicho pixel al borde, y que denominaremos DISTANCIA.

- **Determinación de la zona de análisis.** La zona de análisis es la frontera entre el núcleo y la periferia. Para ello lo mejor es dilatar la imagen del NUCLEO, y restarla de la imagen del NUCLEO. El resultado será una imagen binaria, que denominaremos ANILLO, con un anillo de anchura unidad. Para obtener el valor en los puntos de análisis será necesario realizar una AND entre la imagen ANILLO con la imagen DISTANCIA, que actuará como referencia; se denomina ANILLO_DISTANCIA.

- **Evaluación global de la distancia.** Para evaluar numéricamente la distancia, habrá que realizar el histograma de la imagen ANILLO_DISTANCIA.

- **Resalte de la zona de análisis.** A fin de posibilitar una mejor representación de la distancia de análisis, se ha generado una representación (*ColorMetal*) por falso color para la imagen ANILLO_DISTANCIA. Mediante un parámetro de valor mínimo, se representa en color rojo cuando el valor del pixel es inferior al valor mínimo, y en color verde cuando el valor del pixel es superior al valor mínimo (figura 6).

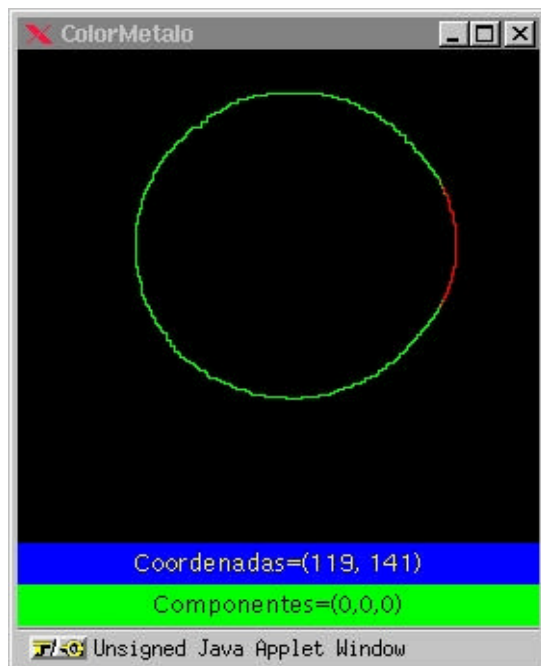


Figura 6. Imagen resultado

Para su evaluación el alumno deberá contestar el valor de los umbrales de binarización, así como

generar los histogramas de las imágenes ANILLO_DISTANCIA, obtenidos a partir de las cinco imágenes de prueba.

Conclusiones y futuros desarrollos

El proyecto desarrollado supone un primer paso en la incorporación de las nuevas tecnologías de la comunicación en favor de la educación. El campo en el que se ha aplicado es el de procesamiento de imágenes y su aplicación a ámbitos tales como son el de la Resistencia de Materiales, Metalotecnia, Regulación Automática.... Para ello, se han introducido opciones específicas para el adecuado análisis de imágenes en estos campos. Este sistema va a entrar en funcionamiento durante el curso 98/99 para la realización de las prácticas de Visión Artificial. Una alternativa planteada para el futuro es la introducción de opciones para el tratamiento de secuencias de imágenes, lo que permitiría aumentar su uso a procesos en los que el tiempo es crucial.

Bibliografía

[Sebastián 96] Realización de prácticas de laboratorio en puestos de trabajo remotos mediante la transmisión de imágenes por red telefónica conmutada. José María Sebastián y Zúñiga, Pascual Campoy Cervera. Jornadas de Automática 1996

[Rasure 94] Teaching image processing with Khoros. John Rasure, Ramiro Jordán, Roberto Lotufo. Proceedings ICIP-94. IEEE International Conference on Image Processing, 1994

[Greenhalgh 95] Imaging in Bulk for the Internet. Real Time Imageing 1, 33-47 (1995)

[NCSA 95] NCSA: The Common Gateway Interface (<http://hoohoo.ncsa.uiuc.edu>).

[Sun 96] Java 1.0.2 API User's Guide. Sun's Microsystems, Inc. (www.javasoft.com)

[SGI 95] Referencia bibliográfica para VRML (www.sgi.com)